

منعکس کننده تغییرات قابل توجه این عامل در کاربری های مختلف حوزه بود. لذا در مدیریت منابع آب و تخصیص حجم مشخص از آب حوزه به هر کاربری می تواند نقش قابل توجهی داشته باشد.

واژه های کلیدی: تبخیر و تفرق واقعی، پهنه بندی، مدیریت منابع آب، سبال و حوزه آبخیز منشاد

مقدمه

فنون سنجش از دور این امکان را می دهند تا سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه را همزمان مورد پوشش قرار داده، اقدام به رصد و مطالعه تبخیر و تفرق نمود. به کمک این فن، توزیع مکانی عامل های مورد نیاز مدل های تبخیر و تفرق و تغییرات زمانی آنها بین دو تصویربرداری متوالی فراهم می شود [۴]. تبخیر و تفرق یکی از مهمترین اجزای بیلان آبی در حوزه است. در مطالعات بیلان آبی این عامل عموماً به دو شیوه مورد بررسی قرار می گیرد. اول اینکه عامل تبخیر و تفرق به عنوان جزء مجهول در معادله بیلان آبی قلمداد شده و با محاسبه سایر اجزاء، در نهایت از طریق جزء باقی مانده اقدام به تعیین آن می نمایند. راه حل دوم اینکه به کمک یکی از روش های مستقیم یا غیرمستقیم (محاسباتی) این جزء محاسبه شده و در معادله بیلان آبی لحاظ می گردد [۳]. الگوریتم سبال یکی از مواردی است که به کمک سنجش از دور آمده تا بتوان میزان تبخیر و تفرق واقعی را محاسبه نمود. الگوریتم سبال تا کنون در بیشتر از ۳۰ کشور به طور کاربردی استفاده شده است [۱۳]. در ارتباط با استفاده از الگوریتم توازن انرژی در کشورمان نیز محدود مطالعاتی صورت پذیرفته است. به عنوان مثال در پژوهشی که در حوزه آبخیز تنگ کشت کرمانشاه انجام گرفته است، تبخیر و تفرق واقعی گیاه با استفاده از معادله توازن انرژی و به کارگیری تصاویر ماهواره ای لندست، نقشه توپوگرافی حوزه و پوشش گیاهی منطقه و همچنین داده های هواشناسی محاسبه شده است. این پژوهش همچنین تبخیر و تفرق گیاه مرجع را با استفاده از فرمول هارگریوز محاسبه نموده است. سپس با تقسیم نمودن مقادیر مربوط به میزان تبخیر و تفرق به دست آمده از فرمول هارگریوز و معادله توازن انرژی، ضریب گیاهی (K_c) برای هر پیکسل محاسبه شده است. از آن جایی که برای هر تیپ پوشش گیاهی ضریب های گیاهی نیز متفاوت می باشد برای اصلاح آن به همپوشانی نقشه ضریب های گیاهی و نقشه تیپ گیاهی پرداخته شد. به این صورت ضریب گیاهی برای هر تیپ اصلاح

تعیین و پهنه بندی تبخیر و تفرق واقعی توسط تکنیک سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد)

سمانه پورمحمدی^۱، محمدتقی دستورانی^۲، محمدحسین مختاری^۳ و محمدحسن رحیمیان^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۱۱

چکیده

تبخیر و تفرق یکی از مهمترین راههای مصرف یا هدر رفت آب در یک حوزه آبخیز است که پایش و بررسی تغییرات آن در دوره های زمانی معین می تواند ضمن نشان دادن میزان آب مصرفی در هر کاربری اراضی، در مدیریت آب در مقیاس حوزه و تعیین میزان آب مورد نیاز جهت تخصیص به هر کاربری اراضی مورد استفاده واقع شود. نظر به وسعت عرصه های منابع طبیعی و حوزه های آبخیز و عدم امکان بررسی ایستگاهی تبخیر و تفرق در یک حوزه، سامانه سنجش از دور می تواند در تعیین تبخیر و تفرق واقعی صورت گرفته از کاربری های مختلف یک حوزه آبخیز فناوری مناسبی باشد. هدف از انجام پژوهش، معرفی الگوریتم توازن انرژی سطحی زمین (سبال) و نحوه محاسبه تبخیر و تفرق واقعی توسط آن در حوزه آبخیز منشاد در استان یزد است که به کمک یک سری زمانی از تصاویر ماهواره ای مودیس (۱۵ تصویر) در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ صورت گرفته است. بر این اساس نقشه تبخیر و تفرق واقعی پوشش های مختلف سطح حوزه برای یک سال آبی ترسیم و تجزیه تحلیل شد. نتایج حاصل از این پژوهش، ضمن نشان دادن تغییرات مکانی تبخیر و تفرق صورت گرفته از کاربری های مختلف اراضی (بین ۲۷ تا ۱۱۷۴ میلیمتر)،

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی (گرایش آب) دانشگاه یزد S.poormohammad@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول و دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

۳- کارشناس ارشد سنجش از دور پژوهشکده مناطق خشک و بیابانی دانشگاه یزد

۴- کارشناس آبیاری و زهکشی مرکز ملی پژوهش های شوری

برای هر یک از کاربری‌های اراضی و پوشش‌های گیاهی مختلف در حوزه آبخیز منشاد در استان یزد جهت مدیریت بهینه منابع آب در این حوزه می‌باشد. نتیجه این پژوهش ضمن اینکه می‌تواند کارایی این الگوریتم را در مدیریت منابع آب در مقیاس حوزه آبخیز آن هم در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایران به نمایش بگذارد، خواهد توانست به ترسیم نقشه نیاز آبی محصولات مختلف (تحت تنش‌های محیطی مختلف) نیز کمک شایانی نماید.

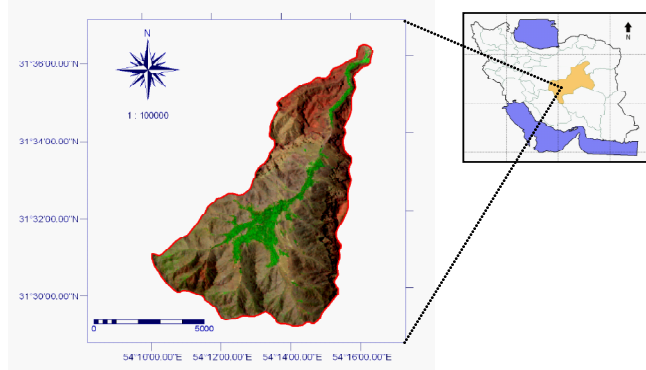
مواد و روش‌ها

- منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر حوزه منشاد می‌باشد که در طول جغرافیایی $54^{\circ}09'$ تا $54^{\circ}54'$ و $31^{\circ}00'$ تا $31^{\circ}39'$ شرقی و عرض جغرافیایی $31^{\circ}00'$ تا $31^{\circ}08'$ و $24^{\circ}00'$ تا $24^{\circ}08'$ شمالی واقع شده است. این حوزه از نظر تقسیمات استانی جزو استان یزد و حوزه‌های آبخیز میانکوه در منطقه شیرکوه می‌باشد. مساحت این حوزه 6137 هکتار می‌باشد. حداقل ارتفاع حوزه منشاد 1788 و حداکثر ارتفاع آن 3518 می‌باشد. دمای متوسط سالانه در حوزه منشاد 11 درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط آن $368/35$ میلیمتر در سال می‌باشد. گرم‌ترین ماه سال در این حوزه شهریور ماه با میانگین دمای $24/5$ درجه سانتی‌گراد و سردترین آن بهمن ماه با میانگین دمای $0/5$ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. از نظر تقسیم‌بندی اقلیمی دو مارتن اصلاح شده جز مناطق سرد و نیمه خشک محسوب می‌شود. در شکل (۱) نمای کلی از حوزه منشاد به همراه موقعیت جغرافیایی آن در استان یزد مشاهده می‌شود.

روش پژوهش

در شکل (۲) مراحل مختلف انجام این پژوهش نشان داده شده است. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مربوط به سنجنده مودیس^۴ و نقشه‌های مورد استفاده شامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی هستند که همگی رقومی شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی به همراه نقشه ترکیب رنگی ماهواره لندست

گردید. سپس تبخیر و تعرق به دست آمده برای گیاه مرجع در ضریب گیاهی هر تیپ ضرب شد تا نقشه تبخیر و تعرق منطقه ترسیم شود. در نهایت مقدار تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده با میزان تبخیر و تعرق واقعی که توسط معادله توازن انرژی محاسبه شده بود، مقایسه شد و خطای میانگین مربعات^۱ آن به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که بین دو روش معادله توازن انرژی (تصاویر ماهواره‌ای) و معادله هارگریوز (استفاده از ضریب‌های گیاهی مناسب) در برآورد تبخیر و تعرق همبستگی بالایی ($R^2=0/99$) وجود دارد [۱]. در پژوهش دیگری میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاهان تحت تنش‌های محیطی در دشت آزادگان واقع در استان خوزستان توسط الگوریتم سبال برآورد شد. نتایج این پژوهش برای هر یک از سایت‌های موجود در منطقه (گیاه گندم، گیاهان مرتعی و نیزارها) تبخیر و تعرق جداگانه‌ای را ارایه داد. در ضمن تبخیر و تعرق به دست آمده از الگوریتم سبال با تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از معادله پنمن-مانتیت همبستگی حدود 85% را نشان داد [۳]. همچنین در پژوهشی دیگر که در مزرعه نمونه ارتش واقع در استان گلستان انجام شده، جهت برآورد تبخیر و تعرق روزانه در دو تاریخ ۵ می (۱۵ اردیبهشت) و ۷ ژوئن (۱۷ خرداد) 2003 از تصاویر مودیس و الگوریتم سبال استفاده گردیده است [۹]. در پژوهش دیگری که در کاستاریکا بر روی تاثیر تغییرات پوشش گیاهی بر روی تبخیر و تعرق انجام شده، از تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردیده است. در این پژوهش رابطه بین تغییرات پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق را در چند ماه خشک سال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و آستر^۲ و از طریق مدل سبس^۳ ارزیابی شد. سپس نتایج به دست آمده از دو تصویر با هم مقایسه و نتیجه‌گیری شد که با استفاده از تصاویر آستر می‌توان به خوبی تغییرات پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق واقعی را ارزیابی کرد، همچنین تصاویر مودیس برای تعیین تبخیر و تعرق به صورت دوره‌های مختلف زمانی مناسب است [۱۶]. در پژوهشی که در منطقه‌ای به نام دره ابرو در اسپانیا صورت گرفت، تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده از مدل سبال در طی چهار سال برای گیاه ذرت و گیاه مرجع چمن با تبخیر و تعرق واقعی اندازه‌گیری شده توسط معادله پنمن-مانتیت مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که خطای مربوط به مدل سبال در مورد ذرت یک میلیمتر در روز و برای گیاه چمن $0/3$ میلیمتر در روز می‌باشد [۱۷]. آنچه که مسلم است کارایی این الگوریتم در مدیریت بهینه منابع آب است. به طوری که با داشتن مقدار تبخیر و تعرق واقعی به صورت مکانی، تصویر صحیحی از الگوی مصرف آب در هر منطقه (حتی در مقیاس وسیع) به دست می‌آید که براساس آن می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی و تخصیص مقدار آب مورد نیاز به هر منطقه نمود. هدف از پژوهش حاضر نیز تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی به کمک الگوریتم سبال

1 - MSE

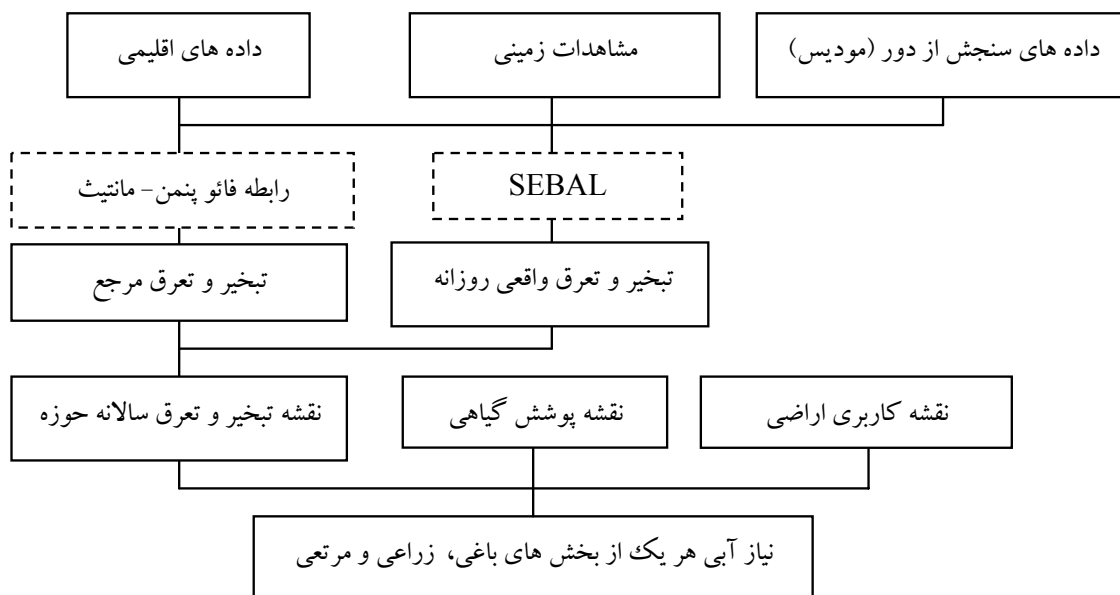
2- ASTER

3- SEBS

تعیین تبخیر و تعرق مرجع

به طور کلی متغیرهایی که بر روی پدیده تبخیر و تعرق تاثیر گذارند شامل بارندگی، سرعت باد، تابش خورشیدی، فشار سطحی زمین، رطوبت، تعداد ساعات آفتابی، میزان ابرناکی، جریان‌های همرفتی، پوشش سطح زمین، خصوصیات خاک، گیاه، کیفیت آب در دسترس و غیره می‌شوند [۳]. در پژوهش حاضر پس از تهیه این اطلاعات به صورت روزانه، اقدام به تعیین تبخیر و تعرق مرجع در هر روز از سال آبی ۸۶-۸۵ شد. این کار به کمک معادله فائو - پنمن - مانتیث صورت پذیرفت [۱۰]. به دلیل فقدان آمار و اطلاعات کافی در حوزه مطالعاتی منشاد برای این کار، از آمار ایستگاه سینوپتیک مهریز واقع در ۲۵ کیلومتری منطقه مطالعاتی استفاده و با انجام تصحیحاتی بر روی آنها، برای منطقه مورد مطالعه نیز مورد استفاده واقع شد. نظر به در دسترس بودن عامل‌های دما و بارش برای حوزه منشاد، رابطه همبستگی بین کلیه عامل‌های ایستگاه مهریز (دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) با این دو عامل در همان ایستگاه و همچنین با داده‌های ایستگاه مستقر در حوزه منشاد بررسی و نسبت بین این دو ایستگاه به عنوان ضریب اصلاحی جهت تبدیل داده‌های ایستگاه مهریز به ایستگاه منشاد در نظر گرفته شدند. سپس به دلیل ماهیت فرودگاهی داده‌های هواشناسی، داده‌های مذکور به کمک ضریب‌های پیشنهادی فائو در هر ماه اصلاح گردیدند تا به شرایط طبیعی و کشاورزی منطقه نزدیکتر شوند [۶]. این ضریب‌های که برای هر ایستگاه و در هر ماه از سال متفاوتند، برای اصلاح داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک که معمولاً در محیط‌های شهری با حواشی غیر کشاورزی قرار دارند کاربرد داشته و اعداد ثبت شده

در پژوهش حاضر پس از تهیه اطلاعات روزانه از منطقه مطالعاتی، اقدام به تعیین تبخیر و تعرق مرجع در هر روز از سال آبی ۸۶-۸۵ شد. این کار به کمک معادله فائو - پنمن - مانتیث صورت پذیرفت [۱۰]. سپس با استفاده از ضریب‌های پیشنهادی فائو در هر ماه اصلاح گردید تا به شرایط طبیعی و کشاورزی منطقه نزدیکتر شود [۶]. جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی در حوزه منشاد نیز از سبال^۱ یا الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین استفاده شده است [۱۳]. برای اجرای این الگوریتم نیاز به تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، مشاهدات صحرایی و داده‌های اقلیمی می‌باشد. بدین منظور یک سری زمانی مشتمل بر ۱۵ تصویر ماهواره‌ای مودیس مربوط به سال آبی ۸۶-۸۵ حوزه منشاد تهیه گردید و تبخیر و تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم سبال تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود (۱۵ روز از سال) به دست آمد. جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی سایر روزهای سال آبی ۸۶-۸۵ از داده‌های تبخیر و تعرق مرجع در روزهای دارای تصویر استفاده شد و نقشه نسبت تبخیر و تعرق واقعی (به دست آمده از الگوریتم سبال) به تبخیر و تعرق مرجع (فائو پنمن مانتیث) در تمامی ۱۵ روز سال به دست آمد. سپس بازه زمانی تحت پوشش هر یک از تصاویر تعیین و مقادیر تبخیر و تعرق مرجع مربوط به روزهای هر بازه با یکدیگر جمع شده و در نقشه نسبت به دست آمده برای هر تصویر ضرب گردید. بدین ترتیب نقشه تبخیر و تعرق واقعی برای بازه‌های زمانی مختلف به دست آمد که مجموع آنها نیز معرف تبخیر و تعرق واقعی در طول سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ می‌باشد. سپس میزان نیاز آبی گیاهان باغی، زراعی و مرتعی حوزه منشاد به تفکیک در سال آبی ۸۵-۸۶ مشخص شد.



شکل ۲- نمودار مربوط به مراحل مختلف انجام پژوهش

را به شرایط طبیعی و مزرعه نزدیک می‌نمایند. در نهایت با استفاده

1- Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

از این داده‌های اصلاحی، تبخیر و تعرق مرجع روزانه ایستگاه منشاد به کمک رابطه فائو پنمن-مانتیت به دست آمد. شکل کلی معادله پنمن-مانتیت به صورت زیر است [۱۰].

$$\lambda E_{To} = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho C_p (e_a - e_d) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \quad (۱)$$

که در آن

λE_{To} : شار گرمای نهان تبخیر بر حسب کیلوژول بر مترمربع بر ثانیه [$KJ M^{-2} S^{-1}$]

R_n : شار تشعشع خالص در سطح است [$KJ M^{-2} S^{-1}$]

G : شار گرمای خاک است [$KJ M^{-2} S^{-1}$]

ρ : وزن مخصوص اتمسفر بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب است.

C_p : گرمای ویژه مرطوب بر حسب کیلوژول بر کیلوگرم است. [$KJ g^{-1} ^\circ C^{-1}$]

$(e_a - e_d)$: کمبود فشار بخار آب بر حسب کیلو پاسکال است.

r_c : مقاوت سایه انداز پوشش گیاهی بر حسب ثانیه بر متر است.

r_a : مقاوت آئرو دینامیکی هوا بر حسب ثانیه بر متر است.

Δ : شیب منحنی فشار بخار است. [$KPa ^\circ C^{-1}$]

λ : گرمای نهان تبخیر بر حسب مگاژول بر کیلوگرم است [$MKK g^{-1}$]

γ : ثابت سایکرومتری است. [$KPa ^\circ C^{-1}$]

تعیین تبخیر و تعرق واقعی

جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی در حوزه منشاد از الگوریتم سبال استفاده شده است. برای اجرای این الگوریتم به تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، مشاهدات صحرایی و داده‌های اقلیمی نیاز می‌باشد. بدین منظور یک سری زمانی مشتمل بر ۱۵ تصویر ماهواره‌ای مودیس مربوط به سال آبی ۸۶-۸۵ حوزه منشاد تهیه گردید و توسط سبال استفاده شد. همانطوری که قبلاً نیز اشاره گردید، به علت فقدان ایستگاه سینوپتیک در حوزه منشاد، داده‌های ایستگاه سینوپتیک مهریز اخذ و سپس با منطقه مطالعاتی تطبیق داده و در مراحل مختلف سبال استفاده گردید.

معرفی الگوریتم سبال: سبال (الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین^۱) مدلی مبتنی بر پردازش تصویر بوده که مشتمل بر بیست و پنج زیرمدل جهت محاسبه تبخیر و تعرق (ET) به عنوان باقیمانده بیلان انرژی سطحی زمین است. این مدل توسط باستین سن در کشور هلند معرفی و همچنین برای منطقه کوهستانی آیداهو^۲ نیز با تکیه بر مقادیر تبخیر و تعرق اندازه گیری شده در سطح زمین توسعه یافته است. مدل سبال از اطلاعات تصاویر رقومی اخذ شده توسط ماهواره لندست یا سایر سنجنده‌های سنجش از دوری که قادر

به ثبت تشعشعات مادون قرمز حرارتی و همچنین تشعشعات مرئی^۳ و نزدیک مادون قرمز^۴ می‌باشند استفاده می‌نماید. مقدار ET در هر پیکسل (به عنوان مثال هر 30×30 متر مربع تصویر لندست TM و ETM^+) برای لحظه‌ای خاص که همان زمان اخذ تصویر می‌باشد محاسبه می‌گردد. فرایند محاسبه براساس توازن کامل انرژی استوار است که در آن مقدار ET از کسر نمودن مقدار انرژی باقیمانده از معادله کلاسیک بیلان انرژی به دست می‌آید. لذا مقدار ET برابر با تشعشع خالص منهای گرمای وارده به خاک منهای گرمای وارده به هوا خواهد شد. جزئیات بیشتر این مدل توسط باستینسن و همکارانش [۱۴] ارایه شده است، اما معادله کلی مورد استفاده در سبال به صورت زیر است:

$$LE = R_n - H - G \quad (۲)$$

که در این فرمول LE شار گرمای نهان بر حسب (Wm^{-2}) است که به راحتی قابل تبدیل به ET می‌باشد، R_n تابش خالص خورشیدی است (Wm^{-2})، H شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) و G شار گرمای زمین یا خاک (Wm^{-2}) می‌باشد. از این فرمول اینچنین استنباط می‌گردد که تابشی که از جو به سطح زمین می‌رسد به سه قسمت مجزا می‌شود. بخشی صرف گرم کردن زمین یا خاک شده بخش دیگری صرف گرم کردن هوای مجاور سطح زمین و بقیه مقدار انرژی باقیمانده منجر به تبخیر و تعرق می‌گردد. در واقع هدف سبال محاسبه شار گرمای نهان (LE) می‌باشد که همان ET واقعی محسوب می‌گردد.

لازم به ذکر است که دقت واقعی نتایج حاصله برای LE (یا ET) متاثر از دقت باند با طول موج کوتاه و نیز باند ترمال ماهواره است. در معادله شماره ۳ تشعشع خالص از معادله توازن انرژی سطحی زمین به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + (L_{in} - L_{out}) \quad (۳)$$

که در آن α آلبیدوی سطحی، R_s تابش خورشیدی (Wm^{-2})، e بازتابش سطح زمین (انتشار)، L_{in} و L_{out} تابش ورودی و خروجی به زمین به صورت امواج با طول موج بلند می‌باشد (Wm^{-2}). مقدار α با اختلاط بازتابش‌های طیفی حاصله از شش باند با طول موج کوتاه در ماهواره لندست به دست می‌آید. همچنین L_{in} و L_{out} به عنوان تابعی از دمای سطحی در نظر گرفته می‌شوند که از تصویر ماهواره‌ای قابل استخراج است. مقدار e توسط شاخص‌های گیاهی ایجاد شده از دو باند با طول موج کوتاه به دست می‌آید. مقادیر پتانسیل R_s برای هر پیکسل دارای شیب مشخص با استفاده از منحنی‌های تئوری آسمان صاف قابل تعیین می‌باشند [۱۱]. شار گرمایی خاک یا G (Wm^{-2}) نیز به صورت تجربی و با استفاده از معادله باستینسن و همکاران [۱۴] قابل برآورد است که این معادله

3- Visible

4- Near Infra Red (NIR)

1- Surface Energy Balance Algorithm for Land

2- Idaho

بر اساس آلبيدو (α)، دمای سطحی زمین و یک شاخص گیاهی با نام NDVI قابل محاسبه می‌باشد:

$$G = \left[\frac{T_s - 273.16}{\alpha} (0.00038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \right] R_n \quad (4)$$

که در این معادله T_s دمای سطحی زمین بر حسب کلونین می‌باشد. شاخص $NDVI^1$ نیز به کمک باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک حاصل می‌شود که فرمول آن به صورت زیر خواهد بود:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (5)$$

مقدار شار گرمای محسوس یا H (Wm^{-2}) از سرعت باد و دمای سطحی زمین و با بکارگیری یک "کالیبراسیون درونی" منحصر به فرد متشکل از اختلاف دمای سطح زمین و دمای هوای مجاور (dT) حاصل می‌شود. این روش توسط فرمول باستیانسن و همکارانش قابل محاسبه است [۱۴]:

$$H = \frac{\rho_{air} C_p (a + b.T_s)}{r_h} \quad (6)$$

که در این معادله ρ_{air} چگالی هوا (kg/m^3) است که تابعی از فشار اتمسفریک می‌باشد. C_p ظرفیت گرمای ویژه هوا ($1004 \sim Jkg^{-1} K^{-1}$)، r_h مقاومت آئرو دینامیکی در مقابل انتقال گرمات ($s m^{-1}$)، مقدار T_s نیز دمای سطحی زمین بر حسب کلونین است و a و b ضریب‌های تجربی بوده که برای هر تصویر قابل محاسبه است. جزء $a + b.T_s$ در معادله بیانگر اختلاف دمای سطح زمین با هوای مجاور آن (dT) می‌باشد که با محاسبه درجه حرارت فاصله بین نزدیک سطح زمین و ارتفاع حدود ۲ متری از سطح زمین حاصل می‌شود. استفاده از اختلاف دما (یا به عبارتی دیگر گرادیان) مشکلاتی را که بواسطه اختلاف عددی بین دمای سطحی آئرو دینامیک و رادیومتریک به وجود می‌آید را برطرف می‌نماید. تعریف ضریب‌های a و b نیازمند انتخاب دو پیکسل حد نهایی^۲ در یک تصویر می‌باشد که به پیکسل‌های سرد و گرم معروفند، مقادیر dT با داشتن مقدار H در هر یک از این دو پیکسل می‌توانند به صورت برگشتی^۳ محاسبه شوند. در مدل متداول سبال مربوط به آقای باستیانسن [۱۳]، اپراتور مقدار T_s را از یک منطقه با آب سطحی که به عنوان "پیکسل سرد" مدل سبال شناخته می‌شود، انتخاب می‌نماید. یک پیکسل گرم یا خشک نیز (که معمولاً سطح خاک لخت انتخاب می‌شود) انتخاب می‌گردد. مقدار گرمای محسوس پیکسل سرد صفر و پیکسل گرم برابر با $R_n - G$ فرض می‌شود. ضریب‌های a و b موجود در معادله ۶ برای هر تصویر و با استفاده از یک درون‌یابی خطی واسنجی می‌شوند [۱۵] که براساس مقدار T_s در هر یک از این دو پیکسل سرد و گرم صورت می‌گیرد. به منظور روشن شدن

نحوه بکارگیری پیکسل‌های حد نهایی به ذکر یکی از موارد کاربردی آلوگوریتم سبال در منطقه آیداهو می‌پردازیم. در به کارگیری سبال در منطقه آیداهو، یک مزرعه با پوشش کامل که به سطح مرجع گیاه یونجه تشبیه شده بود، به عنوان پیکسل سرد انتخاب گردید و مقدار ET برای این پیکسل همان مقدار ET گیاه یونجه یا ET_F فرض شد. مقدار ET_F به کمک داده‌های هواشناسی محلی به دست آمد. بنابراین گرمای محسوس پیکسل سرد در پروژه آیداهو به صورت $R_n - G - LE$ محاسبه گردید که در آن LE برای هر پیکسل برابر با ET_F آن پیکسل قرار داده شد. در پروژه آیداهو مقدار H در پیکسل گرم برای هر مقدار از تبخیری که بواسطه وقوع بارندگیهای اخیر باقی مانده تصحیح گردید. این مقدار توسط حل مدل بیلان روزانه آب لایه سطحی که توسط گزارش فائو [۱۰] ارائه شده است، قابل تعیین می‌باشد.

از آنجایی که شار گرمای نهان (LE) در زمان اخذ تصویر توسط معادله ۱ قابل برآورد است، مقداری با عنوان جز تبخیر (EF) نیز در مدل متداول سبال به صورت زیر قابل محاسبه خواهد شد:

$$EF = \frac{LE}{R_n - G} \quad (7)$$

اما در مدل سبال پروژه آیداهو به جای مقدار EF ، جزئی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع (یا به عبارتی ET_F) که بیانگر نسبت بین ET هر پیکسل به ET_F که توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا تعریف شده، مورد محاسبه و به کارگیری قرار گرفته است. این مقدار که همان ضریب گیاهی یا K_c محسوب می‌گردد به صورت زیر خواهد بود:

$$ET_F = K_c = \frac{ET}{ET_F} \quad (8)$$

که ET_F همان تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه است که توسط آمار هواشناسی و به روش پنمن-مونیت استاندارد شده توسط ASCE به صورت ساعتی محاسبه شده است. با توجه به نتایج پژوهش انجام شده در منطقه آیداهو مشخص گردید که رابطه بین مقادیر روزانه و ساعتی جزء تبخیری گیاه مرجع بسیار بالا بوده و می‌توان به جای مقادیر ساعتی از مقادیر روزانه این ارقام نیز استفاده کرد. وجود این مشابهت‌ها بین ET لحظه ای و ۲۴ ساعته توسط افرادی چون شاتل ورث و همکاران [۱۹]، کراگو [۱۶] مشاهده شده است. جهت تعیین مقادیر ماهانه و فصلی ET_F و ET ابتدا از درون‌یابی خطی ET_F برای دوره‌های بین زمان دو تصویر استفاده و برآورد صورت می‌گیرد و سپس مقدار ماهانه یا فصلی آنها محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که دقت مکانی مقادیر محاسبه شده ET_F و ET منطبق بر دقت مکانی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مدل می‌باشد.

در این پژوهش از یک سری زمانی تصاویر مودیس استفاده گردید که مشتمل بر ۱۵ تصویر مختلف است. سعی شده است که تمامی این تصاویر از روزهایی انتخاب گردند که ابری و برف گیر نبوده تا خللی در وضوح تصویر آنها ایجاد نشود. اسامی روزهایی که در این

1- Normalized Difference Vegetation Index

2- Extreme

3- Backward

پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است در جدول (۱) آمده است. لازم به ذکر است که پردازش تصاویر مودیس و تمام کارهای مربوط به آن در نرم افزار الویس انجام شده است.

برآورد تبخیر و تعرق واقعی سالانه در حوزه منشاد

تبخیر و تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتم سبال تنها در روزهایی که تصاویر آن گرفته شده بود به دست آمد. (۱۵ روز از جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی سایر روزهای سال آبی ۸۵-۸۶ از داده‌های تبخیر و تعرق مرجع در روزهای دارای تصویر استفاده شد و نقشه نسبت تبخیر و تعرق واقعی (به دست آمده از الگوریتم سبال) به تبخیر و تعرق مرجع (فائو پنمن مانیتث) در تمامی ۱۵ روز سال به دست آمد. سپس بازه زمانی تحت پوشش هر یک از تصاویر تعیین گردید. طول بازه زمانی هر تصویر وابسته به فاصله زمانی سه تصویر متناوب از هم است، به طوری که هر چه تصاویر نزدیکتر باشند طول بازه زمانی که هر تصویر پوشش خواهد داد نیز کوچکتر خواهد بود. به عنوان مثال چنانچه سه تصویر متناوب در تاریخ‌های ۷، ۱۰ و ۲۶ تیرماه موجود باشند، تصویر میانی (یعنی تصویر ۱۰ تیرماه) بازه زمانی ۹ تا ۱۸ تیرماه را پوشش خواهد داد. بدیهی است که روز ۸ تیرماه و ماقبل به تصویر اول (یعنی تصویر روز ۸ تیرماه) نزدیکتر بوده و لذا به بازه زمانی آن تصویر تعلق خواهد داشت. همین طور روز ۱۹ تیرماه و مابعد به تصویر سوم (یعنی تصویر ۲۶ تیرماه) نزدیکتر بوده و متعلق به بازه زمانی آن تصویر خواهد بود. با تعیین بازه‌های زمانی هر تصویر، مقادیر تبخیر و تعرق مرجع مربوط به روزهای هر بازه با یکدیگر جمع شده و در نقشه نسبت به دست آمده برای هر تصویر ضرب گردید. بدین ترتیب نقشه تبخیر و تعرق واقعی برای بازه‌های زمانی مختلف به دست آمد که مجموع آنها نیز معرف تبخیر و تعرق واقعی در طول

سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ می‌باشد. روابط ریاضی زیر فرایند تعیین تبخیر و تعرق واقعی در طول سال به کمک داده‌های تبخیر و تعرق روزانه را نشان می‌دهند.

$$ET_{period_i} = \frac{ETa_i}{ETo_i} \sum_{j=k}^l ETo_j \quad (9)$$

$$ET_{annual} = \sum ET_{period_i} \quad (10)$$

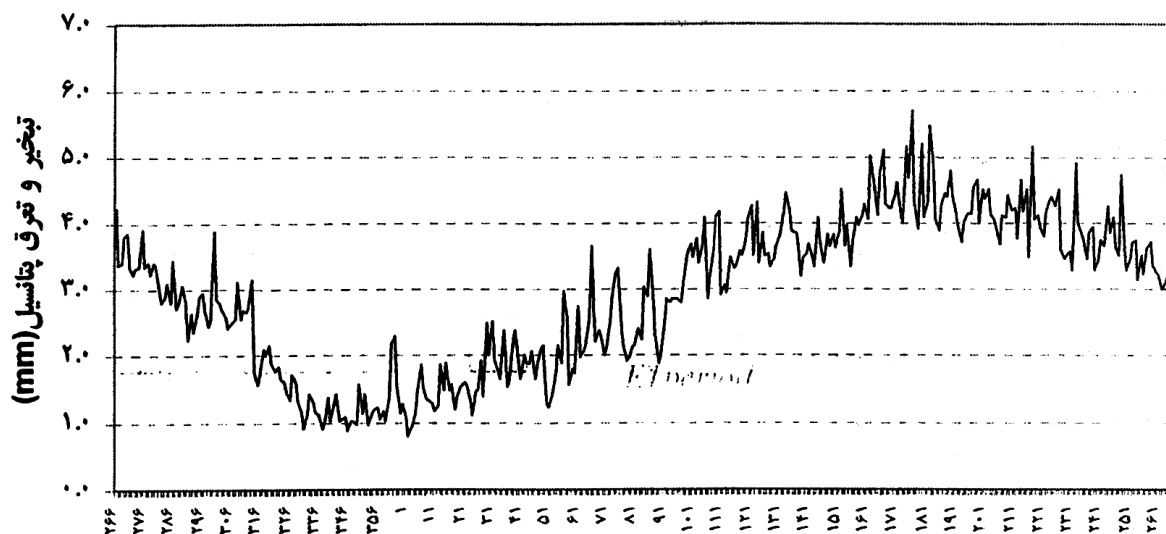
که اجزای این روابط به صورت زیر تعریف می‌شوند:
 ET_{ai} : تبخیر و تعرق واقعی به دست آمده از تصاویر در همان روز اخذ تصویر (روز i ام سال) بر حسب میلیمتر
 ET_{oi} : تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده از رابطه فائو - پنمن - مانیتث در روز i ام سال بر حسب میلیمتر
 ET_{oj} : تبخیر و تعرق مرجع مربوط به روزهایی که در بازه زمانی تصویر i قرار می‌گیرند و از روز k ام سال تا l ام سال تغییر می‌نمایند و تعداد آنها j روز است.
 ET_{annual} : تبخیر و تعرق واقعی سالانه (بر حسب میلیمتر) که از مجموع تبخیر و تعرق واقعی بازه‌های زمانی هر تصویر (ET_{period_i}) به دست می‌آید.

نتایج و بحث

قبل از پرداختن به تبخیر و تعرق واقعی حوزه، به تبخیر و تعرق مرجع در روزهای مختلف سال آبی ۸۵-۸۶ اشاره می‌شود. شکل شماره ۳ تغییرات زمانی تبخیر و تعرق مرجع در حوزه منشاد را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه در تابستان با ۵/۷ میلیمتر بالاترین و در زمستان با مقدار ۰/۸ میلیمتر پایین‌ترین مقادیر این نمودار می‌باشند.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

ردیف	تاریخ	نوع	شماره باندهای مورد استفاده	ردیف	تاریخ	نوع	شماره باندهای مورد استفاده
۱	۱ مهر ۱۳۸۵	مودیس	۱، ۲، ۳۱، ۳۲	۹	۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۶	مودیس	۱، ۲، ۳۱، ۳۲
۲	۱۰ مهر ۱۳۸۵	"	"	۱۰	۷ تیر ۱۳۸۶	"	"
۳	۵ آبان ۱۳۸۵	"	"	۱۱	۱۰ تیر ۱۳۸۶	"	"
۴	۲ آذر ۱۳۸۵	"	"	۱۲	۲۶ تیر ۱۳۸۶	"	"
۵	۹ دی ۱۳۸۵	"	"	۱۳	۱۴ مرداد ۱۳۸۶	"	"
۶	۲۵ دی ۱۳۸۵	"	"	۱۴	۲۹ مرداد ۱۳۸۶	"	"
۷	۷ بهمن ۱۳۸۵	"	"	۱۵	۱۴ شهریور ۱۳۸۶	"	"
۸	۹ اسفند ۱۳۸۵	"	"	۱۶	۱۹ تیر ۱۳۸۱	لندست	۲، ۴، ۷

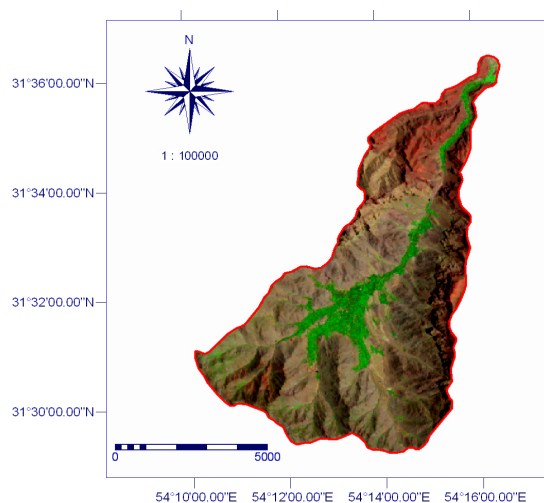


شکل ۳- تغییرات تبخیر و تعرق مرجع روزانه حوزه منشاد در سال آبی ۸۵-۸۶

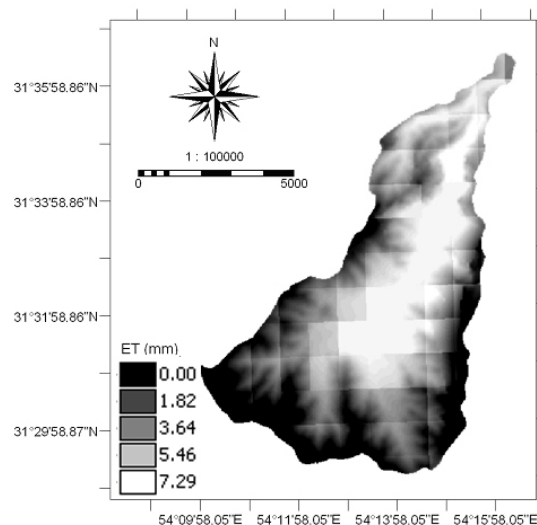
تبخیر و تعرق در برخی از روزهای سال به مناطق سایه‌انداز حوزه (مناطق صخره‌ای واقع در حاشیه شرقی، جنوبی و غربی حوزه) مربوط است. با توجه به اینکه در این مناطق بدلیل صخره‌ای بودن هیچ گونه پوشش گیاهی نیز دیده نمی‌شود، لذا انتظار می‌رود که تبخیر و تعرق واقعی صورت گرفته از این نواحی بسیار ناچیز باشد. این در حالی است که در برخی از این صخره‌ها مقادیر تبخیر و تعرق بسیار زیادتری نسبت به آنچه که انتظار است به دست آمده است. به عنوان مثال تبخیر و تعرق واقعی در روز ۱۳ اردیبهشت ۱۳۸۶ بین صفر تا ۶/۶ میلیمتر به دست آمده است. کمترین این میزان به قسمت‌های صخره‌ای غرب و جنوب حوزه متعلق است که بدون پوشش طبیعی نیز هستند که امری طبیعی است. در بخش دارای پوشش گیاهی و

با اجرای الگوریتم سبال تبخیر و تعرق واقعی حوزه منشاد در ۱۵ روز از سال که دارای تصویر بود به دست آمد. به عنوان نمونه نقشه روز هفتم تیر ماه سال ۱۳۸۶ در شکل (۴) آمده است. جهت مقایسه این نقشه با کاربری‌های مختلف در حوزه، نقشه ترکیب رنگی حوزه مطالعاتی نیز در همین شکل آورده شده است.

مقایسه دو نقشه (الف) و (ب) در روز هفتم تیرماه ۱۳۸۶ نشان می‌دهد که قسمت‌های پوشیده از گیاهان طبیعی و مناطق کشاورزی حوزه (قسمت‌های میانی حوزه) تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به نقاط فاقد پوشش و صخره‌ای (قسمت‌های حاشیه‌ای حوزه) دارند که امری طبیعی و قابل انتظار است. متوسط تبخیر و تعرق کل حوزه در این روز ۳/۹ میلیمتر می‌باشد. یکی از نکات غیر عادی در مورد



(ب)



(الف)

شکل ۴- (الف) نقشه تبخیر و تعرق واقعی حوزه منشاد در روز هفتم تیرماه ۱۳۸۶ که توسط الگوریتم سبال محاسبه شده است. متوسط تبخیر و تعرق کل حوزه در این روز ۳/۹ میلیمتر است. (ب) نقشه ترکیب رنگی حوزه جهت مقایسه و تطابق با نقشه تبخیر و تعرق

شکل (۵) نقشه تبخیر و تفرق سالانه حوزه منشاد در سال آبی ۸۶-۸۵ را نشان می‌دهد.

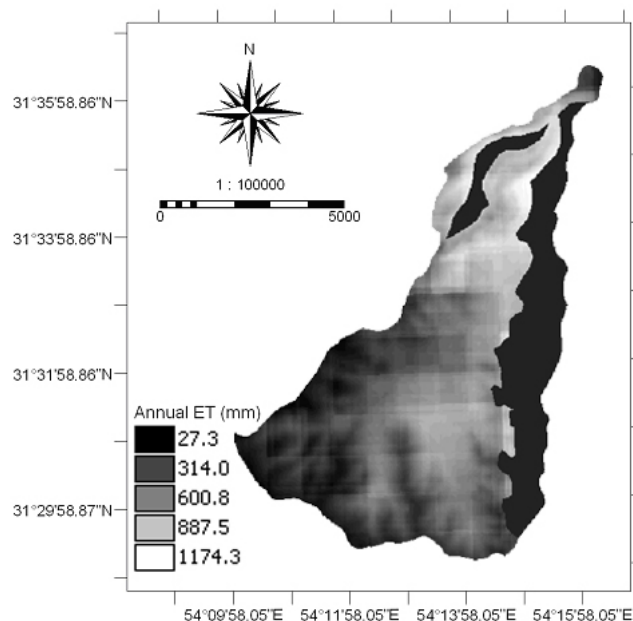
همان طور که در نقشه تبخیر و تفرق سالانه مشاهده می‌شود، تبخیر و تفرق در قسمت‌هایی که پوشش گیاهی وجود دارد از قسمت‌های صخره‌ای بیشتر می‌باشد. در قسمت خروجی حوزه نیز تقریباً بیشترین مقادیر تبخیر و تفرق مشاهده می‌شود که علت آن نه تنها دارا بودن پوشش گیاهی در این بخش‌ها است بلکه محل به هم پیوستن آب سایر بخش‌های حوزه در این منطقه و قرارگیری شاخه اصلی رودخانه فصلی منشاد نیز هست. این دو نکته باعث شده تا فراهمی آب در پایین دست بیشتر بوده و در نتیجه تبخیر و تفرق بیشتری نسبت به سایر نقاط حوزه صورت پذیرد. با توجه به نقشه تبخیر و تفرق واقعی سالانه منشاد (شکل ۵) حداکثر و حداقل تبخیر و تفرق سالانه حوزه منشاد به ترتیب ۱۱۷۴ و ۲۷۰ میلی‌متر و میانگین تبخیر و تفرق حوزه مطالعاتی ۵۴۰ میلی‌متر در طول سال مذکور می‌باشد. پس از تهیه نقشه تبخیر و تفرق واقعی، اقدام به تعیین متوسط تبخیر و تفرق در هر یک از کاربری‌های مختلف اراضی در حوزه منشاد گردید. سه نوع عمده کاربری در منطقه عبارت‌اند از درختان و مزارع، پوشش‌های مرتعی دامنه‌ها و محدوده صخره‌ها. در شکل (۶) مقدار تبخیر و تفرق متوسط سالانه هر یک از آنها بر روی نمودار آورده شده است.

با توجه به شکل (۶) مشخص است که تبخیر و تفرق واقعی در بخش کشاورزی و باغات بیش از تبخیر و تفرق در سایر بخش‌های حوزه است. تبخیر و تفرق واقعی این بخش ۷۸۰ میلی‌متر در سال آبی ۸۵-۸۶ می‌باشد. سپس پوشش‌های دامنه‌ای شامل گیاهان خودرو و مرتعی است که ۳۰۰ میلی‌متر در سال تبخیر و تفرق دارند و در نهایت بخش‌های کوهستانی و صخره‌ای با ۱۹۰ میلی‌متر تبخیر و تفرق واقعی در سال کمترین میزان تبخیر و تفرق را در کاربری‌های عمده اراضی حوزه به خود اختصاص داده‌اند. به منظور بررسی صحت نتایج این بخش، به آمار و ارقام ارایه شده مربوط به نیاز آبی گیاهان باغی موجود در حوزه مراجعه شد. نظر به اینکه نیاز آبی سالانه درختانی



شکل ۶- متوسط تبخیر و تفرق واقعی به دست آمده برای هر کاربری اراضی در طول سال آبی ۸۶-۸۵ در حوزه منشاد

فعالیت‌های کشاورزی حوزه (نواحی مرکزی) نیز تبخیر و تفرق واقعی بین ۳ تا ۴ میلی‌متر در این روز می‌باشد. اما در نهایت تعجب مشاهده می‌شود که بیشترین تبخیر و تفرق در این روز در قسمت دیواره‌های عمودی و صخره‌های واقع در شرق حوزه رخ داده است. این مناطق عملاً فاقد هر گونه پوشش گیاهی هستند، لذا اعداد به دست آمده برای این ناحیه نمی‌تواند واقعی باشد. در حقیقت این مناطق باعث ایجاد خطا در برآورد تبخیر و تفرق کل حوزه نیز شده‌اند، به طوری که تبخیری حدود ۶/۶ میلی‌متر در این روز را به خود اختصاص داده و میانگین تبخیر و تفرق حوزه را به غلط بالا برده‌اند. البته این وضعیت در روز ۱۰ مهر ۱۳۸۶ نیز تکرار شده به طوری که بیشترین تبخیر و تفرق حوزه که ۵/۳ میلی‌متر در این روز می‌باشد، به دیواره‌های عمودی در شرق حوزه اختصاص یافته است. در این روز به غیر از خطای ذکر شده، تبخیر و تفرق در سایر نقاط حوزه منطقی به نظر می‌رسد چرا که در قسمت‌های پوشش‌دار تبخیر و تفرق بین ۲ تا ۴ میلی‌متر و در قسمت‌های صخره‌ای کمترین مقدار و نزدیک به صفر می‌باشد. انجام تصحیحات برای این نوع خطا به نقشه‌هایی تبخیر و تفرق سالانه حوزه موکول گردید. لذا پس از تهیه نقشه‌های مربوط به تبخیر و تفرق روزانه (۱۵ نقشه)، نقشه‌های تجمعی تبخیر و تفرق برای دوره‌های زمانی مختلف ترسیم و با تجمیع همه آنها، نقشه تبخیر و تفرق سالانه حوزه در سال آبی ۸۶-۸۵ به دست آمد. جهت تصحیح خطای صخره‌های سایه انداز، ابتدا این مناطق از سایر نقاط حوزه تفکیک شدند. نظر به اینکه مناطق صخره‌ای دیگری نیز با خصوصیات کاملاً مشابه از نظر وضعیت پوشش و تبخیر و تفرق در حوزه وجود دارند که سایه‌اندازی نمی‌کنند (مانند صخره‌های مناطق شرقی حوزه)، لذا میانگین تبخیر و تفرق در آنها تعیین و همین مقدار به عنوان تبخیر و تفرق نواحی سایه انداز حوزه نیز منظور گردید.



شکل ۵- نقشه تبخیر و تفرق سالانه حوزه منشاد در سال آبی ۸۵-۸۶

نظیر گردو، بادام و زردآلو در منطقه مورد مطالعه بین ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ میلیمتر متغیر است و همچنین پوشش‌های زراعی نظیر گندم و جو بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ میلیمتر در سال تبخیر و تعرق خواهند داشت [۵]، لذا متوسط به دست آمده برای تبخیر و تعرق واقعی باغات و مزارع منطقی به نظر می‌رسد. بدلیل اینکه تصویری از تبخیر و تعرق واقعی گیاهان مرتعی منطقه مطالعاتی و همچنین پوشش‌های صخره‌ای و توده سنگی وجود ندارد، نمی‌توان در مورد صحت اعداد اظهار شده در این نمودار نظر داد. لیکن با توجه به اثبات صحت تبخیر و تعرق باغات و مزارع، می‌توان به اعداد مربوط به تبخیر و تعرق پوشش‌های دامنه‌ای و نیز صخره‌ها نیز تا حدی اعتماد کرد.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر میزان تبخیر و تعرق واقعی برای کاربری‌های مختلف در حوزه منشاد به کمک الگوریتم سبال و تکنیک سنجش از دور بین ۲۷ تا ۱۱۷۴ میلیمتر برآورد شد. همانطور که قبلاً نیز بیان شد بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به کاربری باغات و مزارع بود. از نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که با استفاده از الگوریتم توازن انرژی (سبال) می‌توان تبخیر و تعرق واقعی و نتیجتاً نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی و حتی مرتعی در شرایط مختلف (تحت تنش یا بدون تنش) را در سطوح وسیعی محاسبه نمود و نقشه تبخیر و تعرق آنها را ارایه داد. نتایج حاصل ضمن نشان دادن تغییرات مکانی تبخیر و تعرق صورت گرفته از کاربری‌های مختلف اراضی، به نحوه مدیریت منابع آب و تخصیص حجم مشخص از آب حوزه به هر کاربری اشاره می‌نماید که می‌تواند در مدیریت بهینه منابع آب در حوزه مطالعاتی نقشی اساسی داشته باشد. اگرچه روشهای متداول در محاسبه نقطه‌ای (ایستگاهی) تبخیر و تعرق امکان محاسبه تبخیر و تعرق هر کاربری را فراهم می‌سازد ولی آگاهی از پراکنش مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در یک منطقه (به صورت نقشه) امکان مدیریت مکانی آب را نیز فراهم می‌آورد که خود گامی در جهت صرفه‌جویی و تخصیص بهینه آب به هر منطقه از یک حوزه آبخیز خواهد بود.

منابع

- ۱- اصغر زاده، ح. و ثنایی نژاد، ح. ۱۳۸۵. برآورد تبخیر و تعرق گیاهان با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی
- ۲- پورمحمدی، س.، دستورانی، م.ت. چراغی، س.ع.م. و مختاری، م.ح. ۱۳۸۸. ارزیابی و برآورد اجزاء بیلان آبی در حوزه‌های مناطق خشک با به کارگیری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد یزد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد
- ۳- پورمحمدی، س. و رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۹. تامین آب مورد

نیاز جهت حفظ تعادل اکوسامانه‌های طبیعی و کشاورزی با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی دشت آزادگان)، مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

۴- دانش‌کارآراسته، پ. ثقفیان، ب. مهدیان، م.ح. پرهت، ج. و سررشته داری، ا. ۱۳۸۴. بررسی چگونگی استفاده از سنجش از دور برای برآورد و توزیع مکانی تبخیر و تعرق به صورت منطقه‌ای (مطالعه موردی در دشت سیستان)، گزارش نهایی طرح پژوهش‌هایی، ص ۱۱۲

۵- علیزاده، ا. ۱۳۸۰. نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران (NETWAT)، پروژه بهینه‌سازی الگوی مصرف آب کشاورزی ایران، سازمان هواشناسی کشور و وزارت جهاد کشاورزی.

۶- علیزاده، ا. و کمالی، غ.ع. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران، دانشگاه امام رضا، ص. ۲۲۷.

۷- ملکی‌نژاد، ح. و پورمحمدی، س. ۱۳۸۷. بررسی اهمیت نسبی عوامل هواشناختی مؤثر بر فرآیند تبخیر و تعیین مناطق همگن وابسته به آن در برخی از مناطق خشک و بیابانی ایران، کنفرانس منابع آب، دانشگاه تبریز

۸- کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۱۳۷۶. معرفی جهات نظری و کاربردی روش پنمن - مانیت، گروه کار آب مورد نیاز، شماره ۷۶/۱۶، ص ۱۶۸

۹- مباشری، م.ر. خاوریان، ح. ضیائی، پ. و کمالی، غ.ع. ۱۳۸۴. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS الگوریتم سبال، همایش ملی ژئوماتیک

10- Allen, R.B., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M.S. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO irrigation and drainage paper 56. 300pp.

11- Allen, R. G. and Wright, J. L. 1997. Translating wind measurements from weather stations to agricultural crops. J. Hydrologic Eng., 2(1).

12- Allen, R. G. Morse, A. and Tasumi, M. 2003. Application of SEBAL for western US rights regulation and planning. ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.

13- Bastiaanssen, W.G. 2005. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin. Turkey. J. Hydrology(229): 87-100

14- Bastiaanssen, W.G., Menenti, M, Feddes, R. and Holtslag, A. 1998. A remote sensing surface

R. 2008. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground- meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of N.E. Spain. Agricultural water management, AGWAT-2701; P. 15

19- Shuttleworth, W.J., Gurney, R.J., Hsu, A.Y. and Ormsby, J.P. 1989. The variation in energy portioning at surface flux sites, remote sensing and large scale global processes. Proc., Red Book 186, International Association of Hydrological Sciences (IAHS), Delft, The Netherlands, 67-74.

20- Tasumi, M. Trezza, R., Allen, R.G. and Wright, J.L. 2003. US validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite, ICID workshop on remote sensing of ET for large regions.

energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. formulation. J. Hydrology 212-213, P.198-212.

15- Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D. and Chemin, Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. Water resources research, Vol. 38, No. 12, 1273.

16- Crago, R. D. 1996. Comparison of the evaporative fraction and the Priestley-Taylor for parameterizing daytime evaporation. Water Resour. Res., 32(5), 1403-1409.

17- Koloskov, G., Mukhamejanov, Kh. and Tanton, T.W. 2006. Monin Obukhov Length as a Cornerstone of the SEBAL Calculations of Evapotranspiration. Journal of Hydrology 335, 170-179.

18- Ramosa, J.G., Cratchley, C.R., Kay, J.A., Casterad, M.A., MartinezCob, A. and Dominguez,