

برآورد تبخیر و تعرق با الگوریتم توازن انرژی سطحی سبال و تصاویر ماهواره ای

لیلا حسن زاده^۱، ولی رسولی شریانی^۲، اسداله میرانی^۳ و غفور آقایی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی (leila.hassanzadeh1994@gmail.com)
۲. دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه محقق اردبیلی (vrasooli@uma.ac.ir)
۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد (vrasooli@gmail.com)
۴. کارشناس ارشد سازمان جهاد کشاورزی استان اردبیل (agaie.gh@gmail.com)

چکیده

برآورد تبخیر و تعرق به عنوان یکی از عوامل مؤثر در مدیریت منابع آب و کشاورزی بسیار ضروری می باشد. روش های مختلفی برای این کار وجود دارد که به فراخور دقت مورد نیاز و نوع کاربرد، مورد استفاده قرار می گیرد. اخیراً روش های مبتنی بر استفاده از تصاویر ماهواره ای مورد توجه پژوهشگران می باشد که گمان می رود دقت بیشتری برای مطالعه این عامل در حوزه های آبخیز داشته باشند. بنابراین، امکان برآورد تبخیر و تعرق در دامنه متفاوتی از مقیاس های زمانی و مکانی بیش از پیش احساس می شود. در این بررسی، امکان استفاده از مدل مبتنی بر سنجنش از دور سبال مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از این مدل مقدار تبخیر و تعرق واقعی به صورت باقی مانده معادله توازن انرژی در سطح برآورد شد. نتایج به دست آمده از برآورد الگوریتم سبال مقدار تبخیر و تعرق گیاه مورد مطالعه در دهه سوم اسفند ماه برابر ۳/۶۳ و ۳/۹۲ میلیمتر بر روز را نشان داد. آنالیزهای آماری انجام شده نیز نشان داد که مدل سبال از دقت خوبی برخوردار می باشد. در فصل رشد به دلیل پوشش گیاهی خوب، انتخاب پیکسل سرد و گرم از دقت بالاتری نسبت به دیگر زمانها برخوردار است که دلیل خوبی برای دقت بالای مدل سبال می باشد.

کلمات کلیدی:

تبخیر و تعرق، سنجنش از دور، سبال، لندست ۸، ستینل ۲، مودیس

*نویسنده مسئول

برآورد تبخیر و تعرق با الگوریتم توازن انرژی سطحی سبال و تصاویر ماهواره ای

مقدمه

مدیریت موثر و کارآمد منابع آب نیازمند شناخت دقیق از جریان های هیدرولوژیکی است. یکی از روش هایی که باعث بهبود مدیریت مصرف آب و در نهایت افزایش راندمان آب مصرفی می شود، برآورد دقیق تبخیر و تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی گیاهان می باشد. تبخیر و تعرق، به مجموع تبخیر از سطح مرطوب خاک و تعرق از سطح گیاهان گفته می شود. تعامل پیچیده بسیاری از عوامل زیست محیطی و اقلیمی، برآورد دقیق تبخیر و تعرق را به امری چالش برانگیز تبدیل کرده است. در چند دهه گذشته، روش های متعددی برای تخمین تبخیر و تعرق ارائه شده است. سنجش از دور از جمله تکنیک های جدیدی است که می توان با استفاده از آن، تبخیر و تعرق را در یک منطقه بدون نیاز به دانستن پیشینه ای در رابطه با شرایط خاک، محصول و نحوه مدیریت مزرعه برآورد نمود [۱]. تاکنون روش ها و سنجنده های مختلفی برای برآورد تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه ای و حتی جهانی مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب روش و نوع سنجنده بسته به میزان دسترسی به داده های مورد نیاز، دسترسی به تصاویر سنجنده ها، وسعت منطقه مورد مطالعه و اهداف پژوهش دارد. روش های توازن انرژی بر اساس محاسبه تبخیر و تعرق به عنوان یکی از اجزای معادله توازن انرژی می باشد. الگوریتم های سبال (توازن انرژی سطح زمین) و متریک (به دست آوردن تبخیر و تعرق در قدرت تفکیک مکانی بالا با کالیبراسیون داخلی) از مهم ترین و پرکاربردترین روش های باقیمانده بیلان انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده های سنجش از دور می باشد. به طور خلاصه ارتباط بین تشعشعات دریافتی توسط ماهواره ها از سطح زمین در باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی و نیز تفاوت پوشش و بازتابش سطوح زمین، پایه و اساس روابط در الگوریتم بیلان انرژی در سطح زمین می باشد [۲].

مزیت اصلی مدل سبال این است که با استفاده از تصاویر سنجش از دور می توان میزان آب مصرفی گیاه را با اختلاف ۱۵-۱۰ درصد به دست آورد و مزیت دیگر آن این است که زمانی که اطلاعات زمینی کم و یا اصلا موجود نباشد میتوان از داده های مدل سبال برای تعیین میزان آب مصرفی گیاه و بهره وری آبی و ... نیز استفاده کرد [۳].

ضرورت مطالعه

برآورد دقیق تبخیر - تعرق یا تخمین میزان آب مصرفی گیاهان است. تبخیر-تعرق یکی از مؤلفه های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برنامه ریزی درست و مناسب آبیاری می باشد [۴]. پیشرفت روزافزون تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن را در سطح وسیعی فراهم نموده است. در تحقیقات زیادی محققین برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی و توزیع زمانی و مکانی آن از داده های ماهواره ای استفاده نموده اند برآورد تبخیر-تعرق واقعی و پراکنش مکانی آن از مواردی است که به کمک سنجش از دور امکانپذیر بوده و اهمیت زیادی نسبت به روشهای نقطه ای دارد و برای تصمیم گیری های مدیریتی در سطح کلان نیز این پراکنش بسیار مهم است. هر چند از لحاظ بازه زمانی در روش سنجش از دور محدودیت های بیشتری وجود دارد، اما در نهایت استفاده از این روش در سطوح وسیع از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و به عنوان یک روش کاربردی پذیرفته شده است [۵].

اهداف مطالعه

با برآورد میزان آب مورد نیاز (تبخیر-تعرق واقعی) در نقاط مختلف شبکه میتوان نسبت به توزیع مناسب آب در سطح شبکه و بهبود مدیریت آبیاری اقدام نمود که تأثیر به سزایی در مدیریت بهینه مصرف آب در شبکه دارد [۶].

مروری بر مطالعات گذشته

تاکنون مطالعاتی برای بررسی تخمین تبخیر و تفرق واقعی با استفاده از داده های مدل سبال برای تعیین میزان آب مصرفی گیاه و بهره وری آبی و ...، در مناطق مختلف دنیا انجام شده که در ادامه نتایج برخی از آن ها ارائه گردیده است:

پاتیل و همکاران [۷] در مطالعه ای به بررسی بهره وری آبی، تبخیر و تفرق محصول گندم با استفاده از تصاویر ماهواره ای و داده های زمینی برای دو سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ در عربستان سعودی پرداختند. نتایج نشان داد که تبخیر و تفرق و بهره وری آبی به ترتیب در سال ۲۰۱۲ با استفاده از تصاویر ماهواره ای ۷۵۱۷ متر مکعب و ۰/۸ کیلوگرم بر متر مکعب و در سال ۲۰۱۳ برابر ۳۶۶۷ متر مکعب و ۲/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب و با استفاده از داده های زمینی در سال ۲۰۱۲ برابر ۴۸۳۱ متر مکعب و ۱/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب و در سال ۲۰۱۳ برابر ۳۹۸۲ متر مکعب، ۱/۶۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش گردید. همچنین نتایج نشان داد که انحراف بین مدل سبال و ایستگاه هواشناسی حدود ۱۰ درصد می باشد.

ولیزاده کامران [۸] نشان داد که تعیین تبخیر و تفرق واقعی یکی از خروجی های مورد انتظار الگوریتم سبال است که در صورت داشتن تصاویر ماهواره ای روزانه از منطقه مطالعاتی، میتوان تبخیر و تفرق واقعی را به صورت پیوسته تعیین کرد. این توانایی یکی از مهمترین مزایای الگوریتم سبال محسوب می شود.

راموس و همکاران [۹] در اسپانیا با استفاده از الگوریتم سبال تبخیر و تفرق ۴ ساله را مورد بررسی قرار دادند در مدل سبال از طریق برآورد تمامی مولفه های انرژی در سطح تبخیر با استفاده از تصاویر ماهواره ای از جمله تابش خالص، شار گرمای خاک و شار گرمای محسوس و با استفاده از معادله توازن انرژی اقدام به محاسبه تبخیر و تفرق واقعی می شود. نتایج به دست آمده نشان داد که الگوریتم سبال قادر به برآورد تبخیر و تفرق روزانه برای گندم و چمن بوده است. در این مطالعه مقادیر تبخیر و تفرق حقیقی به دست آمده از روش سبال برای چمن با انحراف ۰/۳ میلیمتر در روز در روز در مقابل اندازه گیری لایسیمتری و انحراف ۰/۳۶ میلیمتر در روز است. همچنین تبخیر و تفرق حقیقی گیاه گندم برای مزارع تحقیقاتی در حدود ۰/۶ میلیمتر در روز بوده است.

طی مطالعه ای که توسط نوری [۱۰] انجام شد، امکان استفاده از الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر و تفرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سبال قادر هستند مقدار تبخیر و تفرق واقعی را در مقیاس روزانه در منطقه مشهد به خوبی برآورد نمایند.

روش تحقیق

در این تحقیق از الگوریتم سبال به عنوان الگوریتم بیلان انرژی جهت تعیین تبخیر و تفرق واقعی استفاده شد. اساس این روش استفاده از معادله توازن انرژی و محاسبه مقدار شار لحظه ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده معادله بیلان انرژی سطح برای هر پیکسل در یک تصویر می باشد. همچنین در این پژوهش برای پیاده سازی الگوریتم سبال، داده های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک نیاز است که این داده ها شامل تاریخ دقیق تصاویر مورد استفاده در این پژوهش و آمار هواشناسی مربوط به روزهای گذر تصاویر ماهواره ای، می باشد.

الگوریتم سبال

الگوریتم سبال یک مدل تک منبعی است که در سال ۱۹۹۸ توسط باستینسن توسعه داده شد. این مدل تبخیر و تفرق گیاه را، براساس توازن لحظه ای انرژی در سطح هر پیکسل از یک تصویر ماهواره ای محاسبه می نماید که به عنوان یک روش قابل اطمینان برای تخمین تبخیر و تفرق در سطح مزرعه و منطقه به کار برده می شود. اساس مدل سبال بیلان انرژی میباشد، تابش خالصی که از جو به زمین میرسد شامل سه قسمت میباشد. بخشی باعث گرم شدن هوای بالای سطح زمین، بخشی صرف گرم شدن خاک و بقیه باعث تبخیر و تفرق می شود. بیلان انرژی را می توان به صورت رابطه (۱) بیان کرد: [۱۱]

$$\lambda ET = R_n - G - H$$

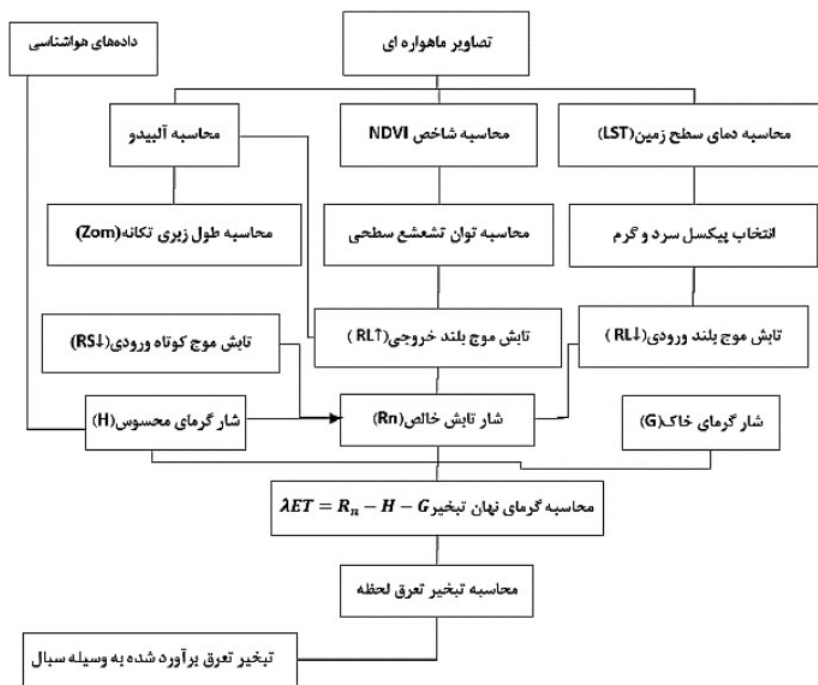
(۱)

که در آن λET شار گرمای نهان تبخیر، R_n میزان تابش خالص خورشیدی، G شار گرمای خاک و H شار گرمای هوا می باشد. که تمامی عوامل بر حسب وات بر متر مربع می باشد. در شکل (۱) فلوچارت برآورد تبخیر و تعرق واقعی با الگوریتم سبال آمده است. در ادامه عوامل الگوریتم سبال معرفی میشوند [۱۲]

شار تابش خالص (R_n)

مقدار تابش خالص از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می آید که عبارت است از تابش طول موج کوتاه ورودی $R_{S\downarrow}$ که بخشی از این انرژی تابشی توسط سطوح مختلف منعکس می شود $R_{S\uparrow}$ ، تابش طول موج بلند ورودی از جو $R_{L\downarrow}$ و تابش طول موج بلند گسیل شده از سطح $R_{L\uparrow}$. تابش خالص لحظه ای در واحد سطح R_n از رابطه (۲) به دست می آید:

$$R_n = (1 - \alpha) R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (2)$$



شکل ۱- فلوچارت برآورد تبخیر و تعرق واقعی با الگوریتم سبال (صادق زاده پوده و همکاران، ۱۳۹۴)

که در آن $R_{S\downarrow}$ تابش طول موج کوتاه ورودی $R_{L\downarrow}$ ، تابش طول موج بلند ورودی $R_{L\uparrow}$ ، تابش طول موج بلند خروجی، هر سه عامل بر حسب وات بر متر مربع، α آلبدوی سطحی (بدون بعد) و ϵ_0 گسیلمندی سطحی (بدون بعد) می باشد.

شار گرمای خاک (G)

اندازه گیری شار گرمای خاک به طور مستقیم با استفاده از تکنیک سنجهش از دور امکان پذیر نیست، اما مطالعات بسیاری نشان داده اند که بین مقدار $\frac{G}{R_n}$ و عواملی چون NDVI و دمای سطحی و آلبدو رابطه وجود دارد. در این پژوهش از رابطه تجربی، که توسط باستیانسن توسعه یافته، برای برآورد مقدار شار گرمای خاک استفاده شده است که در ادامه ارائه میگردد.

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038 \alpha + 0.0074 \alpha^2) (1 - 0.98 NDVI^4) \quad (3)$$

شاخص گیاهی NDVI، نمادی از میزان و وضعیت پوشش گیاهی می باشد. از این شاخص در برآورد بازتابش پوشش سطح زمین، شاخص سطح برگ، سطح زیر کشت و شدت رشد توده زنده گیاهی استفاده می گردد [۱].

شار گرمای محسوس (H)

مقدار شار گرمای محسوس از سرعت باد و دمای سطحی زمین با بکارگیری بیک کالیبراسیون درونی منحصر به فرد متشکل از اختلاف دمای سطح زمین و دمای هوای مجاور (dT) حاصل میشود. این فرمول توسط باستیانس و همکاران، توسعه داده شده که از رابطه (۴) محاسبه می گردد.

$$H = \frac{\rho_{air} \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (۴)$$

که در آن، چگالی هوا (ρ ، kg/m^3)، گرمای ویژه هوا (c_p ، $1004 J/Kg/K$)، اختلاف دمای هوای نزدیک سطح زمین (K) و r_{ah} مقاومت آئرو دینامیک برای انتقال گرماست (s/m). dT و r_{ah} از روابط (۵) و (۶) محاسبه می شوند:

$$dT = a \times T_s + b \quad (۵)$$

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_1}{z_2}\right)}{u \times k} \quad (۶)$$

که در روابط فوق a و b ضرایب ثابت هستند و از رابطه خطی بین dT و T_s به دست می آید، T_s دمای سطحی زمین (K)، z_1 و z_2 ارتفاع های فرضی پوشش گیاهی که به ترتیب ۰/۱ و ۲ متر فرض می شود، u سرعت اصطکاکی که بیان کننده ی نوسانات تلاطمی نوسانات تلاطمی سرعت هوا (متر بر ثانیه) میشود و k ثابت ون کارمن که برابر ۰/۴۱ می باشد. [۵].

برای برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می شود. یکی از این پیکسل ها که پیکسل سرد نامیده می شود، مربوط به منطقه ای کاملاً پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده است، دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد، زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می باشد. بنابراین، مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می شود. در روش سبال طبق معادله (۱) و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل یادشده، شار گرمای محسوس در این دو پیکسل محاسبه شده و سپس مقدار شار گرمای محسوس سایر پیکسل ها تخمین زده می شود [۵].

شار گرمای نهان تبخیر و تعرق لحظه ای (λET)

شار گرمای نهان (λET)، میزان هدررفت گرما از سطح برای فرآیند تبخیر و تعرق می باشد که با استفاده از رابطه بیلان انرژی به دست می آید. مقادیر شار تابش خالص خورشیدی (R_n)، شار گرمای خاک (G)، شار گرمای محسوس (H) که تاکنون به دست آمده مقادیر لحظه ای و برای زمان گذر ماهواره می باشند. برای محاسبه ی مقدار تبخیر و تعرق لحظه ای، مقدار شار گرمای نهان (λET) بر مقدار عددی گرمای نهان تبخیر (λ) باید تقسیم شود. تعرق واقعی در لحظه گذر ماهواره تبخیر و تعرق لحظه ای بر حسب میلی متر از رابطه (۷) به دست می آید.

$$ET_{inst} = 3600 \times \lambda ET / \lambda \quad (۷)$$

که در آن λET شار گرمای نهان (وات بر مترمربع) و λ گرمای نهان تبخیر (ژول بر کیلوگرم) است.

مقدار λ از رابطه (۸) قابل محاسبه می باشد:

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273)] \times 10^6 \quad (۸)$$

تبخیر و تعرق روزانه را می توان با استفاده از کسر ET مرجع $(ET_r F)$ و ET گیاه مرجع (ET_r) محاسبه کرد. کسر ET مرجع $(ET_r F)$ به صورت نسبت ET لحظه ای ET_{inst} محاسبه شده برای هر پیکسل به ET مرجع (ET_r) محاسبه شده از داده های هواشناسی به صورت رابطه زیر بیان می شود:

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (9)$$

تبخیر و تعرق واقعی روزانه (ET_{24})

مقادیر روزانه ET کاربرد بیشتری نسبت به مقادیر ET لحظه ای دارند. سبال ET_{24} را با فرض اینکه $ET_r F$ لحظه ای به صورت میانگین ۲۴ ساعته است، و در طول ۲۴ ساعت شبانه روز تقریباً ثابت است، محاسبه میکند. ET_{24} را می توان به صورت زیر محاسبه کرد.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (10)$$

که در آن ET_{r-24} ، مجموع ET_r ها در طی ۲۴ ساعت برای همان روز تصویر می باشد که با جمع کردن مقادیر ET_r ساعتی با یکدیگر در روز گذر ماهواره به دست می آید.

کارایی مصرف آب آبیاری

پس از محاسبه مقدار تبخیر و تعرق واقعی لازم است تا مقدار ماده خشک تولید شده نیز محاسبه گردد. در اندازه گیری و تعیین کارایی مصرف آب آبیاری، نیاز به مشخص نمودن نسبت عملکرد محصول به آب داده شده به مزرعه میباشد. برای این امر، نیاز به اندازه گیری دقیق دبی آب ورودی به مزرعه و مدت زمان آبیاری به تفکیک نوبت های آبیاری است. کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد بدست آمد محصول بر مقدار آب مصرفی مطابق با رابطه (۱۱) به دست می آید [۱۳].

$$WUE = WU / Y \quad (11)$$

که در آن WUE بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، WU بر حسب متر مکعب بر هکتار و Y عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم بر هکتار می باشد.

نتایج و بحث

آلیدوی سطحی

آلیدو عبارت است از نسبت انرژی الکترومغناطیسی انعکاس یافته از سطح خاک و گیاه بر انرژی ورودی بر آن سطح. در جدول (۱) و (۲) مقادیر آلیدوی سطحی برای پیکسل های گرم و سرد و مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین آلیدو بدست آمده از مدل سبال تصاویر مورد بررسی نشان داده شده است [۱۴].

جدول ۱- مقادیر آلیدو استخراج از الگوریتم سبال برای پیکسل های سرد و گرم

| تاریخ تصویر | پیکسل سرد | پیکسل گرم |
|-------------|-----------|-----------|
| ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ | ۰/۱۶۷ | ۰/۳۰۵ |
| ۱۳۹۵/۱۲/۲۷ | ۰/۲۵۲ | ۰/۳۲۱ |

جدول ۲- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین آلیدو بدست آمده از مدل سبال

| تاریخ تصویر | حداقل | حداکثر | میانگین |
|-------------|-------|--------|---------|
| ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ | ۰/۱۲۵ | ۰/۴۰۴ | ۰/۱۹۵ |
| ۱۳۹۵/۱۲/۲۷ | ۰/۱۷۷ | ۰/۳۷۶ | ۰/۲۳۵ |

با توجه به تصاویر مورد بررسی مناطق با پوشش اراضی کشاورزی دارای مقدار آلبیدوی کمتری نسبت به مناطق بدون پوشش اراضی کشاورزی می باشند، لذا میتوان نتیجه گرفت که جنس و بافت زمین و مقدار رطوبت آن در مقدار آلبیدو دخالت دارد یا به عبارتی بهتر مقدار آن را تعدیل مینماید. در تصاویر اسفندماه به دلیل افزایش پوشش گیاهی و همزمانی با اوج سبزیگی گندم مقدار آلبیدو سطحی کاهش نشان داد. بهطور خلاصه با افزایش پوشش گیاهی آلبیدو کاهش می یابد. از طرفی بیشترین مقدار آلبیدو در مناطق مسکونی و کوهستانی که خارج از محدوده کشت شده و یا زمین بایر بوده مشاهده می شود. این نتایج با نتایج ولیزاده کامران [۸] که بیان کردند، مقادیر تبخیر و تعرق واقعی ارتباط منفی با آلبیدو دارد، مطابقت دارد. اما اهمیت آلبیدو در تمام شرایط پوشش گیاهی یکسان نیست. در شرایط پوشش گیاهی اندک رفتار آلبیدو مانند خاک خشک است و تاثیری در تعیین تبخیر و تعرق ندارد. اما آلبیدو در شرایط پوشش گیاهی متوسط و متراکم اهمیت زیادی دارد و مقدار آن را کنترل می کند.

نتایج موجود از بررسی تصاویر و داده های به دست آمده نشان می دهد که، زمینهای خیس (خوب آبیاری شده) بالاترین میزان تبخیر و تعرق را نشان میدهند. با دور شدن از زمینهای کشاورزی و نزدیک شدن به سطوح با پوششهای گیاهی کم، میزان تبخیر و تعرق بسیار کاهش می یابد. البته تغییر در میزان تبخیر و تعرق می تواند به دلیل تغییر در بافت و شوری خاک نیز ایجاد شده باشد. مقدار تبخیر و تعرق گیاه مورد مطالعه در دهه سوم اسفند ماه برابر ۳/۶۳ و ۳/۹۲ میلیمتر بر روز را نشان داد که با مقدار بر آورد شده از الگوریتم سبال در تاریخ گذر ماهواره (مطابق با دهه سوم اسفندماه) همخوانی دارد (جدول ۳). آنالیزهای آماری انجام شده نیز نشان داد که مدل سبال از دقت خوبی برخوردار می باشد. در فصل رشد به دلیل پوشش گیاهی خوب، انتخاب پیکسل سرد و گرم از دقت بالاتری نسبت به دیگر زمانها برخوردار است که دلیل خوبی برای دقت بالای مدل سبال می باشد.

جدول ۳- مقادیر تبخیر و تعرق روزانه الگوریتم سبال بر حسب میلی متر

| تاریخ تصویر | حداقل | حداکثر | میانگین منطقه |
|-------------|-------|--------|---------------|
| ۱۳۹۴/۱۲/۲۴ | ۱/۹۵۲ | ۴/۲۷۶ | ۳/۶۳۱ |
| ۱۳۹۵/۱۲/۲۷ | ۱/۸۱۷ | ۴/۷۷۵ | ۳/۹۲۹ |

با توجه به تحقیقاتی که در مورد تبخیر و تعرق واقعی با مدل سبال در گذشته صورت گرفته، میتوان اشاره نمود که مقایسه نتایج حاصل از مدل سبال با نتایج حاصل از روش پنمن مانیت نشان داد که نتایج مدل سبال در فصل رشد از همبستگی نسبتاً خوبی (۰/۶۰۵) برخوردار است. مقایسه بین مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سنجنش از دور سبال و روش فائو- پنمن-مانیت و روش تشتک تبخیر در مزرعه گندم نشان میدهد. بین مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم سبال و روش مزرعه ای تطابق نسبتاً خوبی وجود دارد. در مطالعه ای دیگر لی و همکاران [۴]، لیانگ [۱۵] و مباشری [۱۶] و همکاران مشاهده کردند هر چه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، برآورد تبخیر و تعرق با خطای کمتری همراه است.

مراجع:

1. Bastiaanssen, W.G. and L. Chandrapala, Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. Agricultural water management, 2003. 58(2): p. 171-192.



2. Stewart, C.M., A.B. McBratney, and J.H. Skerritt, Site-specific durum wheat quality and its relationship to soil properties in a single field in northern New South Wales. *Precision agriculture*, 2002. 3(2): p. 155-168.
3. Van Eekelen, M., et al., A novel approach to estimate direct and indirect water withdrawals from satellite measurements: A case study from the Incomati basin. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015. 200: p. 126-142.
4. Li, X., et al., Estimation of evapotranspiration in an arid region by remote sensing—A case study in the middle reaches of the Heihe River Basin. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2012. 17: p. 85-93.
5. Bastiaanssen, W.G., M.u.D. Ahmad, and Y. Chemin, Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water resources research*, 2002. 38(12): p. 9-1-9-9.
6. Akbari, M., Z. Seif, and H. Zare Abyane, Estimation of evapotranspiration by remote sensing technique under different climate condition. *Water and Soil*, 2011. 25(4).
7. Patil, V.C., et al., Assessing agricultural water productivity in desert farming system of Saudi Arabia. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2014. 8(1): p. 284-297.
۸. خ. و. ک.، برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنن با استفاده از GIS مجله جغرافیا و برنامه ریزی شهری. سال هجدهم. ۱۳۹۳.
9. Ramos, J., et al., Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of NE Spain. *Agricultural water management*, 2009. 96(4): p. 638-652.
۱۰. نوری، امکان استفاده از الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در زیر حوضه آبریز مشهد ۲۰۰۹.
۱۱. س. س.، برآورد تبخیر و تعرق واقعی با الگوریتم توازن انرژی سطحی سبال و تصاویر تلفیق شده ی ماهواره های لندست ۸ و سنتینل ۲. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۹۹.
۱۲. راحله، ص. ز. پ.، بررسی قابلیت مدل توازن انرژی سطح (سبال) و متغیرهای بیوفیزیک حاصل از داده های ماهواره ای در تخمین رطوبت خاک در مناطق خشک. ۱۳۹۴.
۱۳. ح. ح. ش. آ.، بازده مصرف و بهره وری آب. وزارت جهاد کشاورزی، کمیته ملی مدیریت خشکی و خشکسالی کشاورزی. ۱۳۸۳.
۱۴. ا. م.، برآورد تولید محصول و نقشه عملکرد گندم در سیستم خاکورزی حفاظتی با استفاده از تصاویر ماهواره های (مطالعه موردی: کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول) ۱۳۹۸.
15. Liang, S., et al., Narrowband to broadband conversions of land surface albedo: II. Validation. *Remote Sensing of Environment*, 2003. 84(1): p. 25-41.
۱۶. ر. م. م.، برآورد میزان تبخیر و تعرق در دشتهای مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره های لندست ۸+ETM طرح های پژوهشی. معاونت مطالعات پایه و طرحهای جامع منابع آب. سازمان آب و برق خوزستان. ۱۳۸۵.

Estimation of evapotranspiration with Sabal surface energy balance algorithm and satellite images

Leila Hassanzadeh^{1*}, Vali Rasooli Sharabiani², Asadollah Mirasi³, Ghafoor Aghgaie⁴

1. Master student of Biosystems Engineering, Mohaghegh Ardabili University, Iran (leila.hassanzadeh1994@gmail.com)
2. Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Mohaghegh Ardabili University (vrasooli@uma.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shahrekord Branch (vrasooli@gmail.com)
4. Master of Ardabil Jihad Agricultural Organization (agaie.gh@gmail.com)

Abstract

Estimation of evapotranspiration as one of the effective factors in water resources management and agriculture is very necessary. There are several ways to do this, depending on the accuracy required and the type of application. Recently, methods based on the use of satellite images have been considered by researchers, which are thought to be more accurate in studying of this factor in watersheds. Therefore, the possibility of estimating evapotranspiration in a different range of temporal and spatial scales is felt more than ever. In this study, the possibility of using a model based on Sobal remote sensing was investigated. Using this model, the amount of actual evapotranspiration was estimated as the remainder of the surface energy balance equation. The results obtained from the estimation of Sobal algorithm showed the amount of evapotranspiration of the studied plant in the third decade of March equal to 3.63 and 3.92 mm per day. Statistical analyzes



سیزدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک

بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

(مکانیک بیوسیستم ۱۴۰۰)

۲۴-۲۶ شهریور ۱۴۰۰



also showed that the Sobal model has good accuracy In the growing season, due to good vegetation, the selection of hot and cold pixels has a higher accuracy than other times, which is a good reason for the high accuracy of the Sabal model.

Key words: Evapotranspiration; Remote Sensing; Sobal algorithm; Landsat 8; Sentinel 2; Modis;

*Corresponding author: E-mail: leila.hassanzadeh1994@gmail.com