



برآورد تبخیر از سطح دریاچه ها با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم سنجدش از دوری SEBS (مطالعه موردی: سد امیرکبیر)

سعیده زمانی^۱، مجید رحیم زادگان^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول)

۲- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده:

تبخیر از سطوح آزاد آب همچون دریاچه ها و مخازن سدها از جمله دلایل هدر رفت منابع آبی است، لذا اندازه گیری مقدار دقیق تبخیر از سطح پهنه های آبی به خصوص در مناطق گرم و خشک، از اهمیت بالایی برخوردار است. امروزه با گسترش فناوری و استفاده از تصاویر ماهواره ای و با پیاده سازی الگوریتم های مختلف توان اثری، برآوردهای دقیقی از تبخیر صورت می گیرد. هدف این تحقیق، استفاده از الگوریتم سیستم تعادل انرژی سطح (SEBS) جهت پهنه بندی تبخیر از سطح دریاچه های پشت سدها است. به همین منظور ۳ تصویر ماهواره ای Landsat TM از دریاچه سد امیرکبیر و زمین های کشاورزی پایین دست آن مربوط به ماه های خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۰ برای پیاده سازی روش SEBS تهیه و تصحیحات رادیومتریک و هندسی بر روی آن انجام شد. برای انجام پیاده سازی های مربوط به الگوریتم SEBS از داده های هواشناسی ایستگاه هواشناسی کرج استفاده شد. همچنین مقدار تبخیر به دست آمده از روش تشت تبخیر جمع آوری شده توسط شرکت آب منطقه ای استان تهران در نزدیکی دریاچه سد امیرکبیر (کرج) به عنوان داده های واقعیت زمینی استفاده گردید. نتایج به دست آمده با استفاده از پیاده سازی الگوریتم SEBS برای سد امیرکبیر با داده های زمینی نشان دهنده مقدار RMSE به اندازه ۰.۳۲ میلیمتر در روز بود که مقدار قابل قبولی است. در مجموع، نتایج نشان دهنده کارایی روش SEBS برای برآورد مقدار تبخیر از سطح دریاچه های پشت سدها بود و می توان با توجه به شرایط مکانی و زمانی هر منطقه، از آن برای تعیین تبخیر تعریق پهنه های آب شیرین استفاده نمود.

واژه های کلیدی: الگوریتم SEBS، تبخیر تعریق، تصاویر ماهواره ای، مخزن سد، پهنه بندی

۱- مقدمه

کمبود آب از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین چالش‌های قرن آینده است. آب یکی از عوامل اصلی تعیین کننده در توسعه کشاورزی و صنعتی مناطق خشک و نیمه خشک است. مصرف بی‌رویه و نادرست منابع آبی و نیز هدر رفت آن‌ها از طرق مختلف باعث ایجاد بحران‌های بسیاری شده است. این بحران‌ها موجب شده‌اند که نیاز به یک راه حل مناسب جهت پایش و مدیریت منابع آبی بیش از پیش احساس شود. یکی از منابع آبی مهم تامین کننده نیاز آبی شرب، کشاورزی و صنعت، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، آب ذخیره شده در دریاچه‌های پشت سدهای احداث شده بر روی رودخانه‌ها است. از جمله روش‌های هدر رفت آب در دریاچه‌های آب شیرین و مخازن سدها، تبخیر از سطح آن‌ها بوده و این مورد بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در مدیریت منابع آبی ایفا کند.

بطور کلی، فرآیند تبدیل آب از حالت مایع از سطوح آزاد آب یا خاک مرطوب، به بخار آب را تبخیر می‌گویند [۱]. تخمین تبخیر بر اساس روابط فیزیکی و تجربی بسیار متداول است، این روش‌ها بر اساس داده‌های هواشناسی هستند که کمبود یا نقصان این داده‌ها، استفاده از این روابط را با محدودیت رو به رو کرده است. از طرفی این اطلاعات نقطه‌ای و مربوط به ایستگاه هواشناسی است و برآورد منطقه‌ای آن با استفاده از روش‌های آماری مشکل دیگری است که عدم قطعیت خاص خود را دارد [۲]. در سال‌های اخیر و با پیشرفت سنجنده‌های ماهواره‌ای و روش‌های سنجش از دوری، استفاده از تصاویر تهیه شده توسط این سنجنده‌ها در تعیین میزان تبخیر-تعرق بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۳]. با استفاده از سنجش از دور می‌توان تبخیر-تعرق را در یک منطقه بدون نیاز به دانستن پیشینه‌ای در رابطه با شرایط خاک، محصول و نحوه مدیریت مزرعه برآورد نمود [۴].

جهت تعیین تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای می‌توان به الگوریتم‌های متعددی همچون سیستم بیلان انرژی^۱ SEBS (سو ۲۰۰۲)، بیلان انرژی در سطح زمین^۲ SEBSL (باستیانسن و همکاران، ۱۹۹۸)،^۳ SEBI (مننتی و چودهوری، ۱۹۹۳) و^۴ Metric (آلن و همکاران، ۲۰۰۷) اشاره کرد. در این تحقیق، از مدل سیستم بیلان انرژی سطح (SEBS)، جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی، استفاده شده است. مدل SEBS برای نخستین بار توسط سو^۵ پیشنهاد شد [۵]. این مدل جهت برآورد تبخیر و تعرق روزانه، ماهیانه و سالیانه، در یک محیط نیمه خشک و همچنین برای پایش خشکسالی توسط سو و همکاران ارائه شد. از مزیت‌های این الگوریتم برآورد تبخیر و تعرق برای سطوح و مقیاس‌های مختلف می‌باشد [۶].

در تحقیقی، یوحن ادن (۲۰۱۲) در هلند، با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS، جهت بررسی خشکسالی کشاورزی، الگوریتم SEBS را برای مناطق کشاورزی پیاده سازی کرد. در این تحقیق، نقشه‌های شاخص خشکسالی مبتنی بر تبخیر و تعرق با شاخص‌های زمینی و پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند که رفتار متفاوتی در ماههای مختلف نشان دادند، مطابقت آنها عمدتاً در طول فصل رویش نمایان بود [۷].

ضیابی و همکاران (۱۳۹۳) برای برآورد تبخیر ماهیانه از سطح دریاچه ارومیه، دو الگوریتم سنجش از دور SEBS و SEBAL را مورد مطالعه قرار دادند. در این راستا، از تصاویر سنجنده MODIS برای ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۸۵ استفاده کردند. برای ارزیابی دو الگوریتم از داده‌های تشخیص تبخیر

¹ Surface Energy Balance System

² Surface Energy Balance Algorithm for Land

³ Surface Energy Balance Index

⁴ Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration

⁵ Z. Su

ایستگاه‌های هواشناسی ارومیه استفاده شد. نتایج برای هر دو الگوریتم قابل قبول بود. ولی الگوریتم SEBS علی‌رغم سادگی روابط و پیاده‌سازی آن، از دقت بالاتری نسبت به الگوریتم SEBAL برحوردار بود [۸].

چین‌یه‌په^۱ (۲۰۱۰) نیز مدل SEBS را برای تبخیر از دریاچه متیریکوی^۲ در زیمباوه اصلاح کرد. او از تصاویر MODIS/Terra برای این مورد استفاده کرد و تبخیر را براساس ۱۰ تصویر برای هر ماه (یک ماه زمستانی و یک ماه تابستانی) به دست آورده و نتایج حاصل از SEBS را با تبخیر به دست آمده از تشت تبخیر مقایسه کرد. او نتیجه‌گیری کرد میزان تبخیر برآورده شده با SEBS کمی بالاتر از مقادیر تبخیر به دست آمده از تشت تبخیر است ولی تفاوت قابل توجهی بین این مقادیر وجود ندارد و می‌توان SEBS را برای برآورد تبخیر در مقیاس‌های بزرگ به کار برد [۹].

همچنین آبدلرادی^۳ (۲۰۱۳) مدل SEBS را برای محاسبه تبخیر از آب‌های شور و شیرین اصلاح کرد. او از تصاویر ماهواره AATSR/Envisat استفاده کرد. نتایج همبستگی بالایی را با $R^2 = 0.98$ برای آب‌های شیرین و $R^2 = 0.88$ برای آب‌های شور نشان دادند [۱۰].

به همین منظور، در مطالعه حاضر تلاش می‌شود با پیاده‌سازی الگوریتم SEBS، مقادیر تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از فناوری سنجش از دور برای سد کرج محاسبه شده و با مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر مقایسه شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از استان‌های تهران و البرز، شامل مخزن سد امیرکبیر (کرج) و مناطق کشاورزی پایین دست آن، می‌باشد (نگاره ۱). سد امیرکبیر (کرج) با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه شمالی، با ارتفاع ۱۲۹۷ متر از سطح دریا، در ۴۸ کیلومتری غرب تهران واقع شده و دارای اقلیم نیمه خشک با زمستان نسبتاً سرد و تابستان نسبتاً معتدل است. سرعت متوسط باد روزانه ۲/۲ متر بر ثانیه و جهت غالب آن شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. سد امیرکبیر که محدوده مورد نظر این مطالعه است، بر روی رودخانه کرج با سطح حوزه آبریزی به مساحت ۷۶۴ کیلومتر مربع احداث شده است و بخشی از نیاز آب شرب و کشاورزی استان‌های تهران و البرز را تامین می‌کند.

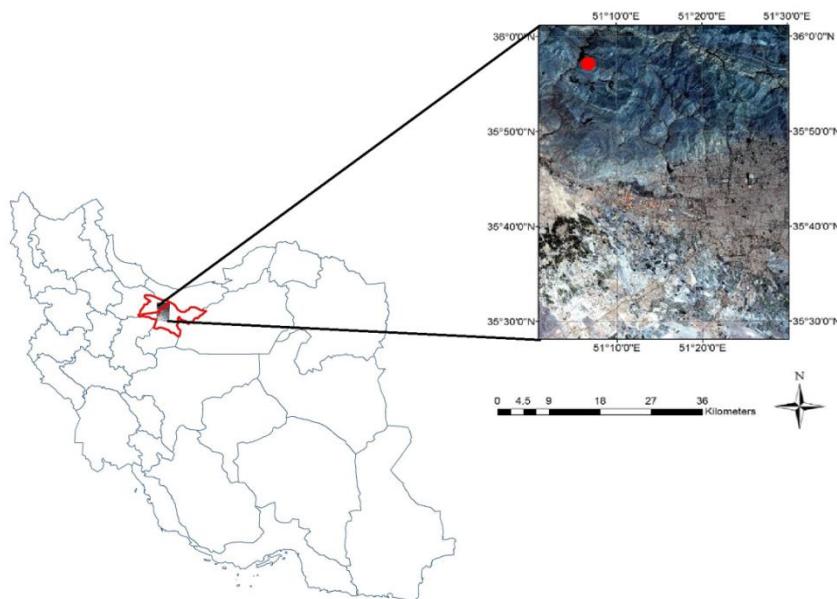
۲-۲- داده‌های مورد استفاده

جهت انجام این تحقیق از ۳ تصویر ماهواره‌ای LANDSAT5 TM مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۰/۴/۱۸، ۱۳۹۰/۳/۸، ۱۳۹۰/۴/۱۸، ۱۳۹۰/۵/۱۰ استفاده شده است. تصاویر ماهواره‌ای، از سایت erthexplorer.usgs.gov قابل دانلود هستند. زمان برداشت تصاویر به وقت محلی ساعت ۱۰:۳۰ دقیقه قبل از ظهر است. همچنین از داده‌های زمینی به شرح زیر در تحقیق حاضر استفاده شده است: تبخیر-تعرق روزانه اندازه‌گیری شده در سد امیرکبیر، ارتفاع ایستگاه هواشناسی کرج، که این داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای تهران دریافت شده است و دمای نقطه شبنم، فشار، سرعت باد و دمای هوای اندازه‌گیری شده در طول روز تصویربرداری که از سایت سازمان هواشناسی کشور اخذ شده‌اند [۱۱]. کلیه پیاده‌سازی‌های این تحقیق در نرم‌افزارهای MATLAB R2012a و ENVI5.1 صورت پذیرفته است.

¹ Chinyepo

² Mutirikwi

³ Abdelrady



شکل ۱: تصویر منطقه مورد مطالعه

۳-۲- الگوریتم SEBS

اساس الگوریتم SEBS بر مبنای معادله توازن انرژی بنا نهاده شده است (رابطه (۱)). در این الگوریتم با محاسبه مقدار شار لحظه‌ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده رابطه (۱)، برای هر پیکسل تبخیر-تعرق لحظه‌ای و روزانه محاسبه می‌گردد.

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (1)$$

در این رابطه، λET_{inst} شار گرمای نهان تبخیر^۱ در لحظه تصویربرداری (w/m^2)، R_n مقدار تابش خالص خورشیدی^۲ (w/m^2)، G شار گرمای خاک^۳ (w/m^2) و H شار گرمای محسوس^۴ (w/m^2) است. مقدار تابش خالص خورشیدی از رابطه (۲) قابل محاسبه است.

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (2)$$

که در آن α آلبیدوی سطح، ε_0 گسیلنگی^۵ سطح، $R_{S\downarrow}$ تابش فرویدی طول موج کوتاه، $R_{L\downarrow}$ تابش فروودی طول موج بلند، $R_{L\uparrow}$ تابش خروجی طول موج بلند است.

برای محاسبه R_n ، ابتدا تصویرات رادیومتریک بر روی تصاویر انجام شده و باندهای مختلف تصویر بسته به طول موج آن‌ها به مقادیر بازتابندگی^۶ و تابندگی^۷ تبدیل شدند.

¹ Latent heat flux

² Net radiation flux at the surface

³ Soil heat flux

⁴ Sensible heat flux to the air

⁵ Emissivity

⁶ Reflectance

⁷ Radiance

شار گرمایی خاک G میزان ذخیره سازی گرما در خاک و گیاه، در اثر انتقال می باشد. این متغیر با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می شود:

$$G_0 = R_n \cdot [\Gamma_c + (1 - f_c) \cdot (\Gamma_s - \Gamma_c)] \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، نسبت شار حرارتی خاک به تابش خالص^۱، برای مناطق با پوشش گیاهی کامل $\Gamma_c = 0.05$ ، و برای خاک لخت $\Gamma_s = 0.315$ ، فرض می شود و f_c کسر پوشش گیاهی^۲ است.

در این تحقیق، شار گرمایی خاک G ، برای پهنه های آبی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$G_0 = \beta(T_e - T_0) \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$T_e = T_d + \frac{Q_s}{\beta} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\beta = 4.5 + 0.05T_0 + (\eta + 0.47)S(W) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\eta = 0.35 + 0.015T_0 + 0.0012(T_n)^2 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$T_n = 0.5(T_0 - T_d) \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در رابطه های بالا، دمای تعادل، T_d دمای نقطه شبنم، Q_s تابش موج کوتاه خالص، ضریب تبادل حرارتی، $S(W)$ تابع باد است.

شار گرمایی محسوس (H) برابر با مقدار گرمای منتقل شده به هوا، به دلیل اختلاف دما، به صورت همرفت است. در مدل SEBS این متغیر از یک روند تکراری بین سه رابطه زیر محاسبه می شود:

$$u = \frac{u_*}{k} \left[\ln\left(\frac{z - d_0}{z_{0m}}\right) - \Psi_m\left(\frac{z - d_0}{L}\right) + \Psi_m\left(\frac{z_{0m}}{L}\right) \right] \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\theta_0 - \theta_a = \frac{H}{ku_* \rho C_p} \left[\ln\left(\frac{z - d_0}{z_{0h}}\right) - \Psi_h\left(\frac{z - d_0}{L}\right) + \Psi_h\left(\frac{z_{0h}}{L}\right) \right] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$L = \frac{\rho C_p u_*^3 \theta_v}{kgH} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

¹ ratio of soil heat flux to net radiation

² fractional canopy coverage

که در رابطه‌های بالا، u_* سرعت اصطکاک، ρ چگالی هوا، $k = 0.41$ ^۱ ثابت ون کارمن^۲، d_0 ارتفاع جابجایی صفر، z_{0m} ارتفاع زبری برای جابجایی مومنتم، θ_a دمای پتانسیل سطح، z_{0h} دمای پتانسیل هوا در ارتفاع z ، Ψ^h ارتفاع زبری برای انتقال گرما، Ψ^m و Ψ^v توابع تصحیح پایداری برای مومنتم و انتقال گرما محسوس^۳، L طول ابوخو^۴، g شتاب جاذبه زمین، θ_v دمای عمودی پتانسیل در نزدیکی سطح زمین است.

$$\text{طول زبری گرما} (z_{0h})$$

طول زبری گرما با استفاده از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$z_{0h} = \frac{z_{0m}}{\exp(kB^{-1})} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$kB^{-1} = \frac{kC_d}{4C_t \frac{u_*}{u(h)} (1 - e^{-n_{ec}/2})} f_c^2 + 2f_c^2 f_s^2 \frac{k \frac{u_*}{u(h)} \cdot z_{0m}}{C_t^*} + kB_s^{-1} f_s^2 \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

که در رابطه‌ی بالا $f_s = 1 - f_c$ است.

و در نهایت با محاسبه λET_{inst} شار گرمای نهان تبخیر، مقدار تبخیر لحظه‌ای (در لحظه گذر ماهواره) محاسبه می‌شود.

$$E_{inst} = \frac{\lambda ET_{inst}}{\lambda * \rho_w} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

که در آن، E_{inst} تبخیر لحظه‌ای، λ گرمای نهان تبخیر، ρ_w چگالی آب است.

جهت محاسبه خطای بین مقادیر برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده، از خطای جذر میانگین مربعات^۴ (RMSE) مطابق با رابطه زیر استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

که در آن N تعداد مشاهدات، x_i ها مقادیر اندازه‌گیری شده و \hat{x}_i ها مقادیر برآورده شده، هستند.

¹ von Karman's constant

² stability correction functions for momentum and sensible heat transfer

³ Obukhov length

⁴ Root Mean Square Error

۳- نتایج و بحث

الگوریتم SEBS برای اندازه‌گیری تبخیر واقعی از سطح دریاچه سد امیرکبیر، اجرا شد. بدین منظور از تصاویر ماهواره لندست^۱ و برای سه روز در ماههای خرداد، تیر و مرداد سال ۱۳۹۰ استفاده شده و با برآورد تبخیر لحظه‌ای و سپس تبدیل آن به تبخیر روزانه، تبخیر از سطح دریاچه سد محاسبه شد. و در نهایت جهت ارزیابی نتایج حاصل از الگوریتم SEBS، خروجی ها با داده‌های اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر مقایسه شده است. تمام مراحل پیاده‌سازی الگوریتم در دو نرم افزار MATLAB 5.1 و ENVI 5.1 انجام شده است.

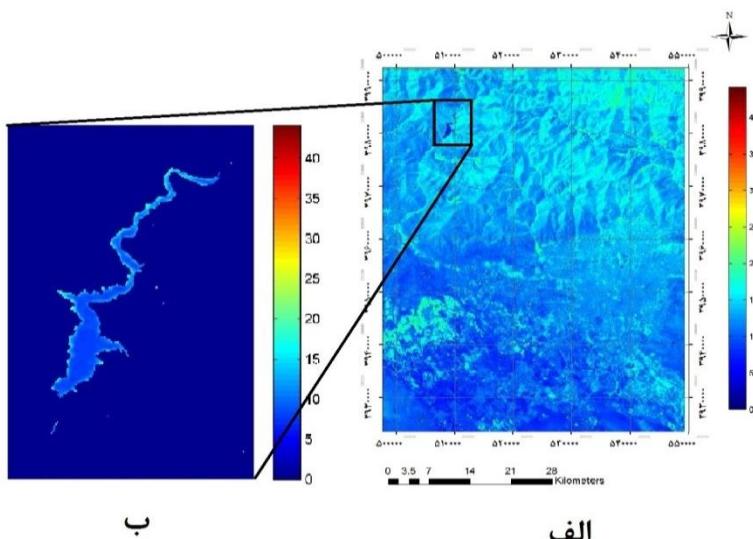
نتایج حاصل از پیاده‌سازی‌های الگوریتم SEBS و اندازه‌گیری‌های لایسیمتر در جدول (۱) آورده شده‌اند. لازم به ذکر است برای تبدیل اندازه‌گیری‌های تشت تبخیر به مقادیر سطح دریاچه، مقادیر به دست آمده از تشت، در ضرب ۷.۰ ضرب شده‌اند.

جدول ۱: آمار مقایسه‌ای تبخیر-تعرق نقطه‌ای ماهواره با داده‌های زمینی بر حسب میلیمتر بر روز

تفاضل مطلق	الگوریتم SEBS	تبدیل مقادیر تشت تبخیر	تشت تبخیر	تاریخ
۰/۲۹	۵/۸	۶/۰۹	۸/۷	۱۳۹۰/۳/۸
۰/۳۷	۸	۷/۶۳	۱۰/۹	۱۳۹۰/۴/۱۸
۰/۳۱	۶/۴	۶/۰۹	۸/۷	۱۳۹۰/۵/۱۰

براساس نتایج حاصل، خطای جذر میانگین مربعات برابر با $RMSE = 0.32$ است که نشان دهنده دقیق بالای مدل SEBS در برآورد تبخیر از سطح پهنه آبی است.

شکل (۲)، تصویر خروجی برای پراکندگی تبخیر از سطح منطقه مطالعاتی برای تاریخ ۱۳۹۰/۴/۱۸ است.



شکل ۲: الف: تصویر خروجی تبخیر واقعی از کل منطقه مطالعاتی. ب: تصویر خروجی تبخیر فقط از سطح دریاچه سد امیرکبیر

^۱ Landsat TM5

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

اندازه‌گیری تبخیر از سطح دریاچه‌های پشت سدها، در مناطق گرم و خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. به دلیل اندازه‌گیری نقطه‌ای روش‌های سنتی و تبدیل آن به مقیاس منطقه‌ای، این روش‌ها دقیق‌تر برای در مقیاس منطقه‌ای نداشته و از محدودیت‌های آن به حساب می‌آید. امروزه با گسترش فناوری‌های ماهواره‌ای، امکان پهنه‌بندی تبخیر برای کل منطقه مطالعاتی و به طور مجزا برای هر پیکسل، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های بیلان انرژی همچون SEBS امکان‌پذیر شده است. بدین منظور، در تحقیق حاضر، مقدار تبخیر از سطح دریاچه سد امیرکبیر با استفاده از الگوریتم SEBS به دست آمد. جهت صحیح نتایج حاصله، از داده‌های لایسیمتری ارائه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای تهران استفاده شد. جهت انجام پیاده‌سازی‌ها، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به تاریخ‌های ۱۳۹۰/۳/۸، ۱۳۹۰/۴/۱۰، ۱۳۹۰/۵/۱۰ تهیه شده و الگوریتم SEBS بر روی آن‌ها اعمال شد. نتایج حاصل از الگوریتم SEBS برای تبخیر-تعرق واقعی به صورت نقطه‌ای با اندازه‌گیری‌های لایسیمتری تبخیر-تعرق در منطقه مطالعاتی، مقایسه شده و نشان‌دهنده خطای کمتر از ۰/۵ میلیمتر در روز در هر سه تاریخ مورد مطالعه و مقدار RMSE برابر با ۰/۳۲ برای هر سه تاریخ مورد نظر بود. همچنین، نتایج نشان‌دهنده متغیر بودن مقدار تبخیر در سطح دریاچه بوده که این مورد عدم کارایی در نظر گرفتن اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای و بسط آن به کل سطح دریاچه را اثبات می‌نماید. پیش از این پژوهش‌های بسیاری در رابطه با کارایی الگوریتم SEBS انجام شده و تمامی آن‌ها موبید کارایی این الگوریتم بود. در پژوهش حاضر الگوریتم SEBS با استفاده از تصاویر لندست و برای یک پهنه آبی (دریاچه سد امیرکبیر) پیاده‌سازی شده و نتایج نهایی کارایی این الگوریتم برای مناطق آبی را نشان می‌دهد. این نتایج می‌تواند در مطالعات جامع برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب به کار رفته و معیار دقیق‌تر از هدررفت آب از طریق تبخیر در سطح دریاچه‌های آب شیرین ارائه نماید.

مراجع

- [۱] صفوی، ح.ر.، هیدرولوژی مهندسی انتشارات ارکان دانش، ۱۳۹۳. چاپ چهارم(اصفهان): ۷۲۴ ص.
- [۲] ضیایی، ر.ا.، همکاران، ارزیابی الگوریتم سنجش از دوری SEBS در برآورد تبخیر از سطوح آزاد آب (مطالعه موردی: دریاچه ارومیه)، در دومین همایش ملی بحران آب (تغییر اقلیم، آب و محیط زیست). ۱۳۹۳، دانشگاه شهرکرد.
- [۳] Bastiaanssen, W., et al., A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 2.Validation. Journal of hydrology, 1998. 212: p. 213-229.
- [۴] Bastiaanssen, W., et al., SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. Journal of irrigation and drainage engineering, 2005. 131(1): p. 85-93.
- [۵] Su, Z., The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2002. 6(1): p. 85-100.
- [۶] باباجنفی، ح.، همکاران.، برآورد تبخیر تعرق واقعی مبتنی بر تصاویر ماهواره NOAA-AVHRR و الگوریتم SEBS (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، در اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار. ۱۳۹۴، دبیرخانه دائمی کنفرانس.
- [۷] EDEN, U., DROUGHT ASSESSMENT BY EVAPOTRANSPIRATION MAPPING IN TWENTE, THE NETHERLANDS. 2012.

[۸] ضیایی، ر.ا، م.ن. مقدسی، و.م. باقری، ارزیابی تبخیر برآورده شده از سطوح آزاد آب با استفاده از الگوریتمهای سنجش از دوری SEBAL و SEBS (منطقه مطالعاتی: دریاچه ارومیه)، در همایش ملی کاربرد مدل های پیشرفته تحلیل فضایی (سنجش از دور و GIS) در آمیش سرزمین. ۱۳۹۳، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد.

[۹] Chinyepo, A., Satellite Remote Sensing of Surface water evaporation over Lake Mutirikwi, Zimbabwe. 2010, UNIVERSITY OF ZIMBABWE.

[۱۰] Abdelrady, A.R., Evaporation over fresh and saline water using SEBS. 2013, MSc Thesis, University of Twente. The Netherlands.

ایران، س.ه. ۱۳۹۵ [۱۱] www.irimo.ir