

برآورد تبخیر و تعرق گیاه نیشکر با استفاده از الگوریتم SEBS و SEBAL (مطالعه موردی کشت و صنعت امیرکبیر)

جمیل جلالی^۱، فریدون رادمنش^{۱*}، عبدعلی ناصری^۲، محمدعلی آخوندعلی^۱ و حیدرعلی زارعی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲)

چکیده

تبخیر یکی از پارامترهای مهم در مدیریت پیکره‌های آبی، تغییرات تراز آب در آنها و محاسبه بیلان آب است که برآورد دقیق آن با مشکلات و پیچیدگی‌های خاصی روبه‌رو است. توجه به محدودیت روش‌های فیزیکی و تجربی برآورد تبخیر، استفاده از فناوری سنسج از دور به دلیل امکان برآورد مکانی اطلاعات و همچنین حداقل کردن استفاده از داده‌های هواشناسی می‌تواند کاربرد وسیعی در محاسبه تبخیر داشته باشد. الگوریتم‌های زیادی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از فناوری سنسج از دور توسعه داده شده‌اند. از جمله این الگوریتم‌ها، SEBAL و SEBS هستند. در این پژوهش با استفاده از این الگوریتم‌ها برای محاسبه آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و اطلاعات هواشناسی مانند درجه حرارت، ساعت‌های آفتابی، باد، فشار بخار اشباع، رطوبت خاک و غیره استفاده و در نهایت تبخیر-تعرق در کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر واقع در جنوب غربی خوزستان، محاسبه و نقشه‌های تبخیر-تعرق برای سال ۱۳۹۷ تهیه شد. همچنین تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از روش Priestly-Taylor محاسبه شد و با روش SEBAL و SEBS مورد مقایسه قرار گرفت. تفاضل مطلق برای الگوریتم SEBAL در دوره مورد تحقیق بین ۰/۱ تا ۰/۲۷ متغیر بود و برای الگوریتم SEBS این مقدار از ۰/۰۹ تا ۱۹/۲ به دست آمد که برای هر دو الگوریتم قابل قبول است اما نتایج نشان می‌دهد الگوریتم SEBAL کارایی قابل قبول‌تری نسبت به الگوریتم SEBS دارد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، سنسج از دور، SEBS، Priestly-Taylor، SEBAL

۱. گروه منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: feridon.radmanesh@yahoo.com

مقدمه

بررسی‌های مدیریت آب کشاورزی به اطلاعات دقیقی از تبخیر و تعرق واقعی نیاز دارد. این اطلاعات باید دارای جزئیات مکانی کافی باشد تا بتوان تحلیل‌ها را در سطح مزرعه و یا حوضه انجام داد (۱۴). روش‌هایی که برای برآورد تبخیر-تعرق به کار گرفته می‌شود در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند، که عبارتند از: روش‌های مستقیم و روش‌های غیرمستقیم یا محاسباتی (۱).

مبنای بیشتر روش‌های غیرمستقیم ارائه شده، بر پایه رابطه‌های بین پارامترهای هواشناسی است که کمبود یا نقصان این داده‌ها، استفاده از آنها را با محدودیت روبه‌رو می‌کند. از طرفی این اطلاعات، نقطه‌ای و مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی است و برآورد منطقه‌ای آنها مشکل دیگری است که عدم قطعیت‌های خاص خود را دارد. بدین منظور استفاده از فناوری سنجنش از دور و تصویرهای ماهواره‌ای، می‌تواند رویکرد مناسبی برای پاسخ به این محدودیت‌ها باشد. تبخیر و تعرق واقعی را می‌توان با تصویرهای ماهواره‌ای که دارای طول موج‌های کوتاه و بلند هستند و با کاربرد معادلات بیلان انرژی سطحی برآورد کرد (۷). از نمونه الگوریتم‌های مطرح می‌توان به مدل‌های SEBAL (۵ و ۶)، Metric (۲)، SEBS (۱۸) اشاره کرد. از بین الگوریتم‌های گفته شده از الگوریتم بیلان انرژی استفاده بیشتری شده است (۳ و ۱۶). از عوامل ارجحیت الگوریتم SEBAL نسبت به دیگر الگوریتم‌های سنجنش از دور این است که SEBAL شامل الگوریتم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی است و از شبیه‌سازی ماهواره‌ای استفاده می‌کند و نیاز به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری‌های زمینی یا مدل‌های هوایی دارد (۴).

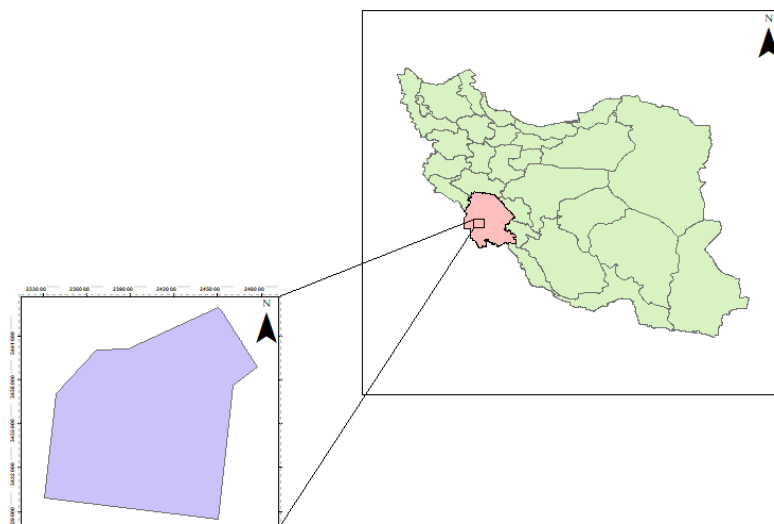
لی و همکاران (۱۱) مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر NOAA و الگوریتم SEBAL روی میزان آب مصرفی و بهره‌وری آب گیاه گندم در دشت‌های شمال چین انجام دادند. طبق نتایج به دست آمده خطای نسبی بین مقدار تبخیر و تعرق فصلی با داده‌های لایسیمتری وزنی ۴/۲ درصد به دست آمد.

در پژوهش پورمحمدی و رحیمیان (۱۳) میزان تبخیر و تعرق واقعی گیاهان تحت تنش‌های محیطی در دشت آزادگان واقع در استان خوزستان توسط الگوریتم SEBAL برآورد شد. نتایج این پژوهش برای هر یک از سایت‌های موجود در منطقه (گیاه گندم، گیاهان مرتعی و نزارها) تبخیر و تعرق جداگانه‌ای را ارائه داد. در ضمن تبخیر و تعرق به دست آمده از الگوریتم SEBAL با تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از معادله Penman-Montith حدود ۸۵ درصد همبستگی نشان داد.

در این مطالعه الگوریتم SEBS نیز مورد بررسی قرار گرفت الگوریتم SEBS برای تخمین شارهای انرژی از مشاهدات طیفی ماهواره و اطلاعات هواشناسی استفاده می‌کند. این الگوریتم توسط سو در سال ۲۰۰۲ توسعه داده شده است (۱۹) و شامل یک سری ابزار برای تعیین پارامترهای فیزیکی سطح زمین (مانند آلبیدو، انتشار سطحی، دمای سطحی، شاخص پوشش گیاهی و...) از روی تصاویر ماهواره‌ای است.

سو و همکاران (۱۷) مطالعه‌ای برای ارزیابی تبخیر و تعرق برآورد شده توسط الگوریتم SEBS با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش رطوبت خاک انجام دادند. بر اساس نتایج آنها تفاوت بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده برای سویا و ذرت بین ۱۰ تا ۱۵ درصد به دست آمد. در ضمن نتایج آنالیز آنها نشان داد دقت برآورد تبخیر و تعرق ارتباط زیادی با نوع گیاه دارد به طوری که پیش‌بینی‌های ذرت تخمین بهتری را در مقایسه با سویا نشان داد. شان (۱۵) در تحقیقی که به منظور برآورد تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق واقعی در حوضه رودخانه هایه از الگوریتم سنجنش از دور SEBS و تصاویر سنجنده MODIS استفاده کرد. نتایج مطالعات آنها نشان داد که تبخیر و تعرق و شاخص گیاهی NDVI همبستگی بالایی دارند و دارای ارتباط مستقیم هستند، به طوری که در نواحی کوهستانی با پوشش گیاهی زیاد مقدار تبخیر و تعرق نیز بالاتر بوده است.

هیلیجورجیس (۱۰) در تحقیقی الگوریتم SEBS را برای ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی در



شکل ۱. موقعیت کشت و صنعت توسعه نیشکر امیرکبیر

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه

منطقه مورد مطالعه در کشت و صنعت نیشکر واحد امیرکبیر واقع در جنوب استان خوزستان، یکی از هفت شرکت توسعه کشت نیشکر و صنایع جانبی با مختصات محلی ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه و ۴۹ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۲ دقیقه و ۴۹ ثانیه است. کشت و صنعت امیرکبیر در ۴۵ کیلومتر جاده اهواز - خرمشهر، جاده امام جعفر صادق (ع) واقع شده است که از جنوب به کشت و صنعت میرزا کوچک‌خان محدود می‌شود و در شرق آن رودخانه بزرگ کارون واقع شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی کشت و صنعت توسعه نیشکر امیرکبیر را نشان می‌دهد. مساحت ناخالص اراضی این کشت و صنعت ۱۵۰۰۰ هکتار و مساحت خالص آن ۱۲۰۰۰ هکتار بوده که به چندین قطعه ۲۵ هکتاری تقسیم بندی شده است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت امیرکبیر استخراج شد. این اطلاعات شامل: سرعت باد، ساعات آفتابی، دمای حداکثر و حداقل و بارش هستند. داده‌های مذکور برای سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ همراه با شروع ارسال عکس‌های ماهواره Landsat8 و Sentinel2 مورد استفاده قرار گرفتند.

در این تحقیق از ۲۴ عدد تصویر ارسال شده از ماهواره

بخش‌هایی از استان Overijssel کشور هلند با استفاده از تصاویر Landsat7 مورد استفاده قرار داد. در این مطالعه مقدار ضریب گیاهی ذرت بر اساس تبخیر و تعرق به دست آمده (روشنی که زبری سطح بر اساس شاخص NDVI محاسبه شده است) با استفاده از الگوریتم SEBS و تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) به دست آمده با فرمول پنمن مانیتث (۲) محاسبه شد. نتایج مطابقت خوبی با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۸ را با ضرایب گیاهی ارائه شده در مطالعات قبلی در منطقه نشان داد.

آنچه که مسلم است اهمیت کارایی این الگوریتم‌ها 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. براساس آن می‌توان اقدام به برنامه‌ریزی و اختصاص مقدار آب مورد نیاز به هر منطقه کرد. هدف از پژوهش حاضر نیز تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی به کمک الگوریتم SEBAL و SEBS با استفاده از ماهواره Landsat و Sentinel در واحد کشت و صنعت امیرکبیر است. همچنین تفاوت این تحقیق با سایر تحقیقات انجام شده تلفیق تصاویر دو ماهواره Landsat و Sentinel برای رسیدن به اطلاعات مکانی بیشتر است.

ماموریت اصلی Sentinel2 شامل: ارائه تصاویر چندطیفی با پوشش جهانی و دارای توان تفکیک مکانی و زمانی بالا، ارائه تصاویری که مکمل داده‌های تصویری Landsat و اسپات باشد و آنها را بهبود بخشد، جمع‌آوری اطلاعات برای نسل بعدی محصولات از قبیل نقشه‌های پوششی زمین و نقشه‌های تغییرات زمین و متغیرهای ژئوفیزیکی هستند. بنابراین، داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های Sentinel2 می‌توانند در حوزه‌هایی چون پایش زمین، مدیریت بحران و سرویس‌های امنیتی بسیار مفید واقع شوند. سنجنده تصویربرداری سوار شده روی Sentinel2، MSI نام دارد که تصاویر منحصر به فردی را ارائه می‌دهد. این تصاویر دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر و شامل ۱۳ باند در محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه هستند. علاوه بر این، Sentinel2 دارای عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۵ روز در استوا است (۸).

اطلاعات لایسیمتر

در این مطالعه از لایسیمترهای زهکش‌دار شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر به عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی استفاده شد. داده‌های لایسیمتر برای صحت‌سنجی داده‌های تبخیر و تعرق استفاده شد. مساحت این لایسیمترها ۱۲۰ متر مربع است و از ۱۰ لایسیمتر کوچک‌تر با ابعاد ۶×۲ متر با کف شیب‌دار و عمق حدود ۲ متر و شیب ۵/۰۰۵ تشکیل شده است.

الگوریتم SEBAL

در این الگوریتم با استفاده از معادله توازن انرژی مقدار شار گرمای نهان تبخیر برای هر پیکسل از رابطه ۱ به دست می‌آید (۴):

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن: λET شار گرمای نهان تبخیر (W/m^2)، R_n میزان تابش خالص خورشیدی (W/m^2)، G شار گرمای خاک

Landsat8 و ۶۰ تصویر ماهواره Sentinel2 در دوره رشد رشد تا برداشت گیاه نیشکر در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ میلادی مصادف با سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ شمسی (۲۸ اردیبهشت تا ۱۷ مهرماه) استفاده شد. سری زمانی تصاویر ارسالی از ماهواره هر ۱۶ روز با شفافیت ۳۰ متر است. در این دوره هیچ‌کدام از تصاویر مشکل ابری بودن را نداشتند.

ماهواره Landsat8

ماهواره Landsat8 در ۱۱ فوریه سال ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد. این هشتمین ماهواره در برنامه ماهواره‌های Landsat، و هفتمین ماهواره‌ای است که با موفقیت به مدار رسیده است و محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) است. Landsat8 با استفاده از دو حسگر OLI و دیگری حرارتی مادون قرمز TIRS تصویربرداری می‌کند. سنجنده OLI و TIRS دارای فناوری پیشرفته‌تر در اسکن عوارض زمینی هستند. اسکنرهای نقطه‌ای Landsatها جای خود را به اسکنرهای خطی در Landsat8 داده و کاهش عرض باندها و افزایش دقت رادیومتریکی در این حسگرها دقت عملیات را افزایش داده است. این دو سنسور به ترتیب، اطلاعات تصویر برای ۹ باند موج کوتاه و ۲ باند طول موج حرارتی را جمع‌آوری می‌کنند. ویژگی مهم Landsatها قابلیت مطالعه پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی در طول زمان است چرا که داده‌های تولیدی آنها از لحاظ هندسه دریافت داده، کالیبراسیون، ویژگی‌های طیفی و در نهایت محصول خروجی سازگار هستند.

ماهواره Sentinel2

Sentinel2، بخشی از برنامه Copernicus است که توسط آژانس فضایی اروپا برای جمع‌آوری اطلاعات از زمین طراحی و ایجاد شده است. Sentinel2، شامل دو ماهواره تصویربرداری به نام‌های Sentinel2A و Sentinel2B است. Sentinel2A در حال حاضر در مدار قرار گرفته و در حال تصویربرداری از زمین است و Sentinel2B قرار است در آینده پرتاب شود. سه

(W/m^2) و H شار گرمای محسوس است.

مقدار تابش خالص از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می آید که عبارتند از: تابش طول موج کوتاه ورودی ($R_s \downarrow$), بازتابش طول موج کوتاه خروجی ($R_s \uparrow$), تشعشعات طول موج بلند ورودی به اتمسفر ($R_L \downarrow$) و تشعشعات طول موج بلند گسیل شده از سطح ($R_L \uparrow$). تابش خالص با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود (۶):

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \epsilon_0) R_L \uparrow \quad (2)$$

که در آن :

α آلبدوی سطح (بدون بعد) و ϵ_0 گسیلندگی سطح به دست آمده از طریق شاخص سطح برگ (LAI) است. در الگوریتم SEBAL دو نوع گسیلندگی از سطح استفاده می شود که عبارتند از: ϵ_{NB} که برای محاسبه دمای سطح و ϵ_0 برای محاسبه تشعشعات طول موج بلند گسیل یافته از سطح استفاده می شود. مقادیر ϵ_{NB} و ϵ_0 برای شرایطی که شاخص تعدیل شده اختلاف پوشش گیاهی (NDVI) بزرگتر از صفر باشد از روابط ۳ و ۴ به دست می آید:

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 LAI \quad LAI < 3 \quad (3)$$

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 LAI \quad LAI > 3 \quad (4)$$

که در آن ϵ_0 قابلیت انتشار حرارتی سطح (بدون بعد)، ϵ_{NB} قابلیت انتشار تشعشعات طول موج بلند گسیل یافته از سطح (بدون بعد) و LAI شاخص سطح برگ (بدون بعد) است. شاخص گیاهی NDVI، وضعیت پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می کند. NDVI با استفاده از رابطه (۵) برای تصاویر Landsat استفاده می شود (۴):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (5)$$

که ρ_4 و ρ_3 بازتاب طیفی باندهای ۳ و ۴ هستند. شاخص گیاهی NDVI بین +۱ و -۱ است. زمین های شامل پوشش گیاهی مترکم دارای مقادیر مثبت ۰/۳ تا ۰/۸ هستند. برخلاف ابر، آب و برف طول موج بخش مرئی را بیشتر از طول موج مادون قرمز نزدیک انعکاس می دهند (۵). بنابراین، این پدیده ها

دارای شاخص های منفی هستند. صخره ها و مناطق خاکی بدون پوشش، در هر دو باند انعکاس مشابهی داشته و در نتیجه شاخص پوشش گیاهی آنها صفر خواهد بود. در مناطق خشک و نیمه خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می شود اثرات بازتاب خاک زمینه، اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن غلبه کند. SAVI شاخص تصحیح شده NDVI است که اثرات زمینه و رطوبت خاک را در شاخص NDVI کاهش می دهد و از رابطه ۶ به دست می آید (۴):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_4 - \rho_3)}{\rho_4 + \rho_3 + L} \quad (6)$$

که در آن L فاکتور تصحیح اثرات خاک است که دامنه آن صفر برای پوشش گیاهی مترکم تا ۱ برای پوشش گیاهی با تراکم کمتر متغیر است. مقدار L با استفاده از اطلاعات تصاویر و روابط ۷ و ۸ به دست می آید:

$$L = 1 - (2 \times a \times NDVI \times W_{DVI}) \quad (7)$$

$$W_{DVI} = \rho_4 - \gamma \rho_3 \quad (8)$$

که در آن γ ضریب خط خاک است که در واقع شیب خط برازش داده شده بر نمودار طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک (باند ۴) و قرمز (باند ۳) است (۲۰)، W_{DVI} شاخص وزنی (مادون قرمز نزدیک) اختلاف پوشش گیاهی و a برابر با شیب خاک بوده که مقدار آن برابر با ۱/۶ است.

مقدار آلبدو در بالای اتمسفر با استفاده از روابط ۱۰ تا ۱۱ به دست می آیند:

$$\alpha_{Toa} = \sum_{i=1}^n (W_{\lambda_i} \times \rho_{\lambda_i}) \quad (9)$$

$$W_{\lambda} = \frac{ESUN_{\lambda}}{\sum_{i=1}^n ESUN_{\lambda}} \quad (10)$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta \times d_r} \quad (11)$$

L_{λ} تابش طیفی ($W/m^2/sr/\mu m$), θ زاویه میل خورشیدی، d_r معکوس فاصله نسبی زمین تا خورشید، W_{λ} ضریب وزنی برای هر باند، $ESUN_{\lambda}$ پتانسیل تابش خورشید در هر باند ($W/m^2/\mu m$) و ρ_{λ} میزان انعکاس در هر باند سنجنده در سطح

(بدون بعد) است.

اندازه‌گیری شار گرمای خاک (G) به‌طور مستقیم با استفاده از سنجش از دور امکان‌پذیر نیست اما مطالعات بسیاری نشان دادند که بین مقدار (G/Rn) و پارامترهایی چون NDVI، دمای سطح (Ts) و آلبیدو رابطه‌ای وجود دارد (۵). مهم‌ترین مشکل ترین قسمت در الگوریتم SEBAL محاسبه شار گرمای محسوس (H) بر اساس انتقال گرما است که مقدار آن از رابطه (۱۲) به‌دست می‌آید:

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (12)$$

که در آن چگالی هوا (ρ ، Kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا (K) dT اختلاف دما (K) بین دو ارتفاع r_{ah} و r_{ah} مقاومت آئرودینامیکی برای انتقال گرما است.

چگالی هوا با توجه به نقشه ارتفاعی و دمای سطحی برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد. این محاسبات تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد هستند. با وجود این حل رابطه ۱۳ به‌دلیل دو عامل ناشناخته dT و r_{ah} مشکل است. در الگوریتم SEBAL برای برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شود یکی از پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای است که به‌طور کامل پوشیده از گیاهان آبیاری شده است و دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هوا است. پیکسل دوم که پیکسل گرم نامیده می‌شود زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک است که تبخیر و تعرق در آن صفر فرض می‌شود. در این تحقیق از NDVI و دمای سطحی تصحیح شده برای تعیین پیکسل سرد و گرم استفاده شد، به‌طوری که در پیکسل گرم NDVI حداقل و دمای سطحی حداکثر بوده و در پیکسل سرد NDVI حداکثر و دما حداقل بودند (۶). تبخیر و تعرق بر اساس بیلان انرژی در لحظه گذر ماهواره محاسبه می‌شود. این مقدار باید به تبخیر و تعرق روزانه تبدیل شود. برای این منظور جز تبخیری (ET_{rf}) برای هر پیکسل تصویر از رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود (۴):

$$ET_{rf} = \frac{ET_{inst}}{ET_T} \quad (13)$$

که در آن ET_{inst} تبخیر و تعرق لحظه‌ای (mm/hr) و ET_T تبخیر و تعرق گیاه مرجع است.

الگوریتم SEBS

برای محاسبه شار گرمای محسوس در SEBS از تئوری مشابهت استفاده شده است. در این تئوری از چند رابطه در یک فرایند تکراری برای برآورد شار گرما محسوس استفاده می‌شود. رابطه (۱۴)، رابطه اصلی است که در آن شار گرمای محسوس محاسبه می‌شود (۱۷):

$$\theta_0 - \theta_a = \frac{H}{Ku \times \rho C_p} \left[\ln \left(\frac{z - d_0}{z_{oh}} \right) - \Psi_h \left(\frac{z - d_0}{L} \right) + \Psi_h \left(\frac{z_{oh}}{L} \right) \right] \quad (14)$$

که در این رابطه H شار گرمای محسوس (W/m^2)، L طول (m)، Z ارتفاع مرجع بالای سطح آب (m)، C_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت (J/Kg K)، u^* سرعت برشی (m/s)، K عدد ثابت و برابر 0.4 ، θ_0 دمای پتانسیل در سطح آب (k)، θ_a دمای پتانسیل هوا در ارتفاع مرجع (m)، Ψ_h تابع اصلاح پایداری برای انتقال گرمای نهان، Z_{oh} ارتفاع زبری سطح برای انتقال گرما (m)، ρ چگالی هوا (Kg/m^3)، d_0 ارتفاع جابه‌جایی صفر هستند.

پارامترهایی که در محاسبه شار گرمای محسوس برای سطوح آب باید اصلاح شوند ارتفاع زبری برای انتقال گرما یا Z_{oh} و ارتفاع زبری برای انتقال مومنت Z_{om} هستند. پارامتری است که در SEBAL برای محاسبه مقاومت آئرودینامیکی هوا و در SEBS برای محاسبه سرعت برشی مورد استفاده قرار گرفت.

در الگوریتم SEBS مقدار Z_{om} برابر 0.0002 مورد استفاده قرار گرفت (۱۷). Z_{oh} تنها در الگوریتم SEBS استفاده و مقدار آن در این مطالعه ثابت و برابر 0.0001 در نظر گرفته شد (۱۷).

روش Priestly-Taylor

در روش پیشنهادی Priestly-Taylor (۱۲) تبخیر و تعرق گیاه

بحث و نتایج

هدف اصلی این پژوهش تخمین تبخیر-تعرق واقعی گیاه با استفاده از الگوریتم SEBAL و SEBS است. در این پژوهش میزان تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر Landsat8، Sentinel2 برآورد شود. الگوریتم‌های گفته شده با استفاده از فرمول پریسلی تیلور صحت‌سنجی شدند و در نهایت نتایج با داده‌های لایسیمیتری مقایسه شد و مورد تحلیل آماری قرار گرفت. به منظور تحلیل آماری نتایج از شاخص‌های تفاضل مطلق و تفاضل نسبی استفاده شده است. به منظور برآورد تبخیر-تعرق ابتدا همان‌طور که گفته شد، لازم بود مقادیر تابش خالص و شار گرمای خاک برای پیکسل‌های سرد و گرم به دست آید. جدول ۱ تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش پریسلی تیلور و حداکثر مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم SEBAL و SEBS برای کشت و صنعت امیرکبیر را نشان می‌دهد. مطابق جدول ۱ با توجه به تبخیر و تعرق برآورد شده با استفاده از فرمول Priestly-Taylor و الگوریتم SEBAL و SEBS، میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم SEBS به میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش تجربی پریسلی تیلور نزدیک‌تر است همچنین شاخص‌های آماری محاسبه شده میزان تبخیر-تعرق محاسبه شده با استفاده از روش پریسلی تیلور با تبخیر-تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم SEBS بیانگر این هستند که بین این دو روش اختلاف قابل توجهی وجود ندارد البته شاخص‌های آماری برآورد شده برای الگوریتم SEBAL نیز در محدوده قابل قبول قرار دارند. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 و Sentinel2 می‌توان میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر را با مقدار خطای کمی محاسبه کرد.

جدول ۲ تبخیر و تعرق واقعی روزانه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از روش لایسیمیتری و مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم SEBAL و SEBS را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه لایسیمیتری مقدار واقعی تبخیر و تعرق را می‌دهد، با مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم

مرجع با استفاده از ضریب α به تبخیر و تعرق تعادلی ارتباط داده می‌شود. هنگامی که هوا در تماس با یک سطح مرطوب گسترده باشد، در صورت عدم وجود جریان افقی، ممکن است به حالت اشباع رسیده باشد و قدرت تبخیری هوا از بین برود. در این حالت معادله پنمن حد پایینی برای مقدار تبخیر و تعرق از سطح مرطوب را به دست می‌دهد که تبخیر و تعرق تعادلی نامیده می‌شود و به صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:

$$E_e = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \frac{R_n}{\lambda} \quad (15)$$

E_e تبخیر و تعرق تعادلی (میلی‌متر در روز)، R_n تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)، λ گرمای ویژه آب (مگاژول بر کیلوگرم)، γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس). پریسلی-تیلور مفهوم تبخیر و تعرق تعادلی را به‌عنوان پایه‌ای برای ایجاد معادله‌ای تجربی که تبخیر از یک سطح مرطوب تحت شرایط حداقل ادوکسیون را به دست می‌دهد، استفاده کردند. در این روش تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از ضریب α به‌طور مستقیم از تبخیر تعادلی به دست می‌آید (رابطه ۱۶):

$$ET_0 = \alpha E_e \quad (16)$$

ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر در روز)، E_e تبخیر و تعرق تعادلی، α ضریب تجربی است که پریسلی و تیلور مقادیر آن را بین ۱/۰۸ و ۱/۳۴ با مقدار متوسط ۱/۲۶ به دست آوردند. در این تحقیق مقدار متوسط ۱/۲۶ برای α استفاده شده است.

در الگوریتم‌های استفاده شده در این تحقیق مقدار تابش خالص خورشید پارامتر اصلی تعیین‌کننده تبخیر و تعرق گیاه است. معادله Priestly-Taylor نیز مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه را با استفاده از تابش خالص خورشیدی تخمین می‌زند. بنابراین معادله Priestly-Taylor می‌تواند مقیاس مناسبی برای صحت‌سنجی الگوریتم‌های تبخیر و تعرقی‌سنجش از دوری باشد.

جدول ۱. تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از روش پرسیلی تیلور و حداکثر مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم SEBAL برای کشت و صنعت امیرکبیر

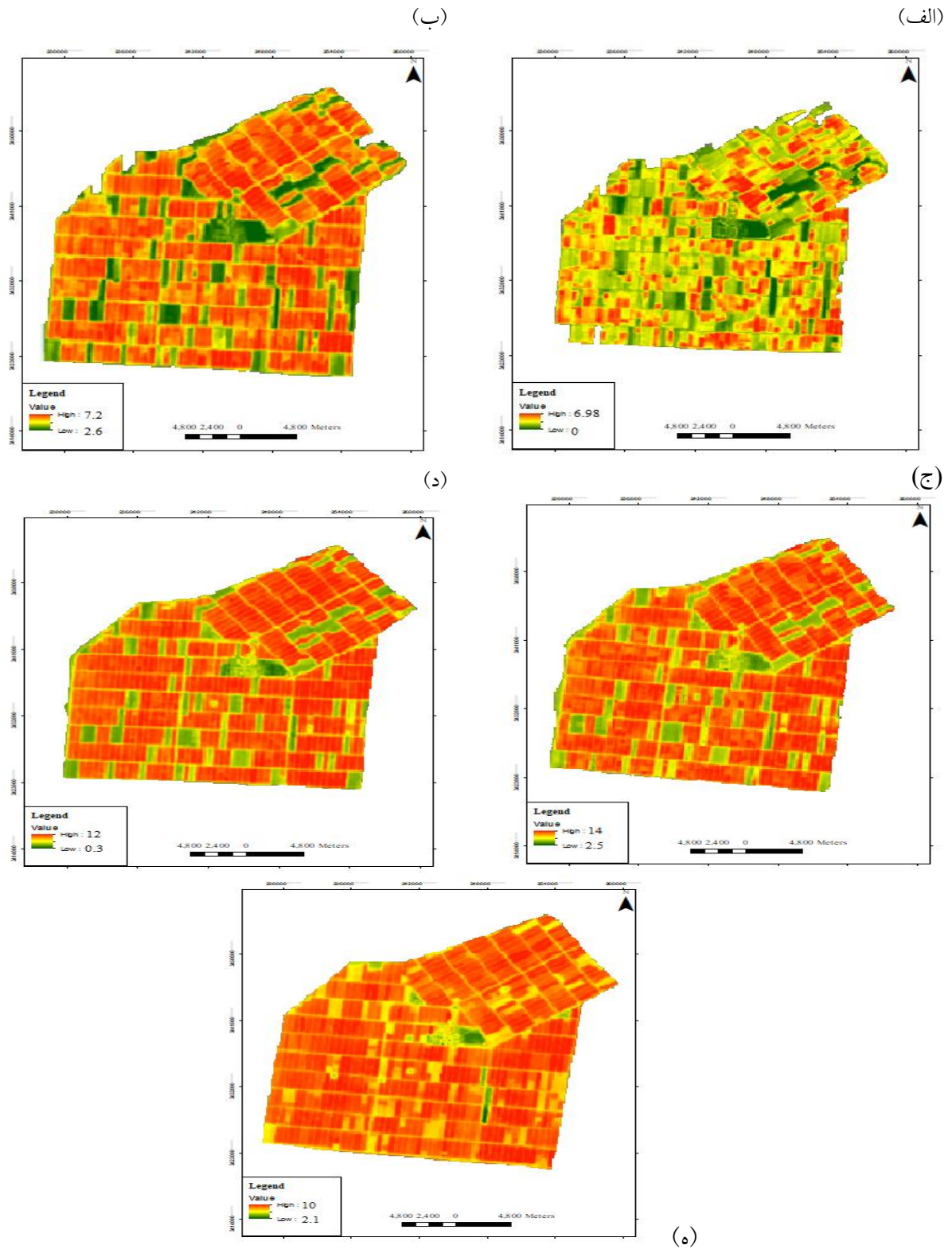
SEBS Algorithm		SEBAL Algorithm					تاریخ
تفاضل نسبی	تفاضل مطلق	تفاضل نسبی	تفاضل مطلق	SEBS Algorithm	SEBAL Algorithm	Priestley-Taylor	date
RMSE (%)	MAE (mm/day)	RMSE (%)	MAE (mm/day)				
۳/۳	۱۹/۲	۵/۱	۰/۲	۶۵/۳	۷۸/۷	۵۱/۴	۲۰۱۷/۵/۲۶
۵/۴۷	۰/۱۵	۶/۵۳	۰/۱۸	۸۸/۵۰	۹۵/۳۰	۸۳/۳۰	۲۰۱۷/۷/۲۶
۲/۳۳	۰/۲۲	۳/۱۲	۰/۲۷	۶۲/۸۰	۸۳/۲۰	۶۵/۲۰	۲۰۱۷/۷/۲۹
۴/۳۵	۰/۰۹	۲/۸۰	۰/۱۲	۵۷/۶۰	۶۶/۲۰	۵۳/۲۰	۲۰۱۷/۸/۳۰
۸/۷۴	۰/۱۴	۹/۸۷	۰/۱۶	۶۰/۸۰	۶۵/۳۰	۵۶/۳۰	۲۰۱۷/۹/۲۲
۹/۶۵	۰/۰۸	۱۱/۱۰	۰/۱۱	۹۱/۶۰	۹۸/۳۰	۹۳/۳۰	۲۰۱۷/۹/۱۰

جدول ۲. تبخیر و تعرق واقعی روزانه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از روش لایسیمتر و مقادیر تخمین زده شده به وسیله الگوریتم SEBAL و الگوریتم SEBS

SEBS Algorithm		SEBAL Algorithm					تاریخ
تفاضل نسبی	تفاضل مطلق	تفاضل نسبی	تفاضل مطلق	SEBS Algorithm	SEBAL Algorithm	Lysimeter	date
RMSE (%)	MAE (mm/day)	RMSE (%)	MAE (mm/day)				
۱۱/۲۱	۰/۱۲	۱۳/۳۴	۰/۱۸	۶۵/۹۰	۷۸/۴۰	۵۶/۴۰	۲۰۱۷/۵/۲۶
۴/۳۶	۰/۰۸	۵/۸۷	۰/۱۲	۹۱/۳۰	۹۵/۳۰	۸۹/۳۰	۲۰۱۷/۷/۲۶
۷/۵۵	۰/۲۱	۹/۹۸	۰/۲۴	۸۴/۷۰	۸۳/۲۰	۷۶/۲۰	۲۰۱۷/۷/۲۹
۱۳/۲۲	۰/۱۲	۱۵/۴۵	۰/۱۶	۶۴/۱۰	۶۶/۲۰	۶۳/۲۰	۲۰۱۷/۸/۳۰
۴/۳۱	۰/۰۸	۶/۸۵	۰/۱۰	۶۵/۴۰	۶۵/۳۰	۶۳/۳۰	۲۰۱۷/۹/۲۲
۱/۲۴	۰/۲۵	۲/۹۶	۰/۳۱	۹۸/۵	۹۸/۳۰	۹۸/۳۰	۲۰۱۷/۹/۱۰

الف تبخیر- تعرق واقعی حاصل از تصاویر Landsat8، Sentinel2 و الگوریتم SEBAL نشان می دهد که حداقل و حداکثر مقدار تبخیر- تعرق در ۰ و ۶/۹۸ میلی متر در روز در ماه اردیبهشت است. همچنین شکل ۲- ب تبخیر- تعرق واقعی حاصل از تصاویر Landsat8، Sentinel2 و الگوریتم SEBAL نشان می دهد که حداقل و حداکثر مقدار تبخیر- تعرق در ۲/۶- و ۷/۲ میلی متر در روز در ماه خرداد است. بر اساس نتایج به دست آمده شکل ۲- ج میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر برای ماه تیر را نشان می دهد که میزان حداکثر و حداقل تبخیر و تعرق برابر ۷/۲ و ۲/۶- میلی متر در روز است. شکل ۲- د نیز میزان

SEBAL و SEBS و مقادیر ارائه شده توسط لایسیمتر، میزان شاخص های برآورد خطا مقادیر کمتری را نشان می دهند. الگوریتم SEBAL در برآورد میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر نسبت به الگوریتم SEBS خطای بالاتری دارد. شکل های ۲- الف تا ۲- ه مقادیر تبخیر و تعرق محصول نیشکر با استفاده از الگوریتم SEBAL با استفاده از تصاویر Landsat8 و Sentinel2 را نشان می دهند. پس از بررسی پارامترها و شاخص های مهم قابل استخراج از تصاویر ماهواره های تبخیر- تعرق واقعی روزانه برحسب میلی متر بر روز با استفاده از الگوریتم SEBAL و تصاویر Landsat8 و Sentinel2 شکل ۲-



شکل ۲. تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم SEBAL برای ماه: الف) اردیبهشت، ب) خرداد، ج) تیر، د) مرداد و ه) شهریور

برآورد نیاز آبی چالش برانگیز هستند اما با توجه به شاخص‌های محاسبه شده تفاوت چندانی با داده‌های لایسیمیتری نشان نمی‌دهد و در مقایسه با روش تلفیق تصاویر که به منظور پوشش ضعف زمانی تصویر Landsat 8 با تصویر Sentinel2 دارای دقت مناسبی است.

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب مقایسه مقدار تبخیر تعرق با روش پریسلی تیلور و تبخیر تعرق با مدل SEBAL و مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیر تعرق با مدل SEBAL را نشان می‌دهند. با توجه به شکل و میزان ضریب همبستگی الگوریتم SEBAL توانایی بالاتری در تخمین تبخیر تعرق با استفاده از معادله تجربی Pristley- Taylor دارد. شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب مقایسه مقدار تبخیر تعرق با روش پریسلی تیلور و تبخیر تعرق با مدل SEBS و مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیر تعرق با مدل SEBS را نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۱۴ و ۱۵ میزان همبستگی در تخمین تبخیر و تعرق الگوریتم SEBS با داده‌های لایسیمتری بیشتر است. بنابراین الگوریتم SEBS در محاسبه میزان تبخیر و تعرق واقعی به داده‌های زمینی نزدیک‌تر است و تبخیر و تعرق را با دقت بالاتری نسبت به الگوریتم SEBAL برآورد می‌کند اما الگوریتم SEBAL در تخمین تبخیر و تعرق با روش Pristley- Taylor نسبت به داده‌های لایسیمتر عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد.

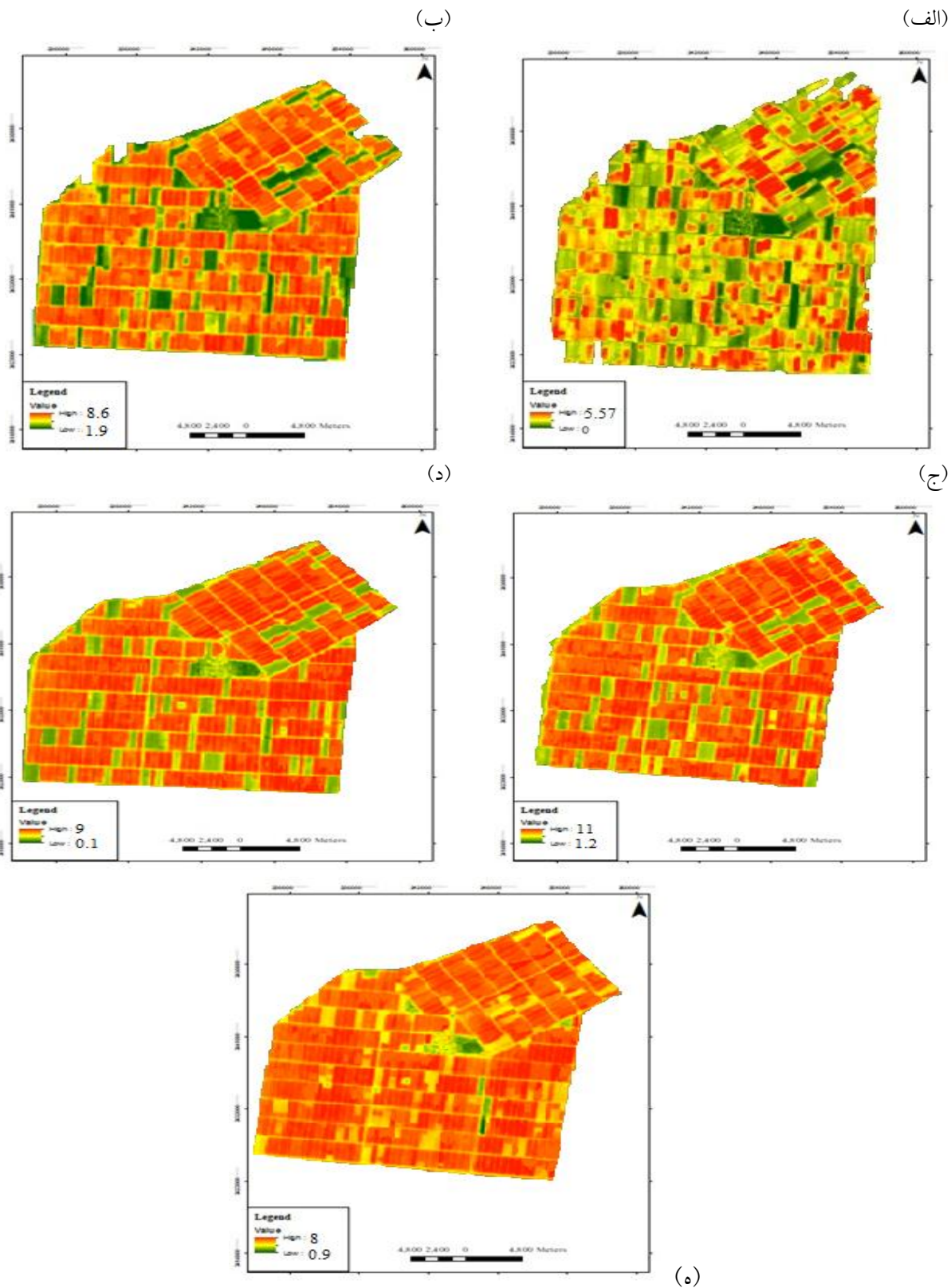
با توجه به شکل محاسبه تبخیر و تعرق با روش SEBAL همبستگی بالاتری با روش محاسبه شده به روش لایسیمتر نسبت به روش پریسلی تیلور دارد. در روش پریسلی تیلور وجود برخی فرضیات و متغیرها باعث ایجاد خطا و بروز همبستگی کمتر نسبت به روش لایسیمتر می‌شود.

در تحقیق مشابهی، فرهادی بانسوله و همکاران (۹) تبخیر و تعرق دشت ماهیدشت کرمانشاه را با استفاده از الگوریتم SEBS محاسبه کردند که در مطالعه تبخیر و تعرق در سطح منطقه با استفاده از الگوریتم SEBS برای چهار تصویر ماهواره landsat در فصل رشد ذرت برآورد شد. نتایج پژوهش آنها با مقدار

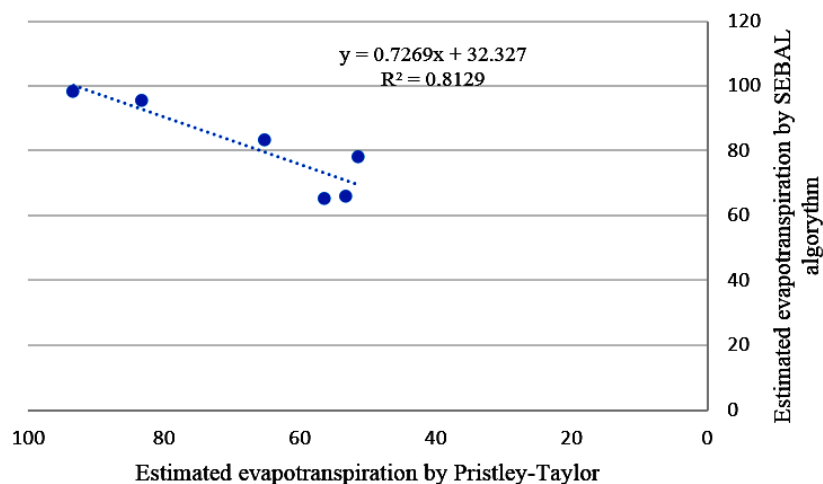
تبخیر تعرق واقعی محاسبه شده توسط الگوریتم SEBAL برای ماه مرداد را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل میزان تبخیر و تعرق در این ماه به ترتیب ۱۲ و ۰/۳ میلی متر در روز بوده است. شکل ۲- ه میزان تبخیر و تعرق واقعی ماه مهر را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل تبخیر و تعرق به ترتیب برابر ۱۰ و ۲/۱- است.

شکل‌های ۳- الف تا ۳- ه مقادیر تبخیر و تعرق محصول نیشکر با استفاده از الگوریتم SEBS با استفاده از تصاویر Landsat 8 و Sentinel2 را نشان می‌دهند. با توجه به تصاویر حداقل و حداکثر مقدار تبخیر- تعرق صفر تا ۵/۵۷ میلی متر در روز در ماه اردیبهشت است (شکل ۳- الف). شکل ۳- ب نیز تبخیر- تعرق واقعی حاصل از تصاویر Landsat 8 ، Sentinel2 و الگوریتم SEBS را نشان می‌دهد که حداقل و حداکثر مقدار تبخیر- تعرق ۱/۹ تا ۸/۶ میلی متر در روز در ماه خرداد است. بر اساس نتایج به دست آمده شکل ۳- ج میزان تبخیر و تعرق گیاه نیشکر برای ماه تیر را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل تبخیر و تعرق برابر ۱/۲ تا ۱۱ میلی متر در روز است. شکل ۳- د نیز میزان تبخیر تعرق واقعی محاسبه شده توسط الگوریتم SEBS برای ماه مرداد را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل میزان تبخیر و تعرق در این ماه به ترتیب ۰/۱ تا ۹ میلی متر در روز بوده است. شکل ۳- ه میزان تبخیر و تعرق واقعی ماه مهر را نشان می‌دهد که میزان حداکثر و حداقل تبخیر و تعرق به ترتیب برابر ۰/۹ تا ۸ است. دلیل این اختلاف‌ها وجود شرایط متفاوت در سطح مزرعه است، به طوری که بعضی مزارع در حال آبیاری هستند و برخی مزارع چندین روز از آبیاری آنها می‌گذرد و تبخیر تعرق در شرایط مختلف رطوبتی دارای مقادیر متفاوتی است.

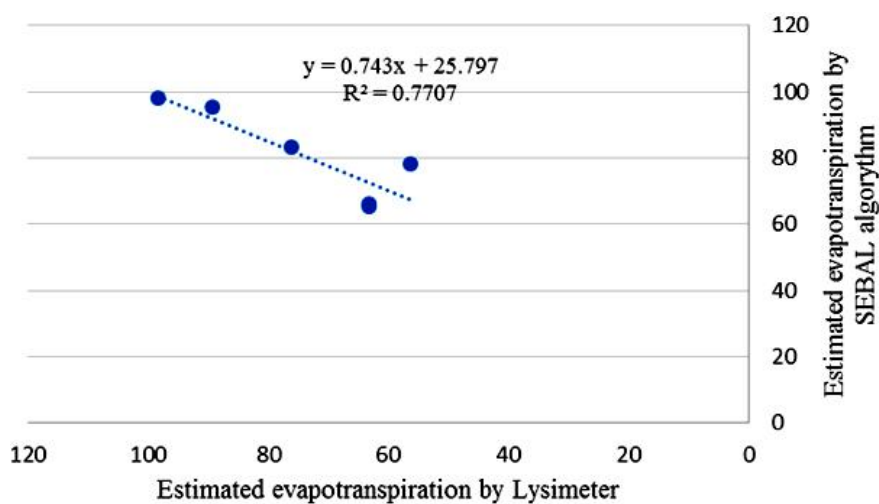
نتایج نشان دادند با وجود اینکه ماهواره Sentinel 2 دارای باندهای حرارتی نیست اما با تلفیق تصاویر این ماهواره با ماهواره Landsat می‌توان میزان تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم SEBAL محاسبه کرد. همچنین تصاویر ماهواره Landsat به لحاظ زمانی برای



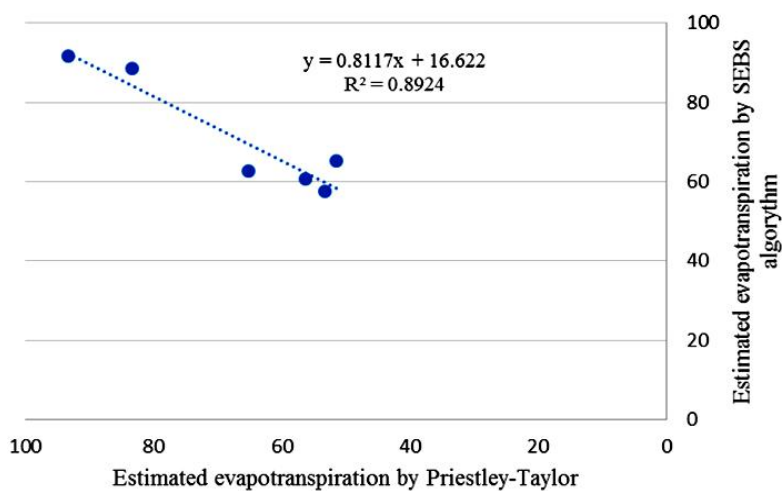
شکل ۳. تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از الگوریتم SEBAL برای ماه: الف) اردیبهشت، ب) خرداد، ج) تیر، د) مرداد و ه) شهریور



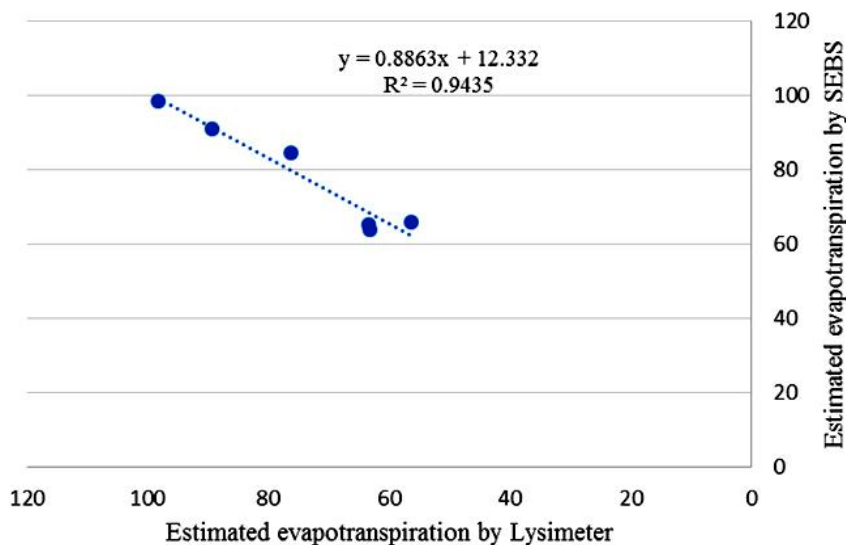
شکل ۴. مقایسه مقدار تبخیر تعرق با روش Priestley- Taylor و تبخیر تعرق با مدل SEBAL



شکل ۵. مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیر تعرق با مدل SEBAL



شکل ۶. مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش Priestley- Taylor و تبخیر تعرق با مدل SEBS



شکل ۷. مقایسه تبخیر تعرق واقعی با روش لایسیمتر و تبخیر تعرق با مدل SEBS

تعریف شده اند و قابل قبول هستند. محاسبات نشان داد که نتایج حاصل با محدوده های قابل قبولی که در منابع و آمارهای موجود اعلام شده، مطابقت داشته است و این الگوریتم را مورد تأیید قرار می دهند.

همچنین در مقایسه با روش Priestly- Taylor، مشاهده شد که SEBAL با نتایج قابل قبولی، تبخیر- تعرق واقعی را محاسبه کرده و این نیز دلیلی بر مناسب بودن این روش در محاسبه تبخیر- تعرق است. به دلیل خطاهای موجود در جمع آوری داده های آب و هوایی از جمله سرعت باد، دمای هوا، تشعشع خورشیدی، طول روز، رطوبت هوا و همچنین عدم کالیبره کردن ضرایبی مانند ضریب تشک تبخیر، ضریب گیاهی برای برآورد تبخیر- تعرق به روش های معمول خطای بسیاری دارد. در این راستا می توان روش های نوینی همانند استفاده تصاویر ماهواره ای، را مدنظر داشت و تبخیر- تعرق گیاه را برای دشت های مختلف در مقیاس وسیع و همچنین مقیاس نقطه ای محاسبه کرد. واضح است که با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی مناسب با وسعت و همگنی مزارع منطقه و در فواصل زمانی مناسب، می توان اقدام به ترسیم نقشه های تبخیر- تعرق واقعی گیاه برای هر منطقه، در طول فصل رشد کرد.

تبخیر تعرق برآورد شده از لایسیمتر زهکش دار مقایسه شد و در هر چهار تصویر ماهواره ای حداکثر تبخیر و تعرق برآورد شده با الگوریتم SEBS در سطح منطقه بین ۱/۰۲ تا ۱/۲۲ تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع برآورد شد و در نهایت در مقایسه با تبخیر و تعرق برآورد شده با معادله پنمن مانیتث نتایج منطقی و قابل قبولی به دست آوردند.

سیمایی و همکاران (۱۶) در تحقیق خود کارایی مدل SEBAL را در برآورد میزان تبخیر و تعرق حوضه آبخیز زنجان رود بررسی کردند و در تحقیق خود از ماهواره های MODIS و LANDSAT-5 برای کشت گندم آبی و دیم استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که دقت تصاویر سنجنده TM دو و نیم برابر بیشتر از تصاویر MODIS است و به این نتیجه رسیدند تصاویر سنجنده TM دقت بیشتری برای تخمین تبخیر تعرق نسبت به سنجنده MODIS دارند.

نتیجه گیری

الگوریتم SEBAL معادله کامل بیلان انرژی را به منظور محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه، حل می کند و پارامترهای محاسبه شده در آن از قبیل: دمای سطحی، NDVI در محدوده خاصی

دقت بالایی که در انتخاب این پیکسل‌ها مورد نیاز است و عدم نیاز به این انتخاب در الگوریتم SEBS پیشنهاد می‌شود برای برآورد تبخیر از الگوریتم SEBS استفاده شود.

در نهایت هر دو الگوریتم SEBS و SEBAL نتایج به نسبت قابل قبولی در مقیاس ماهانه در برآورد تبخیر نشان می‌دهند اما در مقایسه دو الگوریتم با یکدیگر الگوریتم SEBS نتایج قابل قبول‌تری ارائه می‌دهد. با توجه به انتخاب پیکسل‌های گرم و سرد در الگوریتم SEBAL که تأثیر بسیار زیادی در نتایج دارد و

منابع مورد استفاده

1. Alizade, A. and G. Kamali. 2007. Water Requirement of Plants in Iran. Emam Reza university publications. Mashhad.
2. Allen, R. G., M. Tasumi and R. Trezza. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133(4): 380-394.
3. Bagheriharooni, M. H., S. Arshad, A. Majnooni and S. Morid. 2013. Comparing one source and two source remote sensing models for real evapotranspiration in Iran. *Journal of Remote Sensing and GIS in Iran* 1(4): 81-96.
4. Bastiaanssen, W. G. M., M. D. Ahmad and Y. Chemin. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resource Research* 38(12): 1-9.
5. Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. *Journal of Hydrology* 229(1): 87-100.
6. Bastiaanssen, W., M. Menenti, R. Feddes and A. Holtslag. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 213: 198-212.
7. Chihda, Wu., C. Cheng, H. Lo and Y. Chen. 2010. Study on estimating the evapotranspiration cover coefficient for stream flow simulation through remote sensing techniques. *Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 12(4): 225-232.
8. Ezatabadipur, H. 2016. Introducing Sentinel2 Satellite. Third International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning.
9. Farhadi Bansouleh, B., A. R. Karimi and H. Hesadi. 2016. Estimation of Actual Evapotranspiration in Mahidasht using SEBS Algorithm and LANDSAT Images. *Journal of Water and Soil* 30(3): 706-716.
10. Hailegiorgis W. S. 2006. Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, Faculty Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), MSc thesis.
11. Li, H., Z. Li, L. Yuping, L. Chunqiang, L. Zhijun and Z. Shengwei. 2008. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in north china plain using remote sensing technology. *Agricultural Water Management* 95(11): 1271-1278.
12. Priestley, C. H. B. and R. J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review* 100: 81-92.
13. Purmohammadi, S. and M. H. Rahimiyan. 2010. Suppling water requirement for natural and agricultural ecosystem balance by using Sebal algorithm (Azadegan plain). 6th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering and 4th National Congress of Fertilizers and Sediments. Department of Watershed Management, Faculty of Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.
14. Sanchez, J., W. Kustas, V. Caselles and M. Anderson. 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. *Remote Sensing of Environment* 112(3): 1130-1143.
15. Shan, X. 2007. Regional evaptranspiration over arid inland Heihe river basin in Northwest China. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands, Msc thesis.
16. Simaie, E., M. Homae and A. A. Norouzi. 2013. Evaluating SEBAL model to estimate evapotranspiration using MODIS and TM sensors data. *Water and Soil Resources Conservation Journal* 4(2): 29-40.
17. Su, Z., T. Schmugge, W. P. Kustas and W. J. Massman. 2010. An evaluation of two models for estimation of the roughness height for heat transfer between the land surface and the atmosphere. *Journal of Applied Meteorology* 40(11): 1933-1951.
18. Su, Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(1): 85-100

19. Teixeira, A. H. C., W. G. M. Bastiaanssen, M. D. Ahmad and M. G. Bos. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil: Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(3): 462-476.
20. Yang, W., N. V. Shabanov, D. Huang, W. Wang, R. E. Dickinson, R. R. Nemani, Y. Knvazikin and R. B. Myneni. 2006. Analysis of Leaf Area Index products from combination of MODIS Terra and Aqua data. *Remote Sensing of Environment* 104: 297-312.

Estimation of Sugar Cane Evapotranspiration using SEBAL and SEBS Algorithms and Priestly-Taylor Method (Case Study of Amir Kabir Cultivation and Industry)

J. Jalali¹, F. Radmanesh^{1*}, A. A. Naseri², M. A. Akhond Ali¹ and H. A. Zarei¹

(Received: September 8-2019; Accepted: December 23-2019)

Abstract

Agricultural water management studies require accurate information on actual evapotranspiration. This information must have sufficient spatial detail to allow analysis on the farm or basin level. The methods used to estimate evapotranspiration are grouped into two main groups, which include direct methods and indirect or computational methods. Basics of the indirect methods are based on the relationship between meteorological parameters, which impedes the use of these data with a lack or impairment. On the other hand, this information is a point specific to meteorological stations, and their regional estimates are another problem of uncertainty of their own. To this end, the use of remote sensing technology can be a suitable approach to address these constraints. Real evapotranspiration can be estimated by satellite imagery that has short and long wavelengths and is estimated using surface energy equations. Examples of such algorithms include SEBAL, METRIC, SEBS. Among the above mentioned algorithms, SEBAL and SEBS have been used. Among the factors of superiority of the SEBAL and SEBS algorithms, in comparison with other remote sensing algorithms, is a satellite imagery analysis algorithm based on physical principles and uses satellite simulation and requires minimum meteorological information from ground measurements or air models.

Keywords: Evapotranspiration, Remote sensing, Sebal; Presly Taylor, Sentinel.

1- Water Resource Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: feridon.radmanesh@yahoo.com