

ارزیابی الگوریتم سبال جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه وردیج

محمد صانع^{۱*}، مهدی کوچک زاده^۲، فرود شریفی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۲

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی الگوریتم سنجنش از دور سبال با احتساب اثرات توپوگرافی در تعیین تبخیر-تعرق واقعی در منطقه وردیج واقع در استان تهران انجام شد. برای این منظور از تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۱۰ ژوئن، ۱۲ جولای، ۱۳ آگوست و ۱۴ سپتامبر ۲۰۱۸ و ۱۵ جولای ۲۰۱۹ استفاده شد. مقدار تبخیر-تعرق مرجع (گیاه یونجه) با استفاده از تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال برای سه نقطه که در آن‌ها کشت یونجه صورت گرفته بود محاسبه شد. با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی منطقه، تبخیر-تعرق مرجع با روش‌های تجربی فائو-پنمن-مانتیت، پنمن رایت، هارگریوز سامانی و بلانی کریدل تخمین زده شد. مقادیر حاصل از الگوریتم سبال با روش‌های مذکور مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که در منطقه مورد مطالعه روش هارگریوز سامانی ($MAE=0/47$ و $RMSE=0/62$) جواب نزدیکتری به نتایج روش سنجنش از دور دارد و در رتبه بعدی روش فائو پنمن مانیت ($MAE=1$ و $RMSE=1/26$) قرار می‌گیرد. در ادامه تبخیر-تعرق بدست آمده از الگوریتم سبال با مقدار متناظر بدست آمده از لایسیمتر پورتابل وزنی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بدست آمده مطابقت خوبی را نشان داد، به طوری که مقدار تفاضل مطلق $(mm/day) 0/81$ بدست آمد، که می‌توان نتیجه گرفت روش سنجنش از دور جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه مورد مطالعه مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سبال، تبخیر و تعرق، تصاویر ماهواره‌ای، سنجنش از دور، لایسیمتر پورتابل وزنی

مقدمه

دریا آب تبخیر می‌شود (WMO^۵, 2016). همچنین ۱۴ درصد تبخیر-تعرق دنیا از سطح زمین و گیاهان و بقیه آن در سطح دریاها و اقیانوس‌ها اتفاق می‌افتد (WMO, 2016). در پهنه ایران که مقدار بارندگی سالانه در مجموع حدود ۴۱۳ میلیارد متر مکعب برآورد شده است، بر اساس یک تحلیل میزان ۲۹۶ میلیارد متر مکعب یا ۷۲ درصد آن با تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌گردد (وزارت نیرو، ۱۳۹۵). بنابراین برای برآورد میزان آب قابل بهره‌برداری از یک حوضه و همچنین آب لازم در آبیاری زمین‌های کشاورزی، باید دو مقدار تبخیر و تعرق در نظر گرفته شوند. در سال‌های اخیر افزایش جمعیت و کمبود منابع آب، بخش کشاورزی را که عمده‌ترین مصرف‌کننده آب است، با چالش‌های عمده‌ای در جهت تأمین نیاز غذایی مردم روبرو ساخته است. در این میان کمبود آب، آن را به کالای اقتصادی با ارزشی تبدیل نموده است و لذا برنامه‌ریزی دقیق برای مصرف بهینه آن ضروری می‌باشد. فرآیند تبخیر-تعرق در مقیاس زمان و مکان و مطابق با شرایط محیطی پیرامون متغیر می‌باشد. اغلب روش‌هایی که تاکنون برای برآورد تبخیر-تعرق ارائه شده است از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای برای تخمین تبخیر-تعرق استفاده می‌کنند، بنابراین فقط در مقیاس محلی مناسب بوده و به خاطر تغییرات منطقه‌ای تبخیر-تعرق قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشند. پیشرفت روزافزون

کشور ما ایران از جمله کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. به طوری که متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها و کمتر از یک سوم متوسط بارندگی کره زمین و از سوی دیگر میزان تبخیر از سطح آن حدود سه برابر تبخیر خشکی‌های زمین می‌باشد (گزارش ایران به^۴ UFCC, 2017) در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد آبی که روی خشکی‌ها بصورت نزولات جوی فرو می‌ریزد مستقیماً تبخیر می‌شود. مقدار تبخیر از روی دریاها ۱۱۰ درصد مقدار نزولات جوی روی آنهاست. یعنی بیش از مقدار آبی که روی آن‌ها بصورت بارندگی ریزش می‌کند از سطح

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استاد گروه مدیریت منابع آب پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

*- نویسنده مسئول: (Email: m.sane@modares.ac.ir)

4- United Nations Framework Convention on Climate Change

5- World Meteorological Organization

$(R^2 = 0/۸۹)$ برخوردار است.

کرباسی و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تخمین تبخیر-تعرق واقعی منطقه‌ای برای مزارع یونجه و ذرت شهرستان خرمدره با استفاده از داده‌های سنجش از دور و داده‌های هواشناسی پرداختند. الگوریتم بیان انرژی سطح برای زمین (سبال) به کمک تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 برای تعیین نیاز آبی گیاهان ذرت و یونجه در دوره رشد این دو گیاه استفاده شد. نتایج به دست آمده با نتایج مدل PM-FAO 56 صحت‌سنجی و مقایسه شد. نتایج تحقیق نشان داد دو مدل مطابقت نسبتاً خوبی با هم دارند. مقدار میانگین جذر مربعات خطا (RMSE) در برآورد تبخیر-تعرق واقعی برای گیاهان ذرت و یونجه به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۲۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد. مقدار ضریب تبیین (R^2) نیز به ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۸۳ به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد مدل الگوریتم بیان انرژی سطح برای زمین (سبال) در مقایسه با مدل PM-FAO 56 مقدار تبخیر-تعرق را برای گیاه یونجه بیشتر و برای گیاه ذرت کمتر برآورد می‌کند.

سادات گوشه‌گیر و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (دارای تفکیک مکانی مناسب) و مودیس (با تفکیک زمانی مناسب) میزان تبخیر-تعرق واقعی نیشکر در شرکت کشت و صنعت امیر کبیر را تعیین و با مقادیر حاصل از لایسیمتر مقایسه کردند. بدین منظور ابتدا تصاویر لندست ۸ و مودیس به روش گرام اشمیت در بازه زمانی ۱۶ روزه ادغام و میزان تبخیر-تعرق واقعی نیشکر با استفاده از الگوریتم سبال برآورد گردید. همچنین میزان تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر لندست ۸ و الگوریتم سبال نیز به دست آمد و در نهایت نتایج دو روش با روش لایسیمتری و با یکدیگر مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. مقایسه نتایج نشان داد که میانگین تفاضل مطلق بین تبخیر-تعرق واقعی روش تلفیق تصاویر و لایسیمتر ۰/۵۵ میلی‌متر در روز، این شاخص بین تبخیر-تعرق واقعی تصاویر ماهواره‌ای لندست به صورت مجزا و لایسیمتر ۰/۰۶۳ میلی‌متر بر روز و مقدار میانگین تفاضل مطلق دو روش سنجش از دور ۰/۵۸ به دست آمد. همچنین در سطح پنج درصد تفاوت معناداری بین دو روش سنجش از دور ملاحظه نگردید.

با توجه به مطالب بیان شده، تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده که همه نشان دهنده کارایی روش سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای و حوضه‌های بزرگ می‌باشد، اما بیشتر تحقیقات صورت گرفته در رابطه با الگوریتم سبال با تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی پایین بوده است که در دقت کار آنان تأثیر داشته است. همچنین الگوریتم سبال با احتساب اثرات توپوگرافی کمتر مورد توجه بوده است. بنابراین تحقیقی که براساس اندازه‌گیری واقعی تبخیر-تعرق با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با داده‌های ماهواره‌ای در منطقه کوهستانی وردیج پرداخته باشد، انجام نگرفته است.

تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن در سطوح وسیع را فراهم نموده است. از این رو برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور به عنوان یک روش امیدوار کننده برای غلبه بر تغییرات مکانی تبخیر-تعرق واقعی می‌باشد. از جمله الگوریتم‌های موجود در سنجش از دور که مربوط به برآورد تبخیر-تعرق می‌باشند، می‌توان به الگوریتم سبال اشاره نمود. سبال یک الگوریتم سنجش از دور است که تعادل انرژی سطحی لحظه‌ای را برای هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای انجام می‌دهد (Bastiaanssen et al., 1998). از عوامل ارجحیت الگوریتم سبال نسبت به دیگر الگوریتم‌های سنجش از دور این است که سبال شامل الگوریتم آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی است و از شبیه سازی ماهواره‌ای استفاده می‌کند و نیاز به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری‌های زمینی یا مدل‌های هوایی دارد (Bastiaanssen et al., 2002).

در این راستا باستیانس و همکاران میزان تبخیر-تعرق محاسباتی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و الگوریتم سبال، در کشورهای چین، هند، اسپانیا و پاکستان را با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در ۸۵ درصد موارد داده‌های حاصل از الگوریتم سبال با داده‌های مزرعه‌ای بدون هیچگونه واسنجی مطابقت داشته است (Bastiaanssen et al., 1998).

پاپادوید و همکاران (۲۰۱۳) تکنیک‌های سنجش از دور را برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی گیاه بادام زمینی واقع در روستای ماندریا در جزیره قبرس بکار بستند. روش سبال برای اولین بار در این منطقه بکار بسته شد و از تصاویر ماهواره‌های LANDSAT TM 5 و LANDSAT 7 ETM+ استفاده گردید. به منظور افزایش دقت، روش SEBAL با استفاده از معادلات تجربی تصحیح گردید (Papadavid et al., 2013).

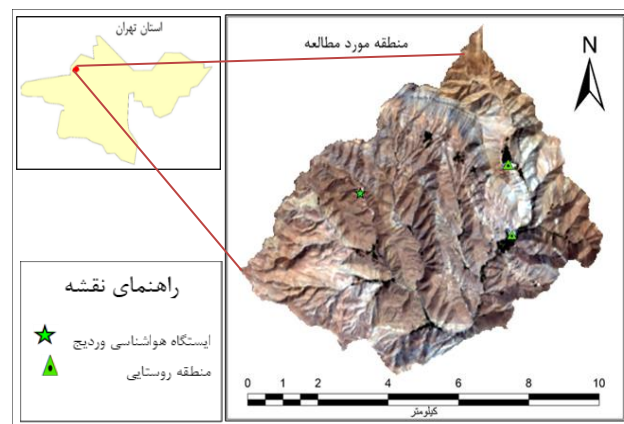
راوات و همکاران (۲۰۱۷) به تخمین تبخیر-تعرق واقعی محصول گندم با استفاده از الگوریتم سبال و روش استاندارد شده پنمن-مانتیت و مقایسه با نتایج لایسیمتر در منطقه بیوانی در هاریانا پرداختند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که الگوریتم سبال پتانسیل خوبی برای برآورد تبخیر-تعرق منطقه مورد مطالعه دارد. همچنین، نتایج این آنالیز نشان داد مقدار بارش کافی و در دسترس بودن آب به تولید بیشتر گندم و در نتیجه افزایش تبخیر-تعرق منجر می‌شود (Rawat et al., 2017).

محسنی ساروی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور بررسی کارایی روش اصلاح شده سبال در محاسبه تبخیر-تعرق مناطق کوهستانی با استفاده از ماهواره مودیس، تبخیر-تعرق در حوزه آبریز طالقان در ۲۲ روز در سال ۲۰۰۶ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مدل سبال با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر نشان داد که مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده از همبستگی بالا

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

این تحقیق در حوضه آبخیز وردیج واقع در استان تهران صورت گرفته است. این حوضه از نظر تقسیم بندی حوضه‌های آبخیز ایران، زیرحوضه‌ای از حوضه آبخیز مرکزی می‌باشد که در مجاورت



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در سطح استان تهران

جغرافیایی ۵۱ درجه و ۷ دقیقه و ۴۳ ثانیه کار گذاشته شد. طی عملیات پر کردن لایسیمتر سعی شد نمایه طبیعی خاک منطقه تا حد امکان بدون تغییر باقی بماند. پس از پر کردن لایسیمتر، خاک داخل آن را به حالت اشباع رسانده شد تا به مرحله عدم نشست برسد. گیاه مورد نظر (یونجه رقم معمولی همدانی) در تاریخ ۱۳۹۸/۰۱/۲۰ کاشته شد. اولین و دومین آبیاری به نحوی انجام گرفت تا بذور یونجه به راحتی جوانه زده و سبز شوند و آبیاری‌های بعدی زمانی انجام شدند که رطوبت خاک داخل لایسیمتر در حد رطوبت سهل الوصول باشد. میزان عمق آب آبیاری در هر نوبت آبیاری براساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی محاسبه و اعمال گردید و داده برداری بعد از جوانه زدن از تاریخ ۱۳۹۸/۰۲/۰۵ شروع و تا پایان یافتن مراحل رشد یعنی تا تاریخ ۱۳۹۸/۰۴/۲۶ ادامه پیدا کرد.

قبل از داده برداری از لایسیمتر ابتدا خصوصیات فیزیکی خاک تعیین شد. از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه برداری شد و خصوصیات فیزیکی خاک منطقه در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری مشخص شد (جدول ۱). بافت خاک شنی لومی بوده و میزان رطوبت در محدوده ظرفیت زراعی خاک ۱۴/۵ درصد وزنی، نقطه پژمردگی ۶/۵ درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری آن به طور میانگین از عمق ۰ تا ۶۰ سانتی‌متری خاک ۱/۶۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. با توجه به خصوصیات فیزیکی خاک منطقه میزان آب آبیاری و دور آبیاری مشخص و اعمال گردید.

داده‌های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال، از مجموعه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی وردیج و چیتگر بوده که به ترتیب واقع در ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۹ ثانیه عرض شمالی، ۵۱ درجه و ۷ دقیقه و ۴۱ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۷۳ دقیقه عرض شمالی، ۵۱ درجه و ۱۶ دقیقه طول شرقی هستند.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۱۰ ژوئن (۲۰ خرداد)، ۱۲ جولای (۲۱ تیر)، ۱۳ آگوست (۲۲ مرداد) و ۱۴ سپتامبر (۲۳ شهریور) سال ۲۰۱۸ و ۱۵ جولای (۲۴ تیر) سال ۲۰۱۹ قابل داندود از سایت <http://earthexplorer.usg.gov> استفاده شد. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره، کاربری آسان، رایگان بودن، قدرت تفکیک مکانی و طیفی بالا بوده است. زمان برداشت تصاویر به وقت محلی (ایران) ساعت ۱۱:۰۰ می‌باشد. تصاویر مورد استفاده دارای شرایط هواشناسی مناسب و بدون ابر می‌باشند.

داده‌های لایسیمتری

در این پژوهش تبخیر-تعرق واقعی گیاه یونجه با استفاده از لایسیمتر قابل حمل وزنی دایره‌ای شکل با قطر دهانه ۳۵ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر، اندازه‌گیری شده است. با توجه به عمق توسعه ریشه یونجه در منطقه مورد مطالعه ابعاد لایسیمتر مناسب بود. لایسیمتر در مجاورت کرت یونجه کاشته شده از قبل و با رعایت اصول کارگذاری از قبیل آفتاب گیر بودن و نزدیک بودن به ایستگاه هواشناسی به عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه و ۷ ثانیه و طول

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی خاک منطقه

عمق خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	جرم مخصوص	بافت خاک
Cm	sand	silt	clay	gr/cm ³	
۰-۳۰	۵۹	۲۵	۱۶	۱/۶۰	شنی لومی
۳۰-۶۰	۶۱	۲۳	۱۶	۱/۶۵	شنی لومی

تابشی ورودی و خروجی از سطح به صورت زیر به دست می آید (Allen et al., 2002):

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

که در آن α آلبیدوی سطحی (بی بعد)، $R_{s\downarrow}$ تابش طول موج کوتاه ورودی (W/m^2)، $R_{L\downarrow}$ تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر (W/m^2)، $R_{L\uparrow}$ تابش طول موج بلند گسیل شده از سطح (W/m^2) و ϵ_0 گسیلمندی سطحی یا گسیلمندی حرارتی سطحی (بی بعد) می باشد.

تابش ورودی موج کوتاه، مجموع شار تابش خورشیدی واقعی مستقیم و پراکنده است که واقعا به زمین می رسد و به صورت زیر محاسبه می شود (Allen et al., 2002):

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (3)$$

$$d_r = 1 + 0.033\cos\left(\frac{2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

که G_{sc} ثابت خورشیدی ($1367 w/m^2$)، θ زاویه سمت الرأس خورشیدی یا زاویه ورودی تابش خورشیدی، d_r معکوس مربع فاصله نسی زمین تا خورشید، τ_{sw} شفافیت جوی و J شماره روز ژولویوسی می باشد.

تابش موج بلند ورودی، شار تابش حرارتی از جو به سمت پایین است که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (Allen et al., 2002):

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (5)$$

$$\epsilon_a = 0.85 \times (-\ln \tau_{sw})^{0.09} \quad (6)$$

ϵ_a : گسیلمندی اتمسفر (بدون بعد)، σ : ثابت استفان - بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} w/m^2/k^4$) و T_a : دمای هوای نزدیک سطح ($^{\circ}k$) (که معادل با دمای پیکسل سرد است) می باشد.

تابش موج بلند خروجی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (Allen et al., 2002):

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad (7)$$

$$T_s = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB}k_1 + 1}{R_C}\right)} \quad (8)$$

که ϵ_0 گسیلمندی سطحی عریض باند (بدون بعد)، σ ثابت استفان - بولتزمن ($5.67 \times 10^{-8} w/m^2/k^4$)، T_s دمای سطحی ($^{\circ}k$)، R_C رادیانس حرارتی باند تصحیح شده ($w/m^2/sr/um$)، ϵ_{NB} گسیلمندی سطحی باند حرارتی و k_1 و k_2 ثوابت معادله هستند. واحدها برای k_2 درجه کلون و برای k_1 $(w/m^2/sr/um)$ می باشد.

برای محاسبه تبخیر تعرق واقعی گیاه یونجه بین دو آبیاری متوالی در طول فصل زراعی از معادله حاکم بر لایسیمترها، (معادله بیلان آب) استفاده شد. این روش، شامل بررسی جریان آب ورودی و خروجی به محدوده توسعه ریشه گیاه نسبت به زمان در طول یک دوره مشخص می باشد. برای اندازه گیری ارتفاع آب آبیاری و زهاب از پیماننه و برای اندازه گیری میزان بارندگی از داده های ایستگاه هواشناسی منطقه وردیج استفاده شد. مقدار تبخیر و تعرق با توجه به مقادیر آب آبیاری، آب زهکشی شده و تغییرات رطوبتی خاک محاسبه گردید.

الگوریتم توازن انرژی سطح برای خشکی (سبال)

مدل سبال، مقدار تبخیر-تعرق را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و حداقل داده های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می نماید. از آنجا که تصویر ماهواره ای تنها می تواند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهد بنابراین الگوریتم سبال مقدار تبخیر-تعرق لحظه ای را در زمان برداشت تصویر برآورد می نماید. شار تبخیر-تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطحی محاسبه می شود.

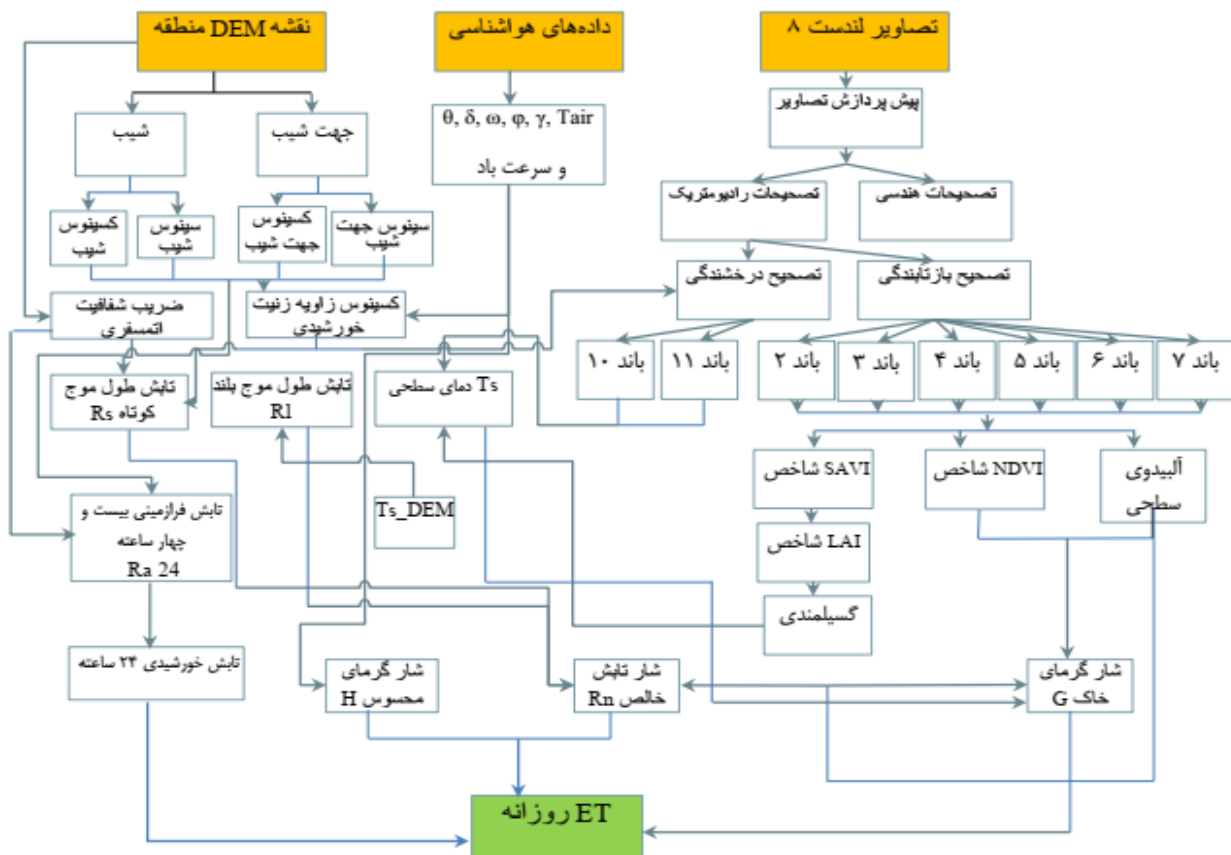
$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

λET شار گرمای نهان (وات بر متر مربع)، R_n شار تابش خالص در سطح زمین (وات بر متر مربع)، G شار گرمای خاک (وات بر متر مربع) و H شار گرمای محسوس (وات بر متر مربع) می باشد.

روش سبال اولین بار به منظور برآورد تبخیر-تعرق در مناطق هموار و نواحی کشاورزی ارائه شد (Bastiaanssen et al., 1998) اما در نسخه ای که در سال ۲۰۰۲ توسط آلن و همکاران ارائه گردید (Allen et al., 2002)، تصحیحات لازم جهت کاربرد سبال در مناطق ناهموار و کوهستانی نیز به این روش اضافه شد. لذا در این تحقیق به منظور حصول توزیع مکانی تبخیر-تعرق در منطقه وردیج، از روش سبال ویژه مناطق ناهموار و کوهستانی استفاده شده است. روند کلی محاسبه تبخیر-تعرق با استفاده از الگوریتم سبال کوهستان، مرحله به مرحله طبق شکل (۲) در قالب یک فلوچارت ارائه شده است.

تابش خالص (R_n)

شار تابش خالص در سطح زمین با استفاده از تمامی شارهای



شکل ۲- روند کلی الگوریتم سیال کوهستان (Almhab and Busu., 2008)

شار گرمای خاک (G)

شار گرمای خاک، میزان انتقال گرما در خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است. محاسبه مستقیم مقدار شار گرمای خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشکل است. بنابراین با استفاده از معادله (۲) در روش سیال ابتدا مقدار R_n را محاسبه و سپس از نسبت شار گرمای خاک (G/R_n) شار گرمای خاک (G) را توسط معادله تجربی باستیانس (۲۰۰۰) که نشانگر مقادیر در نزدیکی ظاهر است به صورت ذیل محاسبه می‌شود (Allen et al., 2002):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (9)$$

α آلبیدوی سطحی، T_s دمای سطحی (درجه سانتی‌گراد) و NDVI شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد. چنانچه مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح مذکور آب تلقی می‌شود و نسبت برابر فرض می‌شود. مناطق با T_s کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد و بیشتر از ۰/۴۵ مناطق پوشیده از برف می‌باشد و نسبت $\frac{G}{R_n}$ برابر ۰/۵ فرض می‌شود.

شار گرمای محسوس (H)

در روش سیال جهت برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شوند. یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده یا سطح آزاد آب است، دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر-تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می‌باشد. بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود. در روش سیال طبق معادله (۱) و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل مذکور، شار گرمای محسوس در این دو پیکسل محاسبه شده و سپس مقدار شار گرمای محسوس سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شود. مقدار شار گرمای محسوس به صورت ذیل برآورد می‌شود (Allen et al., 2002):

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (10)$$

ρ چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا ($\text{J/kg/k } 1.004$)، dT اختلاف دما بین T_1 و T_2 در دو ارتفاع Z_1 و Z_2 بر حسب (k)

قرار داده و سپس به ارزیابی نتایج تبخیر-تعرق به دست آمده بوسیله الگوریتم سیال پرداخته می‌شود. پارامترهای آلبیدوی سطحی، دمای سطح زمین و شاخص NDVI را مورد بررسی قرار می‌دهیم. جدول ۲ آمار مربوط به شاخص NDVI در سطح منطقه می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود مقدار میانگین NDVI در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۳/۲۰، ۱۳۹۷/۰۴/۲۱، ۱۳۹۷/۰۴/۲۴ و ۱۳۹۸/۰۴/۲۴ به ترتیب برابر با ۰/۲۱، ۰/۱۴۵، ۰/۱۵۲ و ۰/۱۵۲ می‌باشد که نسبت به تاریخ‌های دیگر بیشتر است و دلیل آن وجود همزمان محصولات پاییزه، بهاره و مرتع می‌باشد و در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۵/۲۲ و ۱۳۹۷/۰۶/۲۳ به دلیل اینکه محصولات پاییزه برداشت و مرتع نیز از بین رفته، میانگین NDVI کاهش یافته است.

جدول ۲- آمار مربوط به NDVI در محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر

تاریخ	حداقل	حداکثر	میانگین
۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۰/۰۱	۰/۶۷۴	۰/۲۱۰
۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۰/۰۲۷	۰/۷۶	۰/۱۴۵
۱۳۹۷/۰۵/۲۲	۰/۰۳	۰/۷۱۳	۰/۱۲۸
۱۳۹۷/۰۶/۲۳	۰/۰۱۸	۰/۷۰۹	۰/۱۲۵
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۰/۰۲۲	۰/۷۳۱	۰/۱۵۲

جدول ۳ آمار مربوط به آلبیدوی سطحی محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. مناطقی که دارای پوشش گیاهی به صورت زراعی، باغات و یا مرتع می‌باشند نسبت به سایر نقاط میزان آلبیدوی بیشتری دارند. میانگین آلبیدو در هر پنج تصویر بین ۰/۲ و ۰/۲۳۹ می‌باشد که در دامنه قابل قبول برای مزارع کشاورزی و مرتع قرار دارد (Horiguchi., 1992).

جدول ۳- آمار مربوط به آلبیدوی سطحی در محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر

تاریخ	حداقل	حداکثر	میانگین
۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۰/۱۳۶	۰/۳۸۲	۰/۲۱۷
۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۰/۱۲۸	۰/۴۳۷	۰/۲۳۷
۱۳۹۷/۰۵/۲۲	۰/۱	۰/۴۱۷	۰/۲۳۹
۱۳۹۷/۰۶/۲۳	۰/۰۹۶	۰/۴۱۲	۰/۲۳۴
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۰/۰۹۶	۰/۳۳۵	۰/۱۸۶

جدول ۴ آمار مربوط به دمای سطح محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. طبق این داده‌ها تاریخ ۱۳۹۷/۰۳/۲۰ با میانگین دمای سطحی ۳۰۵/۸۵ درجه کلون کمترین و تاریخ ۱۳۹۷/۰۴/۲۱ با میانگین دمای سطحی

و F_{ah} : مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال گرما (s/m) می‌باشد. پس از آنکه مقدار شار گرمای محسوس براساس شرایط جوی تصحیح گردید مقدار لحظه‌ای شار گرمای نهان تبخیر مطابق با فرمول (۱) برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد و سپس با استفاده از معادله (۱۱) مقدار لحظه‌ای تبخیر-تعرق واقعی ET_{inst} برآورد می‌شود (Allen et al., 2002):

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (11)$$

λET : گرمای نهان بخار آب برحسب ژول بر کیلوگرم است.

برآورد تبخیر و تعرق روزانه

از آنجا که مقادیر ET روزانه نسبت به مقادیر لحظه‌ای کاربردی تر است نیاز است مقادیر لحظه‌ای به دست آمده توسط ماهواره در زمان گذر، به مقادیر روزانه تبدیل شود. در روش سیال مقدار ET_{24} ساعته با استفاده از کسر تبخیر $ET_r F$ و تبخیر-تعرق مرجع ET_r محاسبه می‌شود. مقدار ET_r بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ محاسبه گردید.

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (12)$$

در روش سیال جهت تبدیل مقادیر لحظه‌ای ET به مقادیر روزانه فرض می‌شود مقدار $ET_r F$ لحظه‌ای محاسبه شده از طریق معادله (۱۲) در طول ۲۴ ساعت شبانه روز تقریباً ثابت است بنابراین می‌توان مقدار روزانه ET واقعی را با استفاده از $ET_r F$ و تبخیر-تعرق مرجع ۲۴ ساعته در روز تصویر ($ET_r - 24$) محاسبه نمود.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_r - 24 \quad (13)$$

به منظور ارزیابی و دقت روش‌ها دو معیار ارزیابی ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE^۱) و میانگین خطای مطلق (MAE^۲) مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}} \quad (14)$$

$(x_i - x_m)$: اختلاف بین مقادیر حاصل از روش سنجش از دور

با روش تجربی و داده‌های لایسیمتر و n: تعداد کل داده‌ها است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_m|}{n} \quad (15)$$

دو شاخص ارزیابی میانگین مجذور مربعات خطا و میانگین خطای مطلق بیانگر مقدار خطا نسبت به روش استاندارد است. هر دو مقدار هرچه به صفر نزدیکتر باشند، به این معناست که مقادیر دارای خطای کمتری نسبت به حالت استاندارد می‌باشند (شهابی فر و همکاران، ۱۳۸۹).

نتایج و بحث

ابتدا صحت پارامترهای موجود در الگوریتم سیال را مورد بررسی

- 1- Root Mean Square Error (RMSE)
- 2- Mean Absolute Error (MAE)

لایسیمتری مقایسه گردید. همچنین با توجه به اینکه تبخیر-تعرق با استفاده از روش‌های تجربی به صورت نقطه‌ای محاسبه می‌شود، سه منطقه با مختصات جغرافیایی مشخص در نقاطی که دارای کشت یونجه بود، انتخاب و مقادیر تبخیر-تعرق مرجع این مناطق از روش سنجش از دور و با استفاده از الگوریتم سبال محاسبه شد و سپس با مقادیر روش‌های فائو-پنمن-مانتیت، پنمن-رایت، بلانی کریدل و هارگریوز سامانی مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۵ و ۶).

با توجه به جداول فوق مشاهده می‌شود که در تاریخ‌های مورد نظر، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از سنجش از دور در مقایسه با روش فائو-پنمن-مانتیت به ترتیب حدود ۱/۳۴ و ۱/۰۳۵ و در مقایسه با روش پنمن رایت ۱/۸۳ و ۱/۳۶ و در مقایسه با روش بلانی کریدل ۲/۲۶ و ۱/۸۱ و در مقایسه با روش هارگریوز سامانی ۰/۶۸ و ۰/۵۲ می‌باشد. همانطور که در تحقیقات گذشته آمده، گنجی‌زاده (۱۳۹۲) طی تحقیقی ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از سنجش از دور در مقایسه با روش فائو پنمن مانتیت را به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۴۶ و در مقایسه با روش هارگریوز سامانی ۰/۴۸ و ۰/۲۳ را گزارش کرد.

۳۱۷/۸۸ بیشترین دمای سطح را دارند که این روند با دمای هوا در منطقه مطابقت دارد. همچنین با توجه به اینکه ماه‌های تیر و مرداد گرمترین ماه‌های محدوده مورد مطالعه می‌باشند، از این رو بالا بودن دمای سطح نیز می‌تواند به این دلیل باشد. البته با توجه به اینکه هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، حدود ۶/۵ درجه سانتیگراد کاهش دما به همراه دارد، این نکته توسط نقشه DEM منطقه مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۴- آمار مربوط به دمای سطح زمین بر حسب درجه کلون در محدوده مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد نظر

تاریخ	حداقل	حداکثر	میانگین
۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۲۹۵/۵۱	۳۱۶/۶۶	۳۰۵/۸۵
۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۳۰۵/۲	۳۲۸/۱۶	۳۱۷/۸۸
۱۳۹۷/۰۵/۲۲	۳۰۳/۵۲	۳۲۶/۷۴	۳۱۵/۸۶
۱۳۹۷/۰۶/۲۳	۲۹۹/۲۵	۳۲۲/۲۵	۳۱۲/۵۷
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۳۰۴/۸۴	۳۲۵/۵۴	۳۱۶/۱۷

بعد از اطمینان نسبی از روند نتایج به دست آمده از پارامترهای موثر بر میزان تبخیر-تعرق در الگوریتم سبال، نتایج به دست آمده با استفاده از الگوریتم سبال با مقادیر

جدول ۵- مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده با استفاده از روش‌های مختلف تجربی و الگوریتم سبال در منطقه وردیج

تاریخ گذر ماهواره	تبخیر و تعرق الگوریتم سبال (mm/day)				تبخیر و تعرق مرجع (mm/day)			
	پنمن مانتیت	پنمن رایت	بلانی کریدل	هارگریوز سامانی	پنمن مانتیت	پنمن رایت	بلانی کریدل	هارگریوز سامانی
۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۵/۷۵	۶/۰۲	۶/۴۵	۵/۳۴	۶/۰۲	۶/۹۸	۵/۳۴	
۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۶/۳	۹/۰۵	۷/۵۳	۶/۴۶	۹/۰۵	۸/۶۶	۶/۴۶	
۱۳۹۷/۰۵/۲۲	۵/۵۲	۶/۶۸	۶/۴۰۸	۶/۰۵	۶/۶۸	۷/۱۷	۶/۰۵	
۱۳۹۷/۰۶/۲۳	۴/۴۷	۵/۷۷	۵/۸۲	۵/۰۶	۵/۷۷	۶/۵۱	۵/۰۶	
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۶/۳۱	۷/۹۶	۷/۲۳	۶/۵۸	۷/۹۶	۸/۰۳۶	۶/۵۸	

جدول ۶- بررسی شاخص‌های آماری نتایج الگوریتم سبال با روش‌های تجربی

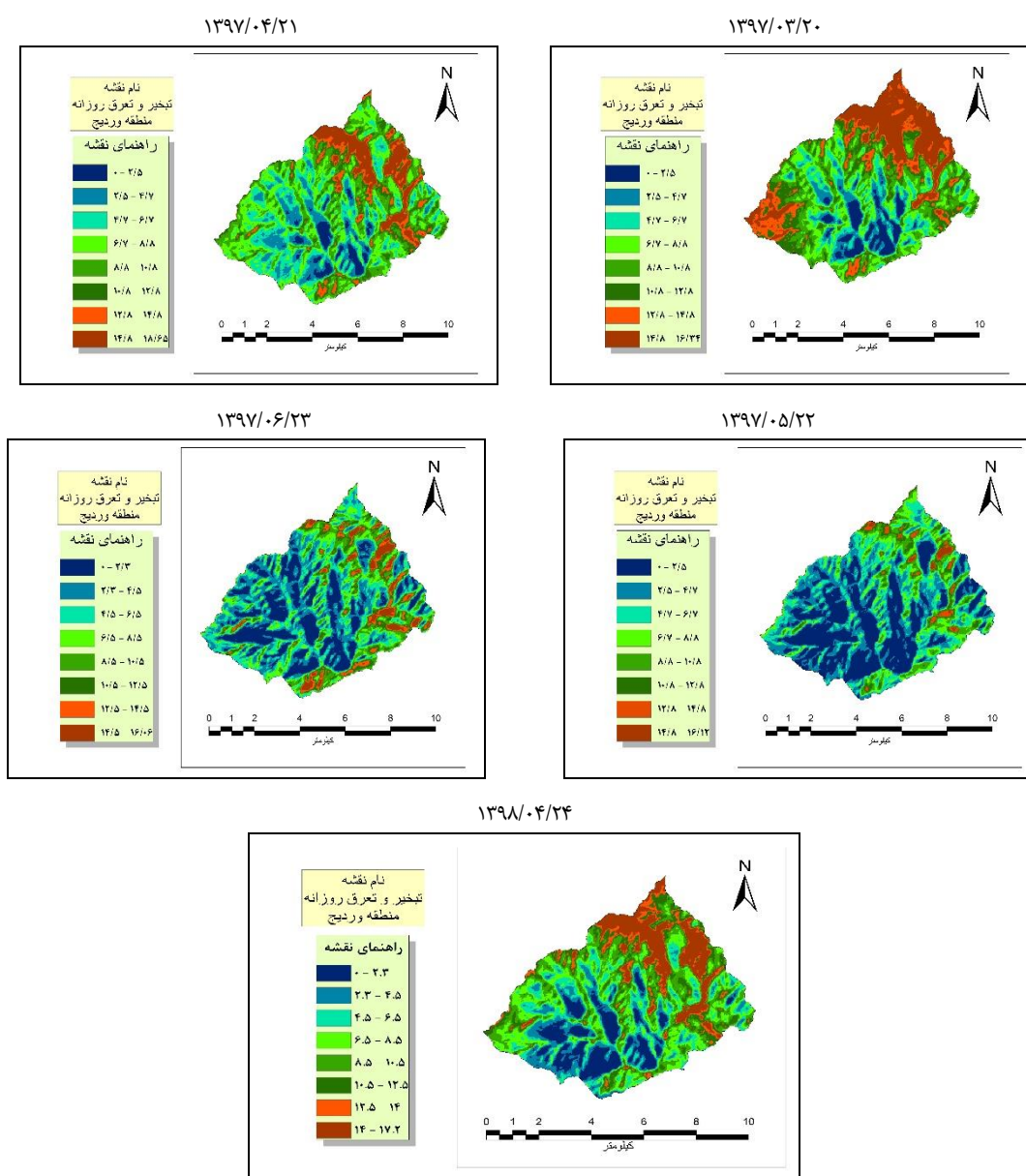
تاریخ گذر ماهواره	RMSE			MAE		
	پنمن مانتیت	پنمن رایت	بلانی کریدل	پنمن مانتیت	پنمن رایت	بلانی کریدل
۱۳۹۷/۰۳/۲۰	۰/۸۷	۰/۳۸	۱/۵۱	۰/۶۹	۰/۲۶	۱/۲۲
۱۳۹۷/۰۴/۲۱	۱/۵۸	۳/۴	۲/۹	۱/۲۳	۲/۷۵	۲/۳۶
۱۳۹۷/۰۵/۲۲	۱/۳	۱/۵۹	۲/۱۴	۰/۸۷	۱/۱۵	۱/۶۴
۱۳۹۷/۰۶/۲۳	۱/۶۴	۱/۵۹	۲/۴۹	۱/۳۵	۱/۳	۲/۰۴
۱۳۹۸/۰۴/۲۴	۰/۹۴	۱/۲	۱/۶۵	۰/۸۶	۱/۱۲	۱/۴۳
میانگین	۱/۲۶	۱/۶۳	۲/۱۳۸	۱	۱/۳۱۶	۱/۷۳۸

۰/۰۳ گزارش شد. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه، همانند تحقیقات گذشته روش سنجش از دور نسبت به روش‌های تجربی دارای خطای اندکی می‌باشد.

همچنین طی تحقیقات صورت گرفته توسط عبدلی و همکاران (۱۳۸۹)، اکبری و همکاران (۱۳۹۰) و (Hafeez et al., 2002) ریشه میانگین مربعات خطا مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از سنجش از دور در مقایسه با روش فائو پنمن ماتیتث به ترتیب ۰/۲۱، ۰/۶۷ و

جدول ۷- مقایسه تبخیر و تعرق روزانه اندازه‌گیری شده در مزرعه یونجه با استفاده از روش لایسیمتر و مقدار تبخیر و تعرق محاسبه شده به وسیله الگوریتم سبال با استفاده از تصویر ماهواره‌اندست ۸

تفاضل مطلق (mm/day)	تبخیر و تعرق الگوریتم سبال (mm/day)	تبخیر و تعرق لایسیمتر (mm/day)
۰/۸۱	۶/۳۱	۷/۱۲



شکل ۳- تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته بر حسب ملی متر بر روز محدوده مورد مطالعه برای تصاویر موجود

تعرق واقعی حاصل از داده‌های سنجش از دور با بهره‌گیری از روش گرام اشمیت و الگوریتم سبال با داده‌های لایسیمیتری (مطالعه موردی؛ شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر). مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۳:۱، ۱۳۹-۱۲۵.

شهبایی فر، م.، عصارى، م.، کوچک زاده، م. و میرلطیفی، س. م. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش‌های تبخیر و تعرق مرجع چمن با استفاده از داده‌های لایسیمیتری در شرایط گلخانه‌ای. مجله پژوهش آب کشاورزی، ۲:۲۴، ۱۹-۱۳.

کرباسی، م.، مقدم، م.، نیکبخت، ج. و کاویانی، ع. ۱۳۹۵. تخمین تبخیر و تعرق واقعی گیاه با استفاده از الگوریتم سبال (مطالعه موردی: منطقه خرم‌دره در استان زنجان). مجله اکوهیدرولوژی، ۳:۳، ۴۳۷-۴۲۷.

گنجی‌زاده، ر. ۱۳۹۲. ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش از دور و مقایسه آن با روش تجربی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

محسنی ساروی، م.، احمدی، ج. و نصرتی، ک. ۱۳۸۹. کاربرد مدل سبال در برآورد تبخیر و تعرق در حوزه آبریز طالقان، اولین کنفرانس بین‌المللی آب، خاک و هوا، آبان ماه، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R. and Bastiaanssen, W., 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)—Advanced Training and Users Manual—Idaho Implementation (Version 1.0). *The Idaho Department of Water Resources: Boise, ID, USA.*

Almhah, A. and Busu, I., 2008. Estimation of evapotranspiration using fused remote sensing image data and M-SEBAL model for improving water management in arid mountainous area. *ACRS2008, Sere lank.*

Bastiaanssen, W.G.M., Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. and Waters, R., 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land, Idaho Implementation, Advanced training and user manual. *NASA EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through The Idaho Department of Water Resources*, p.98.

Bastiaanssen, W.G., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. *Journal of hydrology*, 212, pp.198-212.

Bastiaanssen, W.G., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J.F., Roerink, G.J. and Van der Wal, T., 1998. A remote sensing surface energy balance

با توجه به لایسیمیتر موجود (لایسیمیتر وزنی قابل حمل) و اینکه کشت غالب در محدوده مورد مطالعه یونجه بود، مقادیر تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده گیاه یونجه با لایسیمیتر و الگوریتم سبال مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۷).

نتایج نشان داد که میزان تفاضل مطلق بین مقدار تبخیر-تعرق الگوریتم سبال و لایسیمیتر ۰/۸۱ (mm/day) می‌باشد. نتایج مطالعه زمان ثانی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد میانگین تفاضل مطلق بین نتایج یاد شده ۰/۷ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی برابر ۰/۸۳ است. همچنین طی تحقیقات صورت گرفته توسط کریمی و همکاران (۱۳۹۱) و (Ramos et al., 2009)، میانگین تفاضل مطلق بین تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و لایسیمیتر ۰/۵۳ میلی‌متر در روز گزارش شد. بنابراین در منطقه مورد مطالعه، همچون تحقیقات گذشته اختلاف اندکی بین تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال و لایسیمیتر وجود دارد که می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم سبال از دقت کافی جهت برآورد تبخیر-تعرق واقعی در منطقه وردیج برخوردار است.

باتوجه به اشکال فوق بیشتر مناطق دارای تبخیر و تعرق اندک هستند که دلیل آن عدم وجود پوشش گیاهی کامل در بیشتر مناطق است. مناطقی که دارای تبخیر-تعرق زیاد می‌باشند به دلیل ارتفاع بالاتر دارای پوشش گیاهی بیشتر می‌باشد. همچنین مناطقی که دارای تبخیر-تعرق بالاتر از ۱۴ میلی‌متر در روز می‌باشند مربوط به باغات موجود در منطقه با درختان بزرگ و تاج پوشش زیاد هستند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نتایج تجزیه و تحلیل تبخیر-تعرق روزانه با روش SEBAL برای منطقه وردیج واقع در استان تهران و مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمیتر و همچنین مقادیر تبخیر-تعرق مرجع را نشان می‌دهد. مقایسه بین مقادیر تخمینی بوسیله الگوریتم سبال و مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمیتر و همچنین مقادیر تبخیر-تعرق مرجع دقت رضایت بخشی را نشان داد. ارزیابی نتایج مقایسه تبخیر-تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال در سطح منطقه نیاز به مطالعات و امکانات بیشتری دارد که برای مولفین این مقاله امکان‌پذیر نبود.

منابع

دفتر مطالعات پایه منابع آب، وزارت نیرو، گزارش آخرین وضعیت بارندگی ایستگاه‌های مبنای وزارت نیرو ۱۳۹۵.

سادات گوشه گیر، آ.، گلابی، م. و نصری، ع. ۱۳۹۷. مقایسه تبخیر-

- M.A., Martínez-Cob, A. and Dominguez, R., 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of NE Spain. *Agricultural water management*, 96(4), pp.638-652.
- Rawat, K.S., Bala, A., Singh, S.K. and Pal, R.K., 2017. Quantification of wheat crop evapotranspiration and mapping: A case study from Bhiwani District of Haryana, India. *Agricultural water management*, 187, pp.200-209.16- Iran Second National Communication to UNFCC, December. 2010. Climate change office. Department of environment
- algorithm for land (SEBAL). Part 2: Validation. *Journal of hydrology*, 212, pp.213-229.
- Hafeez, M.M., Chemin, Y., Van De Giesen, N. and Bouman, B.A.M. 2002, July. Field evapotranspiration estimation in central Luzon, Philippines, using different sensors: Landsat 7 ETM+, Terra MODIS and ASTER. In *ISPRS/CIG conference July* (Vol. 8, No. 12, p. 2002).
- Horiguchi, I. (1992), *Agricultural Meteorology*. Buneidou, Tokyo, Japan.
- Papadavid, G., Hadjimitsis, D.G., Toullos, L. and Michaelides, S., 2013. A modified SEBAL modeling approach for estimating crop evapotranspiration in semi-arid conditions. *Water resources management*, 27(9), pp.3493-3506.
- Ramos, J.G., Cratchley, C.R., Kay, J.A., Casterad,

Evaluation of SEBAL Algorithm for Estimation of Real Evapotranspiration in Vardij area

M. Sane^{1*}, M. Kouchakzade², F. Sharifi³

Received: Oct.03, 2019

Accepted: Nov.13, 2019

Abstract

The aim of this study was to evaluate the remote sensing algorithm (SEBAL) for estimating actual evapotranspiration in Vardij area in Tehran province. For this purpose Landsat 8 satellite images on June 10th, July 12th, August 13th and September 14th, 2018 and July 15th, 2019 were used. The reference evapotranspiration value (alfalfa plant) was calculated using evapotranspiration obtained from the SEBAL algorithm for the three points where alfalfa was previously cultivated. Using the meteorological station data, reference evapotranspiration was estimated by the experimental methods of FAO Penman- Monteith, Penman -Wright, Hargreaves Samani and Blani Cridel. The values obtained from SEBAL algorithm were compared with the mentioned methods and it was observed that in the study area the Hargreaves Samani method (MAE = 0.472 and RMSE = 0.62) was closer to the remote sensing method. Next in rating is the FAO Penman Monteith method (MAE = 1 and RMSE = 1.26). Finally, the evapotranspiration obtained from SEBAL algorithm was compared with the value obtained from portable lysimeter and the results showed good correlation, so that absolute difference value was 0.81 (mm/day), and it can be concluded that the remote sensing method is suitable for estimating evapotranspiration in the study area.

Keywords: Evapotranspiration, Portable lysimeter, Remote sensing, Satellite images, SEBAL algorithm

1- M.Sc Student, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Irrigation and Drainage Department of Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

3- Professor, Water Resource Engineering Soil Conservation and Watershed Management Research Institute

(*- Corresponding Author Email: M.sane@modares.ac.ir)