

برآورد تبخیر - تعرق واقعی یونجه با استفاده از الگوریتم SEBS و مقایسه با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط Scintillometer

روژین علی محمدنژاد^۱، سیدمجید میرلطیفی^{۲*}، نعمت‌اله کریمی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۸

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی الگوریتم سنجش از دور SEBS برای تعیین تبخیر - تعرق واقعی یونجه در مزرعه‌ای واقع در استان اصفهان و مقایسه مقادیر برآوردی از طریق سنجش از دور با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه سنتیلومتر (LAS) با مقادیر محاسبه شده توسط معادله فائو- پنمن - مانیتیت انجام شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از یک ایستگاه هواشناسی خودکار که در مزرعه مورد مطالعه نصب گردید به دست آمد. با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی، تبخیر - تعرق مرجع چمن (ET_r) از روش فائو- پنمن - مانیتیت به صورت روزانه و ساعتی در روز و زمان گذر ماهواره محاسبه گردید. از ضرایب گیاهی FAO۵۶ نیز برای محاسبه تبخیر - تعرق یونجه استفاده شد. تبخیر - تعرق واقعی ساعتی یونجه در یک سطح نسبتاً وسیع در زمان عبور ماهواره 8 LANDSAT از منطقه با الگوریتم SEBS محاسبه گردید و هم‌زمان با دستگاه سنتیلومتر نیز اندازه‌گیری شد و به ترتیب مقادیر ۰/۷ و ۰/۶۵ میلی‌متر بر ساعت به دست آمد. تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از الگوریتم SEBS در مقایسه با تبخیر - تعرق واقعی دستگاه سنتیلومتر (LAS) بیش برآورد را نشان داد. در نهایت نیز تبخیر - تعرق واقعی ساعتی و روزانه یونجه برآورد شده از الگوریتم SEBS با مقادیر متناظر به دست آمده از دستگاه سنتیلومتر (LAS) و برآورد شده توسط معادله فائو- پنمن - مانیتیت مقایسه گردید و به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۷۶ (p < ۰/۰۱) و ۰/۸۶ (p < ۰/۰۱) و RMSE برابر ۰/۰۴ میلی‌متر بر ساعت و ۰/۴۳ میلی‌متر بر روز حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: بیان انرژی، تصاویر ماهواره‌ای، ضریب گیاهی، فائو- پنمن - مانیتیت

مقدمه

روش‌های غیرمستقیم، تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از روابط ریاضی موجود محاسبه می‌شود (Allen et al., 1998). سپس تبخیر - تعرق گیاهان از حاصل ضرب ضریب گیاهی (Kc) در تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_r) به دست می‌آید (Allen et al., 1998). در این راستا فن‌آوری سنجش از دور این امکان را فراهم می‌نماید تا بتوان تبخیر - تعرق واقعی را بدون صرف هزینه‌های زیاد برای سطوح وسیع و با توجه به شرایط حاکم بر منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دست آورد (Akbari et al., 2007). با توجه به این که در معادله فائو- پنمن - مانیتیت (FAO56) وجود شرایط مطلوب از نظر خاک و آب برای رشد گیاه ضروری می‌باشد، بنابراین در سطح یک حوضه وسیع به دلیل محدودیت‌هایی که به لحاظ وضعیت شوری خاک و یا میزان آبیاری و نحوه مدیریت آن وجود دارد، تبخیر - تعرق بسیاری از اراضی به خاطر محدودیت‌های فوق از مقادیر تبخیر - تعرق پتانسیل که توسط معادله فائو- پنمن - مانیتیت محاسبه می‌گردد کم‌تر است (Allen et al., 1998). بنابراین برای محاسبه تبخیر - تعرق واقعی

تبخیر - تعرق واقعی در مقایسه با سایر مولفه‌های معادله بیان انرژی در سطح زمین که شامل شار تابش خالص، شار گرمای محسوس و شار گرمای خاک است از اهمیت بیش‌تری برخوردار است، زیرا عمده شار انرژی خروجی از زمین در چرخه آب مربوط به تبخیر - تعرق می‌باشد. به طور کلی تبخیر - تعرق واقعی از طریق دو روش مستقیم و غیرمستقیم محاسبه می‌شود (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۶). در روش مستقیم می‌توان از لایسیمتر یا دستگاه سنتیلومتر^۵ استفاده نمود (Allen et al., 1998; Wang et al., 1978). در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

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

۳- استادیار، موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران

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

4- Actual Evapotranspiration
5- Scintillometer

با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های زمینی دارای خطای بیش‌تری برای تخمین تبخیر - تعرق روزانه بود و RMSE آن بیش‌تر از ۱/۵ میلی-متر بر روز بدست آمد (Singh and Senay., 2015). با استفاده از دو الگوریتم METRIC و SEBS شار گرمای نهان برای اکوسیستم شمال آسیا با استفاده از تصاویر ماهواره LANDSAT برای سال‌های ۲۰۰۲ الی ۲۰۱۳ محاسبه گردید. نتایج با داده‌های حاصل از برداشت مزرعه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. RMSE حاصل از مقایسه تبخیر - تعرق واقعی به‌دست آمده از الگوریتم SEBS و مقادیر متناظر تبخیر - تعرق واقعی اندازه‌گیری شده از برداشت‌های مزرعه‌ای ۰/۸۳ میلی-متر بر روز برآورد گردید (Liaquat and Choi., 2015).

هم‌چنین پژوهشگران، به ارزیابی الگوریتم SEBS و SEBAL در تخمین تبخیر - تعرق واقعی ذرت با استفاده از ۴ تصویر از ماهواره LANDSAT در سال ۲۰۱۰ پرداختند و نتایج را با داده‌های به‌دست آمده از لایسومتر مورد مقایسه قرار دادند و در نهایت به یک رابطه‌ی منطقی بین تبخیر - تعرق واقعی تخمین زده و برآورد شده رسیدند. بیش‌ترین تفاوت SEBS با لایسیمتر ۴/۵۶٪ تبخیر - تعرق واقعی اندازه‌گیری شد (Farhadi bansouleh et al., 2015). اگرچه روش SEBS جهت برآورد تبخیر - تعرق واقعی در سطوح وسیع روش مناسبی می‌باشد، لیکن بررسی دقت روش مذکور در یک منطقه به لحاظ این‌که روش SEBS تبخیر - تعرق لحظه‌ای را برآورد می‌نماید بسیار مشکل می‌باشد. معمولاً مقادیر تبخیر - تعرق لحظه‌ای برآوردی توسط روش‌های مبتنی بر سنجش از دور به مقادیر روزانه تبدیل شده و سپس با برآوردهای روش‌های دیگر مانند لایسیمتر و یا معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه گردید. تبدیل مقادیر لحظه‌ای به روزانه و سپس مقایسه آن‌ها با دیگر روش‌های برآورد تبخیر - تعرق روزانه منجر به ایجاد خطا می‌گردد. علت بروز خطا به این دلیل می‌باشد که روند تغییرات تبخیر - تعرق لحظه‌ای در طول یک شبانه‌روز به صورت یک منحنی سینوسی می‌باشد و تبدیل یک قرائت و یا اندازه‌گیری تبخیر - تعرق لحظه‌ای توسط روش‌های مبتنی بر سنجش از دور به مقادیر میانگین ساعتی یا روزانه نیاز به راهکارهای دقیقی از جمله روش‌های پیشنهادی توسط (Hatfield et al., 1983) دارد. در این تحقیق سعی گردید تا برآوردهای تبخیر - تعرق لحظه‌ای به‌دست آمده با الگوریتم SEBS با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده تبخیر - تعرق لحظه‌ای توسط سنتیلومتر در مزرعه که هم‌زمان صورت گرفت، مقایسه گردند. بدین صورت نیاز به تبدیل برآوردهای لحظه‌ای روش SEBS به میانگین روزانه و سپس مقایسه آن‌ها با مقادیر روزانه حاصل از معادله فائو-پنمن-مانتیت که منجر به ایجاد خطا در مقایسه می‌گردد وجود نخواهد داشت. اگرچه مقایسه برآوردهای لحظه‌ای روش SEBS با دو روش دیگر به صورت لحظه‌ای و به صورت میانگین روزانه انجام گردید. علت ایجاد خطا در

گیاهان در سطح یک حوضه توصیه می‌گردد از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور استفاده گردد. الگوریتم SEBS^۱ تبخیر - تعرق واقعی (ET_SEBS) را با استفاده از شار گرمای محسوس در مقیاس منطقه‌ای تخمین می‌زند. میانگین خطای مدل SEBS در حدود ۲۰ درصد است که به میانگین شار گرمای محسوس وابسته است (Su., 2002). الگوریتم SEBS شامل ابزارهایی برای برآورد پارامترهای فیزیکی سطحی مثل دمای سطح زمین، آلبیدو و گسیل‌مندی سطح زمین است. مطالعات متعددی در جهان در زمینه استفاده از سنجش از دور در برآورد تبخیر - تعرق واقعی گیاهان با استفاده از مدل SEBS انجام شده است. تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از سیستم بیان انرژئی سطحی (SEBS) در حوضه‌ی آبریز منیامه واقع در زیمباوه با استفاده از ماهواره MODIS در سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس نتایج به دست آمده با مقادیر متناظر تبخیر - تعرق واقعی محاسبه شده توسط معادله فائو-پنمن-مانتیت مقایسه شدند. در مقیاس روزانه میانگین خطای به دست آمده ۰/۳۲ میلی‌متر بر روز و میانگین خطای مطلق ۰/۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد. در نهایت نتایج مطالعات نشان داد که روش SEBS پتانسیل محاسبه نتایج با دقت بالا را دارد و می‌تواند اطلاعات سودمندی را در زمینه مصرف واقعی آب توسط پوشش گیاهی در سطح وسیع در اختیار قرار دهد. (Rwasoka et al., 2011). تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از مدل SEBS و با استفاده از ۱۶ تصویر از LANDSAT8 برای یک ناحیه آبیاری شده در استرالیا برآورد گردید و با داده‌های متناظر مشاهدات زمینی برای سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ مورد مقایسه قرار گرفت. مقادیر برآورد شده توسط مدل SEBS بسیار به داده‌های مشاهدات زمینی نزدیک بود و $R^2=0/95$ به‌دست آمد (Ma et al., 2012). در تحقیقی دیگر که در تونس انجام شد، تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از روش SEBS و تصاویر MODIS برای بازه زمانی روزانه به‌دست آمد و با داده‌های مشاهدات زمینی مورد مقایسه قرار گرفت. تبخیر - تعرق واقعی روزانه به‌دست آمده از الگوریتم SEBS در مقایسه با داده‌های زمینی دارای $R^2=0/33$ و $RMSE=2/19$ میلی‌متر بر روز بود. هم‌چنین الگوریتم SEBS در مقایسه با داده‌های زمینی ۴۷ درصد بیش برآورد را نشان داد (Gokool et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر، تبخیر - تعرق روزانه با استفاده از چهار مدل بیان انرژئی شامل^۲ METRIC،^۳ SEBAL،^۴ و^۵ SSEBOP با استفاده از تصاویر LANDSAT در غرب ایالات متحده محاسبه شده و سپس با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. مدل SEBS در مقایسه

- 1- Surface Energy Balance System
- 2- Mapping evapotranspiration with internalized calibration
- 3- Surface Energy Balance Algorithm for Land
- 4- operational Simplified Surface Energy Balance

بر پایه نوسانات نور توسط نوسانات ضریب شکست هوا می‌باشد. در مقایسه با دستگاه‌های اندازه‌گیری معمولی آشفستگی که دارای سنسورهای نقطه‌ای هستند، دستگاه سنتیلومتر (LAS) نتایج فضایی را با پراکندگی آماری کم‌تر و دوره زمانی کوتاه‌تر جمع‌آوری می‌کند. در این مطالعه فاصله بین سنسور گیرنده و فرستنده دستگاه سنتیلومتر (LAS) در مزرعه یونجه ۲۵۰ متر بود (شکل ۱) در مدت ۹۰ روز هم‌زمان با دوره رشد یونجه به صورت پیوسته تبخیر - تعرق واقعی یونجه توسط دستگاه سنتیلومتر اندازه‌گیری شد. بدین صورت که دستگاه سنتیلومتر (LAS) مقدار شار گرمای محسوس را اندازه‌گیری می‌کند. دیگر مقادیر اجزای معادله بیلان انرژی شامل شار گرمای خاک از دستگاه اندازه‌گیری شار گرمای خاک^۱ شار تشعشعات خالص از دستگاه اندازه‌گیری شار تشعشعات خالص^۲ به دست آمدند. با قرار دادن این مقادیر در معادله بیلان انرژی مقدار تبخیر - تعرق واقعی یونجه ETc(LAS) محاسبه گردید.

ویژگی‌های دستگاه سنتیلومتر (LAS) BLS900

دستگاه سنتیلومتر (LAS) جهت اندازه‌گیری شار گرمای محسوس و اندازه‌گیری تبخیر - تعرق واقعی گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نکات مثبت این دستگاه، محاسبه تبخیر - تعرق واقعی برای یک منطقه نسبتاً وسیع می‌باشد. همچنین سنتیلومتر می‌تواند به‌عنوان بخشی از ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی استفاده شود و در مطالعات مربوط به مدیریت آب قابل کاربرد می‌باشد.

مشخصات تصاویر مورد استفاده

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده شامل ۶ تصویر از ماهواره LANDSAT8 بود که به فاصله هر ۱۶ روز یک‌بار در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور برای سال ۱۳۹۵ از وب سایت سازمان ملی هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) تهیه و پردازش شد. دلیل استفاده از تصاویر ماهواره LANDSAT8، قدرت تفکیک مکانی متوسط ۱۵ تا ۱۰۰ متر از سطح زمین این تصاویر است که جهت پژوهش حاضر مناسب بودند. داده‌های هواشناسی

شامل دمای هوا، فشار، سرعت باد، رطوبت نسبی از ایستگاه اتوماتیک که در مزرعه نصب گردید به‌دست آمد. زمان تصویربرداری ماهواره بر حسب زمان میانگین گرینویچ می‌باشد و با استفاده از معادله ۱ به زمان محلی تبدیل گردید.

(GMT) + جزو تصحیح زمان تصویر = زمان تصویر (به وقت محلی)
جزو تصحیح تصاویر در رابطه بالا از تقسیم طول جغرافیایی مرکز منطقه زمانی بر ۱۵ به دست می‌آید. در ایران طول جغرافیایی ۵۲/۵

تبدیل برآوردهای لحظه‌ای مبتنی بر سنجش از دور به روزانه این است که شدت تبخیر - تعرق در طول شبانه روز برابر با زمان عبور ماهواره نمی‌باشد به این معنی که در طول شبانه روز تبخیر - تعرق دارای مقادیر متفاوتی می‌باشد. بنابراین با انتگرال‌گیری از مقادیر لحظه‌ای در طول شبانه روز مقادیر روزانه برآورد می‌گردد. در حالی که تغییرات لحظه‌ای تبخیر - تعرق روزانه به شکل یک منحنی سینوسی می‌باشد که حداکثر آن معمولاً در زمان ظهر شرعی و یا ساعتی پس از آن اتفاق می‌افتد. بدین خاطر سعی گردید برآوردهای روش SEBS در زمان عبور ماهواره با مقادیر متناظر که هم‌زمان با روش سنتیلومتر اندازه‌گیری شده بود مقایسه گردد. بنابراین اهداف اصلی تحقیق حاضر شامل موارد زیر می‌باشد.

برآورد تبخیر - تعرق واقعی یونجه (ETc) در مقیاس ساعتی ET_SEBS_h (mm/hr) و روزانه ET_SEBS_d (mm/day) از طریق روش مبتنی بر سنجش از دور (SEBS) اندازه‌گیری تبخیر - تعرق واقعی یونجه در مقیاس ساعتی توسط دستگاه سنتیلومتر (LAS) Etc

محاسبه تبخیر - تعرق در مقیاس ساعتی ETc (FAO56)_h (mm/hr) و روزانه ETc (FAO56)_d (mm/day) یونجه بر اساس روش فائو- پنمن-مانتیت
مقایسه تبخیر - تعرق واقعی یونجه برآورد شده با روش SEBS با مقادیر متناظر بدست آمده از دستگاه سنتیلومتر و روش فائو-پنمن-مانتیت.

مواد و روشی ها

محدوده مورد مطالعه

مزرعه ۱۵ هکتاری مورد مطالعه برای اندازه‌گیری تبخیر - تعرق واقعی متعلق به کشت و صنعت بهاران و دارای کشت یونجه بود و در خوراسگان استان اصفهان بین خمینی‌شهر و شاهین‌شهر و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در شرق شهرستان اصفهان قرار دارد. کشت و صنعت بهاران بین مدارهای ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض شمالی خط استوا واقع شده است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۵۴ متری می‌باشد.

منطقه خوراسگان از نظر اقلیمی نیمه‌خشک است. متوسط درجه حرارت آن در تابستان در محدوده ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در زمستان ۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. متوسط بارش سالیانه نیز در حدود ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد (اکبری، ۱۳۸۳). جهت اندازه‌گیری تبخیر - تعرق واقعی یونجه (ETc) در مزرعه مورد اشاره یک دستگاه سنتیلومتر (LAS مدل BLS900) به همراه یک ایستگاه هواشناسی خودکار نصب گردید. حساسه‌های آشفستگی دستگاه سنتیلومتر (LAS) مورد استفاده بین فرستنده نوری و گیرنده قرار می‌گیرد. عملکرد اصلی

1- soil heat flux plates
2- netradiometer

دانست. معادله توازن انرژی به صورت رابطه ۲ است (Allen et al., 2002).

$R_n = G + H + \lambda ET$ (۱) ذخیره گرما در زیست توده گیاه + فتوسنتز + شار گرمای خالص، که R_n تابش خالص، G شار گرمای خاک، H شار گرمای محسوس و λET شار گرمای نهان بوده و تمامی واحدها بر حسب W/m^2 می‌باشند.

محاسبه تابش خالص (R_n)

تابش خالص در سطح زمین با استفاده از معادله بیلان شارهای تابشی نفوذ یافته از جو به سطح زمین (ورودی منهای خروجی) بدست می‌آید. تابش خالص را می‌توان بر اساس رابطه ۳ برآورد نمود (Bastiaanssen et al., 2002):

درجه و در نتیجه مقدار تصحیح ۳/۵ ساعت خواهد بود (مباشری، ۱۳۸۵).

در این پژوهش از نرم‌افزارهای ENVI 5.3 جهت تصحیحات اتمسفریک و از نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB برای اجرای الگوریتم استفاده شد.

برآورد اجزای معادله بیلان انرژی با استفاده از سنجش از دور در الگوریتم SEBS

تبخیر - تعرق واقعی را می‌توان نتیجه تبخیر از سطح زمین و پوشش گیاهی و تعرق از اندام‌های گیاهی دانست. با صرف‌نظر از مقدار جزئی آب که در فعالیت‌های متابولیسمی گیاه همانند فتوسنتز استفاده می‌شود و مقدار بسیار کمی انرژی که به صورت ذخیره گرما در تاج گیاه به کار می‌رود، می‌توان آن را برابر مقدار آب مصرفی گیاه



شکل ۱- دستگاه سنتیلومتر در مزرعه مورد مطالعه

جدول ۱- تاریخ (میلادی) و ساعت تصویربرداری ماهواره LANDSAT8 به وقت گرینویچ (GMT^1) و محلی

تاریخ گذر ماهواره	شماره روز ژولیوسی	ساعت گذر ماهواره (به وقت گرینویچ)	ساعت گذر ماهواره (به وقت ایران)
۱۳۹۵/۰۳/۱۵	۱۵۶	۷:۸	۱۰:۳۸
۱۳۹۵/۰۳/۳۱	۱۷۲	۷:۸	۱۰:۳۸
۱۳۹۵/۰۴/۱۴	۱۸۸	۷:۸	۱۰:۳۸
۱۳۹۵/۰۵/۰۱	۲۰۴	۷:۸	۱۰:۳۸
۱۳۹۵/۰۵/۱۷	۲۲۰	۷:۸	۱۰:۳۸
۱۳۹۵/۰۶/۰۲	۲۳۶	۷:۸	۱۰:۳۸

اصلاح پایداری برای انتقال گرمای نهان، Ψ_m تابع اصلاح پایداری برای انتقال مومنتوم، z_{0h} ارتفاع زبری سطح برای انتقال گرما (m)، d_0 ارتفاع جا به جایی صفر، k ثابت ون کارمن، z_{0m} ارتفاع زبری سطح برای انتقال مومنتوم (m)، pair چگالی هوا (kg/m^3)، C_p گرمای ویژه هوا ($1004\text{J}/\text{kg}/^\circ\text{K}$) است.

برای محاسبه شار گرمای محسوس در مناطق مرطوب و خشک، معادلات متفاوتی وجود دارد. شار گرمای محسوس در مناطق خشک (H_{dry})، مقدار تبخیر در مناطق خشک (λE_{dry}) از معادله ۷ به دست آمد. در مناطق خشک به دلیل خشک بودن خاک λE_{dry} صفر می باشد (Su, 2002). در نتیجه

$$\lambda E_{dry} = R_n - G - H_{dry} \equiv 0 \quad H_{dry} = R_n - G \quad (7)$$

شار گرمای محسوس (H_{wet}) برای مناطق مرطوب از رابطه ۸ محاسبه گردید. منطقه مرطوب مکانی است که مقدار تبخیر - تعرق در آن مکان برابر با تبخیر - تعرق پتانسیل است. مقدار λE_{wet} تبخیری است که تنها از مقدار انرژی قابل دسترس از سطح و اتمسفر به دست می آید (Su, 2002).

$$\lambda E_{wet} = R_n - G - H_{wet} \quad H_{wet} = R_n - G - \lambda E_{wet} \quad (8)$$

معادله مشابه معادله پنمن - مانتیث که توسط (Su, 2002) برای ترکیب با معادله فوق برای به دست آوردن شار گرمای محسوس در مناطق مرطوب به دست آمد در رابطه ۹ آمده است.

$$H_{wet} = \frac{\left((R_n - G) - \frac{\rho C_p}{r_{ew}} \cdot \frac{e_s - e_a}{\gamma} \right)}{\left(1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right)} \quad (9)$$

که R_n تابش خالص در سطح گیاه ($\text{MJ}/(\text{m}^2\text{hr})$)، G شار گرمای خاک ($\text{MJ}/(\text{m}^2\text{hr})$)، T میانگین دمای ساعتی هوا در ارتفاع ۲ متری ($^\circ\text{C}$)، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$)، γ ثابت سایکرومتریک ($\text{kPa}/^\circ\text{C}$)، r_{ew} مقاومت خارجی است که از رابطه ۱۰ محاسبه گردید (Su, 2002).

$$r_{ew} = \frac{1}{K u_*} \left[\ln \left(\frac{z - d}{z_{oh}} \right) - \Psi_h \left(\frac{z - d}{L_w} \right) + \Psi_h \left(\frac{z_{oh}}{L_w} \right) \right] \quad (10)$$

مقاومت خارجی به طول مومنین - ابوخوف (L_w) در مناطق مرطوب بستگی دارد (Su, 2002).

$$L_w = - \frac{\rho u_*^3}{k \cdot g \cdot 0.61 (R_n - G) / \lambda} \quad (11)$$

روند تکرار محاسبات از معادله ۹ تا ۱۱ ادامه دارد تا H_{wet} با مقدار تکرار قبل از خود 0.1 اختلاف داشته باشد. در این روابط مقادیر

$$R_n = (1 - \alpha) R_s \downarrow + R_L \downarrow - R_L \uparrow - (1 - \epsilon_0) R_L \downarrow \quad (3)$$

که α آلبیدوی سطحی، $R_s \downarrow$ تابش موج کوتاه ورودی (0.3 تا 3 میکرومتر) بر حسب (W/m^2) ، $R_L \downarrow$ تابش موج بلند ورودی (3 تا 100 میکرومتر) ورودی (W/m^2) ، $R_L \uparrow$ تابش موج بلند خروجی (W/m^2) ϵ_0 گسیل مندی سطحی عریض باند می باشد. بنابراین تابش خالص عبارت است از اختلاف بین جریان تابش خروجی و ورودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می رود. مقدار $R_s \downarrow$ ، $R_L \uparrow$ و $R_L \downarrow$ به ترتیب بین 200 ، 1000 ، 200 الی 700 و 200 - 500 (W/m^2) می باشد که بسته به زمان و محل تصویربرداری متغیر است. روابط محاسبات R_n توسط باستیانسن و همکاران (Bastiaanssen et al., 2002) ارائه شده است.

محاسبه شار گرمای خاک (G)

محاسبه مستقیم شار گرمای خاک با استفاده از تصاویر ماهواره ای دشوار می باشد. لیکن می توان G را با استفاده از نسبت $\frac{G}{R_n}$ در نیمه روز و شاخص های گیاهی با دقت مطلوب برآورد نمود (Ferreira et al., 2000; Bastiaanssen, 2013). در الگوریتم SEBS برای به دست آوردن شار گرمای خاک از رابطه ۴ استفاده می شود (Su, 2002).

$$G = R_n \cdot [\Gamma_c + (1 - f_c) \cdot (\Gamma_s - \Gamma_c)] \quad (4)$$

که در آن $\Gamma_c = 0.05$ برای تاج پوشش گیاهی کامل که توسط مونتیت ارائه شده است. $\Gamma_s = 0.315$ برای خاک لخت می باشد و توسط (Daughtry, 1989) ارائه شده است (Su, 2002). f_c جزو پوشش گیاهی که از داده های سنجش از دور به دست می آید می باشد و روابط آن در (Choudhury et al., 1994) آمده است.

محاسبه شار گرمای محسوس (H)

برای محاسبه شار گرمای محسوس در الگوریتم SEBS از شرایط مومنین ابوخوف استفاده گردید. از چند رابطه در فرآیند تکرار در برآورد شار گرمای محسوس استفاده شد. میانگین سرعت باد و پروفیل دمایی در الگوریتم SEBS با استفاده از معادلات ۵ و ۶ به دست آمد (Su, 2002).

$$u = \frac{u_*}{k} \left[\ln \left(\frac{z - d_0}{z_{0m}} \right) - \Psi_m \left(\frac{z - d_0}{L} \right) + \Psi_m \left(\frac{z_{0m}}{L} \right) \right] \quad (5)$$

$$T_0 - T_a = \frac{H}{k \cdot u_* \cdot \rho \cdot c_p} \left[\ln \left(\frac{z - d_0}{z_{0h}} \right) - \Psi_h \left(\frac{z - d_0}{L} \right) + \Psi_h \left(\frac{z_{0h}}{L} \right) \right] \quad (6)$$

که Z ارتفاع از سطح زمین (m)، u_* سرعت اصطکاکی، T_0 دمای پتانسیل در سطح زمین ($^\circ\text{K}$)، T_a دمای پتانسیل هوا ($^\circ\text{K}$)، Ψ_h تابع

$$ETc (FAO56) - d \quad (19)$$

$$= \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

که R_n تابش خالص در سطح گیاه در مقیاس روزانه $(MJ/(m^2day))$ و ساعتی $(MJ/(m^2hr))$ ، G شار گرمای خاک در مقیاس روزانه $(MJ/(m^2day))$ و ساعتی $(MJ/(m^2hr))$ ، T میانگین دمای روزانه هوا در ارتفاع ۲ متری $(^{\circ}C)$ ، Thr میانگین دمای ساعتی هوا در ارتفاع ۲ متری $(^{\circ}C)$ ، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s) ، e_s فشار بخار اشباع در مقیاس روزانه و در مقیاس ساعت (kpa) ، e_a فشار بخار واقعی در مقیاس روزانه و در مقیاس ساعتی (kpa) ، Δ شیب منحنی فشار بخار در مقیاس روزانه و در مقیاس ساعتی $(kpa/^{\circ}C)$ ، γ ثابت سایکرومتریکی $(kpa/^{\circ}C)$.

داده‌های هواشناسی ساعتی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی که در کشت و صنعت بهاران نصب گردید، به دست آمد. منحنی تغییرات ضریب گیاهی یونجه در طول فصل زراعی به خاطر چین‌های متعدد در سال بسیار متفاوت از بقیه گیاهان است. در نتیجه یک رابطه بین دوره چین موجود در مزرعه مورد مطالعه و چین متناظر موجود در FAO56 برقرار شد. در نهایت ضرایب گیاهی یونجه برای مزرعه مورد مطالعه در سال زراعی ۱۳۹۵ به دست آمد. از نتایج روزانه تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن فائو- پنمن - مانیتیت جهت برآورد تبخیر - تعرق گیاه یونجه استفاده شد. در نهایت مقادیر تبخیر - تعرق گیاه یونجه برای ارزیابی نتایج حاصل از تبخیر - تعرق واقعی الگوریتم SEBS (ET_SEBS) مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر ابتدا تصحیحات رادیومتریک ماهواره 8 LANDSAT انجام شد. منظور از تصحیحات رادیومتریک هر باند، به دست آوردن مقدار بازتابندگی ثبت شده توسط باند مورد نظر در بالای اتمسفر است. برای تعیین ضرایب بازتاب سطح زمین، باید داده‌های هر باند بر اساس ضرایب ارایه شده برای آن باند تصحیح شود. تصحیحات رادیومتریک باندهای LANDSAT8 با استفاده از روابط به دست آمده از سایت USGS انجام شد (<http://USGS.gov>., 2013).

تبخیر - تعرق واقعی برآورد شده با استفاده از الگوریتم SEBS تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از دستگاه سنیلومتر (LAS) مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۴ و جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه به این که روش فائو- پنمن - مانیتیت به عنوان روش استاندارد برای محاسبه تبخیر - تعرق مرجع چمن شناخته شده است (Allen et al., 1998; Kite and Droogers., 2000;)

پارامترها پذیرفته شده و حلقه تکرار متوقف می‌شود. مقدار Z_{oh} و Z_{om} از معادله‌های ۱۲ و ۱۳ محاسبه گردید.

$$Z_{oh} = \frac{Z_{om}}{\exp(KB^{-1})} \quad (12)$$

$$z_{om} = 0.005 + 0.5 \left(\frac{NDVI}{NDVI_{max}} \right)^{2.5} \quad (13)$$

که KB^{-1} معکوس عدد استتتون است و نحوه‌ی محاسبه آن ارایه شده است (Su., 2002).

جزو تبخیر - تعرق نسبی (Λ_r) طبق معادله ۱۴ به دست آمد (Su., 2002).

$$\Lambda_r = \frac{\lambda E}{\lambda E_{wet}} = 1 - \frac{\lambda E_{wet} - \lambda E}{\lambda E_{wet}} = 1 - \frac{H - H_{wet}}{H_{dry} - H_{wet}} \quad (14)$$

در نهایت جزو تبخیر (Λ) از معادله ۱۵ محاسبه گردید (Su., 2002).

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G} = \frac{\Lambda_r \lambda E_{wet}}{R_n - G} \quad (15)$$

محاسبه شار گرمای نهان (λET) و تبخیر - تعرق واقعی لحظه‌ای در زمان گذر ماهواره

شار گرمای نهان، میزان تلفات انرژی از سطح را به دلیل وجود پدیده تبخیر - تعرق نشان می‌دهد و برای هر پیکسل با توجه به رابطه ۱۶ محاسبه گردید. در این معادله λET مقدار لحظه‌ای - ای شار گرمای نهان برای زمان گذر ماهواره می‌باشد. تبخیر - تعرق لحظه‌ای با واحد عمق آب بر ساعت از رابطه ۱۷ محاسبه گردید.

$$\lambda ET = Rn - G - H \quad (16)$$

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (17)$$

که در آن ET_{inst} تبخیر - تعرق لحظه‌ای (mm/hr) ، عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان، ثانیه به ساعت و λ شار گرمای نهان بخار آب یا میزان گرمای جذب شده هنگامی که یک کیلوگرم آب تبخیر می‌شود و واحد آن (j/kg) می‌باشد.

روش فائو- پنمن - مانیتیت

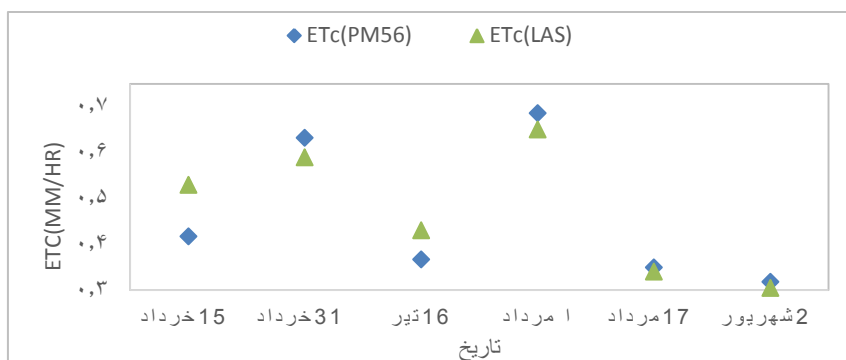
تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن بر اساس معادله فائو- پنمن - مانیتیت در مقیاس روزانه از رابطه ۱۹ و در مقیاس ساعتی از رابطه ۱۸ بر اساس توصیه سازمان خوار و بار جهانی (FAO) محاسبه شدند (Allen et al., 1998).

$$ETc (FAO56) - h \quad (18)$$

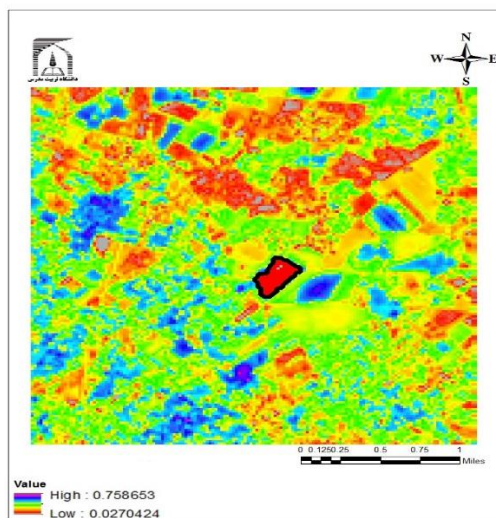
$$= \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T_{hr} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

با استفاده از ضرایب گیاهی یونجه نیز اقدام به محاسبه تبخیر - تعرق یونجه در مقیاس روزانه (شکل ۶) و ساعتی (شکل ۲) گردید (Allen et al., 1998). با استفاده از مقادیر تبخیر - تعرق واقعی اندازه‌گیری شده توسط دستگاه سنتیلومتر (LAS) اقدام به مقایسه روش فائو- پنمن- مانیت با دستگاه سنتیلومتر (LAS) در مقیاس ساعتی گردید (شکل ۲)، در این مقایسه R^2 برابر ۰/۸۴ و RMSE برابر (mm/hr) ۰/۰۶۸ به دست آمد.

رحیمیان، (۱۳۸۶)، در نتیجه می‌توان سایر روش‌ها را با آن مورد مقایسه قرار داد. در ادامه تبخیر - تعرق مرجع چمن (ET_r) با استفاده از داده‌های ثبت شده توسط یک ایستگاه هواشناسی اتوماتیک که در کشت و صنعت بهاران نصب گردیده بود، در مقیاس روزانه با استفاده از نرم‌افزار Ref- ET و در مقیاس ساعتی با استفاده از نرم‌افزار EXCEL بر اساس رابطه فائو- پنمن- مانیت محاسبه گردید (Allen et al., 1998).



شکل ۲- مقایسه تبخیر - تعرق ساعتی گیاه یونجه با استفاده از روش FAO56 با تبخیر - تعرق اندازه‌گیری شده توسط سنتیلومتر (LAS) در روزهای عبور ماهواره

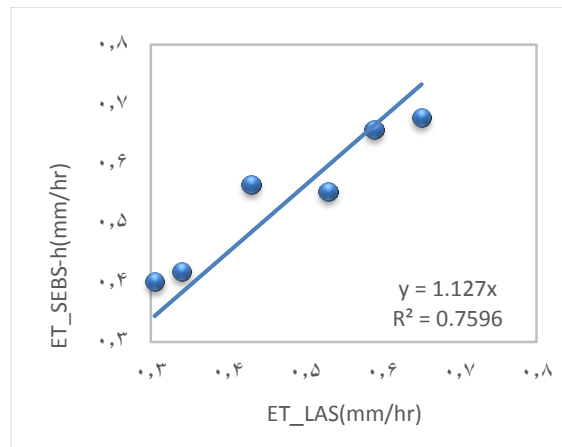


شکل ۳- تبخیر - تعرق واقعی یونجه به صورت لحظه‌ای با استفاده از مدل SEBS در زمان گذر ماهواره روز ۱ مرداد ۱۳۹۵

برآورد تبخیر - تعرق لحظه‌ای با استفاده از الگوریتم SEBS با توجه به نقشه تولید شده (شکل ۳) میانگین تبخیر - تعرق واقعی لحظه‌ای یونجه برای الگوریتم SEBS در پروفیل طولی سنتیلومتر (LAS) واقع در مزرعه ۰/۷ میلی‌متر بر ساعت به دست آمد، که با مقدار متناظر به دست آمده از دستگاه سنتیلومتر که ۰/۶۵ میلی‌متر بر ساعت بوده، تقریباً مطابقت دارد. به طور کلی الگوریتم SEBS تبخیر - تعرق واقعی یونجه را در مقایسه با سنتیلومتر بیش‌برآورد کرد. (Lu et al., 2002) تبخیر - تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم SEBS و مقادیر سنتیلومتر (LAS) مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم SEBS در مقایسه با نتایج تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از سنتیلومتر (LAS) بیش-برآورد را نشان می‌دهد که با نتایج به دست آمده از این پژوهش مطابقت دارد.

مقایسه ET_SEBS-h با LAS_ET

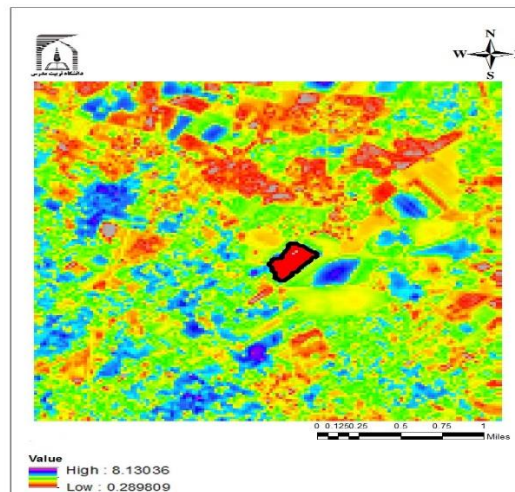
مقادیر تبخیر - تعرق ساعتی یونجه محاسبه شده با الگوریتم SEBS، جهت صحت‌سنجی روش SEBS با مقادیر متناظر که هم-زمان توسط دستگاه سنتیلومتر اندازه‌گیری شدند، مقایسه گردیدند (جدول ۲).



شکل ۴- مقایسه تبخیر - تعرق ساعتی واقعی یونجه به دست آمده از مدل های SEBS با مقادیر متناظر به دست آمده از سنتیلومتر (LAS)

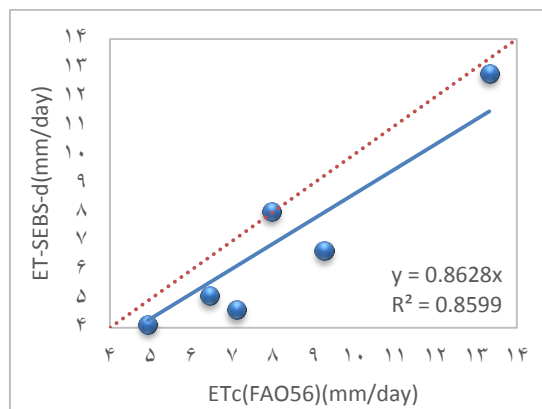
جدول ۲- مقایسه تبخیر - تعرق ساعتی یونجه به دست آمده از الگوریتم SEBS با مقادیر متناظر به دست آمده از دستگاه سنتیلومتر

MPE ^۱ SEBS-LAS (mm/hr)	MAE ^۲ SEBS-LAS (mm/hr)	درصد خطا SEBS-LAS	اختلاف مطلق SEBS- LAS (mm/hr)	تاریخ گذر ماهواره
		۳/۹۵	-/۰.۲	۱۳۹۵/۰۳/۱۵
		۱۱/۳۹	-/۰.۷	۱۳۹۵/۰۳/۳۱
۷/۰.۷	-/۰.۷	۳۱/۱۶	-/۱.۳	۱۳۹۵/۰۴/۱۶
		۴/۱۷	-/۰.۳	۱۳۹۵/۰۵/۰۱
		۲۲/۹۴	-/۰.۸	۱۳۹۵/۰۵/۱۷
		۳۱/۸۰	-/۱.۰	۱۳۹۵/۰۶/۰۲



شکل ۵- تبخیر - تعرق واقعی روزانه یونجه با استفاده از مدل SEBS در روز ۱ مرداد ۱۳۹۵

1- Mean Percent Error
2- MeanAbsolute Error



شکل ۶- مقایسه ET_SEBSd با ETc (FAO56)

جدول ۳- مقایسه ET_SEBSd با ETc (FAO56)

MAE SEBS-FAO56 (mm/day)	درصد خطا SEBS-FAO56	اختلاف مطلق SEBS-FAO56 (mm/day)	تاریخ گذر ماهواره
	۳۸/۹	۲/۶	۱۳۹۵/۰۳/۱۵
	۴/۰	-۰/۵	۱۳۹۵/۰۳/۳۱
۱/۳	۵۴/۰	۲/۵	۱۳۹۵/۰۴/۱۶
	۰/۸	۰	۱۳۹۵/۰۵/۰۱
	۱۹/۷	-۰/۸	۱۳۹۵/۰۵/۱۷
	۲۶/۵	۱/۳۵	۱۳۹۵/۰۶/۰۲

مقایسه مقادیر ET_SEBSd با مقادیر ETc(FAO56) در مقیاس روزانه

برای صحت‌سنجی تبخیر - تعرق روزانه یونجه به‌دست آمده از الگوریتم SEBS، نتایج به‌دست آمده با نتایج تبخیر - تعرق روزانه یونجه به‌دست آمده از رابطه فائو- پنمن- مانتیث مورد مقایسه قرار گرفت.

با توجه به نتایج ارایه شده در شکل ۶ ET_SEBS-d در ۴ روز از ۶ روز زمان گذر ماهواره مقادیری کم‌تر از ETc(FAO56) را برآورد کرد. این امر می‌تواند به دلیل در نظر گرفتن شرایط ایده‌آل برای گیاه در روش فائو- پنمن- مانتیث باشد. در حالی که در روش‌های سنجش از دور تبخیر - تعرق واقعی مزرعه اندازه‌گیری می‌شود که می‌تواند به‌خاطر دلایلی مانند تنش‌های محیطی از پتانسیل کم‌تر باشد. همچنین R^2 به‌دست آمده در الگوریتم SEBS ۰/۸۶ حاصل شد. طی پژوهشی که صافی (۱۳۹۳) در کشت و صنعت نیشکر انجام داد به این نتیجه رسید که الگوریتم SEBAL در بیش‌تر روزها مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را کم‌تر از مقادیر فائو- پنمن- مانتیث برآورد نمود. وی شرایط محیطی حاکم بر منطقه همانند شوری، خشکی و شرایط مدیریت آبیاری را در این تخمین موثر دانست. او R^2 برابر ۰/۹۵ را برای مقایسه مقادیر تبخیر - تعرق واقعی روزانه فائو- پنمن- مانتیث با مقادیر به دست آمده از تبخیر - تعرق واقعی روزانه الگوریتم

لازم به ذکر است روش SEBS مقادیر تبخیر - تعرق واقعی را در بیش‌تر روزها، بیش‌تر از مقادیر به‌دست آمده از دستگاه سنتیلومتر (LAS) برآورد کرد. پائول^۱ (۲۰۱۳) تبخیر - تعرق واقعی کتان را در مقیاس ساعتی برای الگوریتم SEBS در سال ۲۰۰۷ الی ۲۰۰۸ به دست آورد (Paul, 2013). سپس با نتایج حاصل از لایسیمتر وزنی مورد مقایسه قرار داد. میانگین اختلاف مطلق برای الگوریتم SEBS با داده‌های لایسیمتر وزنی در مقیاس ساعتی ۰/۱۳ به‌دست آمد.

برآورد تبخیر - تعرق روزانه با استفاده از مدل SEBS

تبخیر - تعرق روزانه یونجه از روش سنجش از دور به صورت حاصل ضرب تبخیر - تعرق مرجع چمن روزانه در تبخیر - تعرق یونجه در مقیاس ساعتی در لحظه گذر ماهواره و تقسیم بر مقدار تبخیر - تعرق مرجع چمن ساعتی به‌دست آمده از ایستگاه هواشناسی واقع در منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱۸ به‌دست آمد. تبخیر-تعرق روزانه یونجه در مزرعه مورد مطالعه در روز ۱ مرداد ۱۳۹۵ (روز ۲۰۴ ژوئیه‌سی) ۵ الی ۸ میلی‌متر بر روز برآورد گردید.

1- Paul

Nations. 26-40.

SEBAL به دست آورد.

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, p. 97.

Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W. and Gieske, A. 2007. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. agricultural water management. 88.1:99-109.

Bastiaanssen, W. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin. Turkey. Hydrology. 229: 87-100.

Bastiaanssen, W.G.M., Waters, R., Allen, R., Tasumi, M. and Terzza, R. 2002. Advanced Training and User's Manual of Surface Energy Balance Algorithms for Land. Nasa EOSDIS/Synergy grant from the Raytheon Company through the Idaho Department of water Resources. 1:1-98.

Choudhury, B.J., Ahmed, N.U., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Daughtry, C.S.T. 1994. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. Remote Sensing of Environment. 50.1:1-17.

Farhadi bansouleh, B., karimi, A.R., and Hesadi, H. 2015. Evaluation of SEBAL and SEBS algorithms in the estimation of maize evapotranspiration. Plant and soil science 6. 6:350-358.

Ferreira, V., Gong, Z., He, X., Zhang, Y. and Andam-Akorful, S. 2013. Estimating Total Discharge in the Yangtze River Basin Using Satellite-Based Observations. Remote Sensing. 5: 3415-3430.

Gokoo, S., Chetty, K.T., Jewitt, G.P.W. and Heeralal, A. 2016. Estimating total evaporation at the field scale using the SEBS model and data infilling procedures. South Africa Water Resource Commission. 42.4:673-683.

Hailegiorgis, W.S. 2006. Remote Sensing analysis of summer time Evapotranspiration using SEBS algorithm. ITC, Enschede, p 130.

Hatfield, J.L., Reginato, R.J., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Pinter, J.P.J. 1983. Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. Journal of Agricultural Water Management. 7.1-3: 351-362.

<https://landsat.usgs.gov/landsat-8-l8-data-usershandbook-section-5>. 2013.

Kite, G.W., Droogers, P. 2000. Comparing evapotranspiration estimates from satellites, hydrological models and field data. Hydrology.

نتیجه گیری

هدف اصلی از تحقیق حاضر، ارزیابی الگوریتم حاصل از سنجش از دور در برآورد مولفه‌های بیلان آب به‌خصوص تبخیر - تعرق واقعی در مزرعه یونجه در محدوده کشت و صنعت اصفهان می‌باشد. ETC بدست آمده از الگوریتم SEBS در مقیاس ساعتی با مقادیر متناظر به دست آمده از دستگاه سنتیلومتر (LAS) R^2 برابر 0.76 و MAE برابر 0.07 را نتیجه داد. الگوریتم SEBS مقادیر تبخیر - تعرق واقعی را در مقایسه با دستگاه سنتیلومتر (LAS) در ۳ روز از ۶ روز بیش برآورد نمود. با این حال لازم به ذکر است با توجه به این که R^2 به دست آمده از مقادیر ETC برآوردی توسط الگوریتم SEBS مقایسه با دستگاه سنتیلومتر (LAS) دز سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار بود، می‌توان نتیجه گرفت که حتی اگر داده‌های مشاهداتی برای صحت‌سنجی تبخیر - تعرق واقعی به دست آمده از مدل SEBS در دسترس نبودند می‌توان نتیجه گرفت که روش SEBS جهت برآورد ETC مناسب می‌باشد که با کار (Hailegiorgis., 2006) مطابقت دارد.

منابع

- علیزاده، آ.، کمالی، غ.ع. ۱۳۸۶. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع) مشهد 228 ص.
- اکبری، م. ۱۳۸۳. بهبود مدیریت آبیاری مزارع با استفاده از تلفیق اطلاعات ماهواره‌ای، مزرعه‌ای و مدل شبیه‌سازی SWAP رساله دکتری (ph.D) دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- مباشری، م. ۱۳۸۵. برآورد میزان تبخیر - تعرق در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT 7+ ETM گزارش نهایی طرح پژوهشی به سازمان آب و برق خوزستان.
- شهبابی فر، م.، رحیمیان، م.ح. ۱۳۸۶. تعیین نیاز آبی چغندر قند به روش لایسیمتری در مشهد. مجله چغندر قند.
- صافی، ر. ۱۳۹۳. ارزیابی بهره‌وری آب در مزارع کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای LANDSAT 8. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United

- doctoral dissertation , Kansas State University, pp 142.
- Rwasoka,D.T., Gumindoga,W and Gwenzi,J. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth. Parts A/B/C.* 36.14: 736-746.
- Singh,R.K and Senay,G.B. 2015. Comparison of four different energy balance models for estimating evapotranspiration in the midwestern united States. *Water.* 8:1- 9.
- Su,Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences.*6. 85-100.
- Wang,T.I., Ochs,G.R and Clifford,S.F. 1978. A saturation-resistant optical scintilla meter to measure Cn2. *Journal of the optical society of America* 68.3:334-338.
- 229.1:3-18.
- Liaqat,U.W and Choi,M. 2015. Surface energy fluxes in the Northeast Asia ecosystem: SEBS and METRIC models using Landsat satellite images. *Agricultural and Forest Meteorology.* 214: 60-79.
- Lu,J., Li,Z.L., Wang,H., Tang,R., Tang,B., Labed,J., Wu,H and Yu,G. 2012. Evaluation of SEBS-estimated evapotranspiration using a large aperture scintillometer data for a complex underlying surface. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium . Institute of Electrical and Electronics Engineers .pp.* 1112-1115.
- Ma,W., Hafeez,M., Rabbani,U., Ishikawa,H and Ma,Y. 2012. Retrieved actual ET using SEBS model from Landsat-5 TM data for irrigation area of australia. *Atmospheric environment.* 59: 408-414 .
- Paul,G. 2013. Evaluation of surface energy balance models for mapping evapotranspiration using very high resolution airborne remote sensing data,

Estimate Actual Evapotranspiration by SEBS Algorithm and Comparison with Actual Measured Values by Scintillometer

R. Alimohammad Nejad¹, S. M. MirLatifi^{2*}, N. Karimi³

Received: Mar.22, 2018

Accepted: Jun.18, 2018

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the accuracy of SEBS remote sensing algorithm to determine the actual evapotranspiration of an alfalfa field located in Isfahan province. An automatic weather station was installed in the alfalfa field to measure and to record the required weather data for the calculation of reference evapotranspiration by the Penman-Monteith equation. Daily and hourly grass reference evapotranspiration (ET_r) were calculated by FAO Penman-Monteith equation (FAO56), using the meteorological data measured during the satellite passing time. The FAO 56 crop coefficient was used to obtain alfalfa evapotranspiration from ET_r. The actual hourly alfalfa evapotranspiration (ET_{c-h}) from an extensive alfalfa field surface at the time of the passage of the LANDSAT 8 from the study area was computed by SEBS algorithm and at the same time it was measured by a Scintillometer and they were found to be 0.7 and 0.65 (mm/hr), respectively. The actual ET obtained by SEBS usually overestimated values measured by the Scintillometer (LAS). The actual hourly and daily alfalfa evapotranspiration values obtained from SEBS algorithms were compared with the corresponding values measured by the Scintillometer (LAS) and values calculated by the FAO Penman-Monteith equation and R² of 0.75 (p<0.01), 0.86 (p<0.01) and RMSE 0.04 (mm/hr), 0.43 (mm/day) were obtained, respectively.

Keywords: Crop coefficient, Energy Balance, FAO Penman-Monteith, Satellite Images

1- MSc Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

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

3- Assistant Professor, Department of water Research Institute (WRI), Tehran, Iran

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