

## Actual Evapotranspiration Estimation Using MODIS and ETM+ Imageries (Case Study: Arak)

BAHAREH BAHMAN ABADI<sup>1</sup>, ABBAS KAVIANI<sup>1\*</sup>

1. Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agricultural and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

(Received: Oct. 4, 2019- Revised: Dec. 18, 2019- Accepted: Dec. 24, 2019)

### ABSTRACT

In this research, the spatial distribution of evapotranspiration and its relationship with remote sensing in contrast with lysimetric data as control was investigated in Arak, Markazi province in Iran. For estimation of actual evapotranspiration amount in the region based on SEBAL, SSEB and TSEB algorithms, 28 imageries of MODIS and Landsat7 (ETM+) were used for the years of 2000-2004. The multiplicity of MODIS images and its high temporal resolution is the reason of least error for ET estimation. According to the statistical results, the SEBAL model with the lowest RMSE in both TERRA and ETM + sensors (0.97 and 1.38 mm/day) was presented as the superior model in the region. Also, TSEB model showed the weakest results among the proposed models, in both MODIS and ETM + sensors (3.57 And 2.53 mm per day). Comparing the performance of two sensors, the ETM+ satellite images are recommended for ET estimation due to increased spatial resolution and improved resolution of images in the Landsat satellite. In addition, the NDVI vegetation index was at its lowest level at the beginning of the growing period due to germination and vegetation thinness, and it is increased by increasing air temperature and vegetation cover. L factor has a significant effect on SAVI and ET estimation and it is depended on the region vegetation. In this study, the L factor for the studied area was estimated to be 0.6 during the maximum growth period, which had the least amount of error in comparison with other values.

**Keyword:** SEBAL, ETM+, MODIS, SAVI, NDVI

---

\* Corresponding Author's Email: [kaviani@eng.ikiu.ac.ir](mailto:kaviani@eng.ikiu.ac.ir)

## تخمین تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MODIS و ETM+ در اراک

بهاره بهمن آبادی<sup>۱</sup>، عباس کاویانی<sup>۱\*</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۹/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۳)

### چکیده

در این تحقیق به بررسی توزیع مکانی تبخیر تعرق و رابطه آن با سنجش از دور در مقابل داده‌های لایسیمیتری به عنوان شاهد در شهرستان اراک واقع در استان مرکزی در ایران پرداخته شده است. در برآورد مقدار تبخیر تعرق واقعی براساس مدل‌های SEBAL، S<sub>SEB</sub> و T<sub>SEB</sub> در منطقه از ۲۸ تصویر از سنجنده‌های MODIS و سنجنده ETM+ در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۳ استفاده شد. تعدد تصاویر MODIS و قدرت تفکیک زمانی مناسب آن، دلیلی بر میزان خطای کمتر در برآورد تبخیر تعرق مرجع است. طبق نتایج آماری از میان سه مدل مورد بررسی، مدل SEBAL با کمترین میزان RMSE در هر دو سنجنده MODIS و ETM+ (۰/۹۷ و ۱/۳۸ میلی‌متر بر روز) به‌عنوان مدل برتر در منطقه معرفی شد و مدل T<sub>SEB</sub> ضعیف‌ترین عملکرد را در هر دو سنجنده MODIS و ETM+ داشته است (۳/۵۷ mm/day) و در مقایسه عملکرد دو سنجنده، سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالاتر، برای برآورد تبخیر تعرق توصیه می‌شود. علاوه بر این در بررسی پوشش گیاهی، بر اساس شاخص گیاهی NDVI، در ابتدای دوره کشت به دلیل جوانه‌زنی و تنک بودن پوشش گیاهی، این شاخص در پایین‌ترین حد خود قرار دارد و به ترتیب با افزایش دمای هوا و پوشش گیاهی، شاخص NDVI رو به افزایش است. فاکتور L اهمیت به‌سزایی در برآورد SAVI و در نهایت، برآورد تبخیر تعرق برای منطقه مورد مطالعه دارد که به پوشش منطقه وابسته است. در این تحقیق برای منطقه مورد مطالعه در دوره رشد حداکثری گیاه، مقدار  $L = 0/6$  تخمین زده شد که در برابر دیگر مقادیر مورد بررسی، دارای کمترین مقدار خطا بود.

واژه‌های کلیدی: SEBAL, ETM+, MODIS, SAVI, NDVI

### مقدمه

بیشترین مصرف آب در بخش کشاورزی و مربوط به پدیده تبخیر تعرق است. برآورد صحیح نیاز آبی گیاه اهمیت به‌سزایی در کشاورزی به‌خصوص برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری دارد. زیرا در صورت کم‌آبیاری محصول دچار تنش شده و در نهایت با کاهش عملکرد و تولید محصول همراه است و در صورت بیش‌آبیاری، ضمن هدررفت آب، غرقاب شدن ریشه و از دسترس خارج شدن مواد غذایی، موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی و شیوع بیماری و آفات می‌شود (Mosaedi and Ghabaei Sough., 2013).

روش‌ها و تکنیک‌های متعددی برای تعیین میزان تبخیر تعرق ارائه شده‌اند که در زمره مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان از اندازه‌گیری مستقیم به روش لایسیمیتری، روش‌های مبتنی بر داده‌های هواشناسی و روش‌های متکی بر تکنیک سنجش از دور نام برد. استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی جهت تعیین تبخیر تعرق اگرچه دارای دقت نسبتاً بالا در مقیاس نقطه‌ای هستند اما نمی‌توانند بیانگر تغییرات تبخیر تعرق در ابعاد وسیع و

در مقیاس منطقه‌ای باشند. اندازه‌گیری مستقیم تبخیر تعرق گیاه مرجع به کمک لایسیمتر با دقت زیاد انجام می‌گیرد ولی همیشه اندازه‌گیری آن از این طریق به دلایل مختلف امکان‌پذیر نمی‌باشد. براساس پژوهش‌های (Landres et al., 2008)، طی دهه‌های گذشته رابطه‌های تجربی متعددی، برای تخمین  $ET_0$  با استفاده از پارامترهای هواشناسی ارائه شده‌اند، اما هیچ‌یک از این رابطه‌های تجربی، پاسخگوی نیاز تمامی شرایط اقلیمی نبوده و تنها در شرایط خاصی که توسعه یافته‌اند، جواب‌گو می‌باشند. پژوهش‌ها نشان داده است که تبخیر تعرق به‌عنوان متغیری اقلیمی، از خصوصیات منطقه‌ای و ویژگی ذاتی آن‌ها تأثیر می‌پذیرد (Mardikis et al., 2005). در روش‌های محاسباتی که می‌توان آن‌ها را جزء روش‌های غیرمستقیم دانست، از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و در نهایت روابط به‌دست آمده با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی محلی به‌دست آمده و اعتبار کمی دارند (Zhou et al., 2002). بنابراین روش‌های معمول استفاده شده در برآورد

آیرویدینامیکی در فرآیند انتقال آب-گرما استفاده می‌کند. در این مدل‌ها فرض می‌شود که تمامی سطح تحت تاثیر دما و رطوبت یکسان قرار دارد. حال آن که مدل‌های دومنبعی ضمن تفکیک خاک و گیاه در سرتاسر فرآیند مدل‌سازی برخلاف مدل‌های تک-منبعی می‌توانند مناسب باشند اما در نواحی با پوشش گیاهی پراکنده مدل‌های دومنبعی توصیه می‌شود (Norman et al., 1995). بدین ترتیب مدل‌های تک‌منبعی با ساده‌سازی اندرکنش بین لایه‌های خاک و پوشش گیاهی، حجم معادلات و روابط مدل‌سازی کمتری دارند ولی در عوض مدل‌های دومنبعی با توجه به مدل‌سازی مجزای خاک و پوشش گیاهی به واقعیت نزدیک‌ترند. در ارتباط با استفاده از الگوریتم توازن انرژی سیال در برآورد تبخیر تعرق واقعی در داخل و خارج کشور پژوهش‌های متنوعی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. الگوریتم SEBAL با تصاویر سنجنده متفاوتی در مناطق مختلف دنیا اجرا شده و یافته‌های مطلوبی ارائه کرده است (Tasumi et al., 2005). الگوریتم (Bastiaanssen et al., 2005) SEBAL را در بیش از ۳۰ کشور در مقیاس منطقه‌ای و مزرعه مورد بررسی قرار داد. دقت نتایج به‌دست آمده در مقایسه با اندازه-گیری‌های روزانه، در مقیاس مزرعه ۸۵ درصد و در مقیاس محلی تا ۹۶ درصد رسید (Abdoli et al., 2011). با استفاده از تصاویر MODIS و Landsat 7 برای برآورد تبخیر تعرق واقعی در اراضی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری حوضه هیدرولوژیک رودخانه زاینده‌رود، نتایج مشابهی از مدل SEBAL با فرمول تجربی پنمن-مانتیتش گرفتند. (Abdoli et al., 2011, Sanaei Nejad et al., 2011) با استفاده از تصاویر MODIS نتیجه گرفتند مدل SEBAL جهت برآورد تبخیر تعرق در سطح منطقه (حوضه آبخیز مشهد) مناسب می‌باشد. (Mobasheri et al., 2006) با استفاده از مدل SEBAL و تصاویر ماهواره لندست ۵ در دشت خوزستان تبخیر تعرق واقعی را برآورد نموده و مدل SEBAL را مناسب ارزیابی کردند. Rahimian و Poormohammadi به بررسی برآورد تبخیر تعرق واقعی گندم تحت تنش شوری پرداختند. در این پژوهش از الگوریتم توازن انرژی برای زمین جهت برآورد تبخیر تعرق واقعی استفاده گردید. تبخیر تعرق واقعی به‌صورت روزانه و فصلی در سال زراعی ۸۶-۸۷ محاسبه گردید. ارزیابی نتایج از طریق فرمول عملکرد محصول نشان داد که الگوریتم سیال با دقت بالایی در برآورد تبخیر تعرق واقعی در شرایط تنش را دارا می‌باشد (Rahimian and Poormohammadi, 2012). مدل تک‌منبعی دیگری که در این تحقیق به آن پرداخته شده است مدل ساده شده بیلان انرژی (SSEB) می‌باشد که در سال ۲۰۰۷ توسعه داده شد. این مدل برای نظارت و ارزیابی تاثیر کمبود آب

تبخیر تعرق در مقیاس مزرعه‌ای به دلیل ناهمگن بودن سطح زمین و طبیعت دینامیکی فرآیند انتقال بخار آب، اجازه تعمیم به مقیاس بزرگتر را ندارند (Senay et al., 2011). در نتیجه مقادیر برآورد شده به‌صورت نقطه‌ای بوده و پیوستگی مکانی ندارد. وجود چنین محدودیتی باعث ایجاد انگیزه در استفاده از تکنیک سنجش از دور و به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین تبخیر تعرق واقعی در سطوح وسیع گردیده است که نتایج به‌دست آمده مقدار تبخیر تعرق واقعی را در مقیاس پیکسل به پیکسل برای دوره‌های کوتاه‌تر در یک مقیاس بزرگ ارائه می‌دهد (Bastiaanssen et al., 1998; Su, 2002). تصاویر ماهواره‌ای ابزار سودمند برای تهیه نقشه‌های مکانی و زمانی تبخیر تعرق واقعی و در نتیجه ارتقاء مدیریت منابع آب در مناطق وسیع به حساب می‌آیند (Omidvar, 2011). همچنین با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان تبخیر تعرق یک منطقه را بدون نیاز به دانستن پیشینه-ای از وضعیت خاک، محصول و نحوه مدیریت مزرعه با دقت بالا برآورد کرد (Bastiaanssen et al., 2005). با یک ادبیات بسیار ساده می‌توان اینگونه بیان کرد که سنجنده به زمین نگاه می‌کند و هر اتفاقی که روی سطح می‌افتد را در قالب اعدادی در باندهای مختلف سنجنده ثبت می‌کند و سپس این اعداد را با استفاده از معادلات و تکنیک‌هایی که در قالب شش الگوریتم اصلی (که در سطح بین‌المللی به‌طور وسیع و قابل اعتماد در حال استفاده هستند) به‌کار برده می‌شوند، به تبخیر تعرق واقعی تبدیل می‌کند. با توجه به اینکه شرایط واقعی روی سطح زمین در لایسیمتر شرایط تبخیر تعرق گیاه مرجع است، لذا سنجش از دور مقدار تبخیر تعرق واقعی همان گیاه را با همان شرایطی که در لایسیمتر وجود دارد را ثبت می‌نماید که البته چون گیاه یونجه است و در لایسیمتر قرار دارد پس عددی را که تخمین می‌زند همان تبخیر تعرق گیاه مرجع است. الگوریتم‌های مبتنی بر تکنیک سنجش از دور متعددی برای برآورد تبخیر تعرق ارائه شده‌اند. وجود ماهواره‌های متفاوت با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متنوع، اهمیت و کاربرد این تکنیک را دو چندان می‌کند. در بین روش‌هایی که برای برآورد تبخیر تعرق از طریق سنجش از دور، روش‌های «بیلان انرژی» پرکاربردتر می‌باشند. الگوریتم‌های بیلان انرژی بر روی زمین یک روش تخمین مکانی تبخیر تعرق واقعی براساس بیلان انرژی و یک تکنیک سنجش از دوری بوده است (Bastiaanssen et al., 1998) و به واسطه‌ی سهولت کاربرد، در تحقیقات زیادی به‌کار رفته‌اند و اصلاحات و پیشرفت‌های زیادی داشته‌اند که کاربردهای آن را راحت‌تر کرده است. به‌طور کلی این روش‌ها به دو دسته مدل‌های تک-منبعی و دومنبعی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. مدل‌های تک‌منبعی مجموعه خاک و گیاه را به‌عنوان منبعی واحد به نام (برگ بزرگ) در نظر می‌گیرند (Nishida et al., 2003) و تنها از یک مقاومت

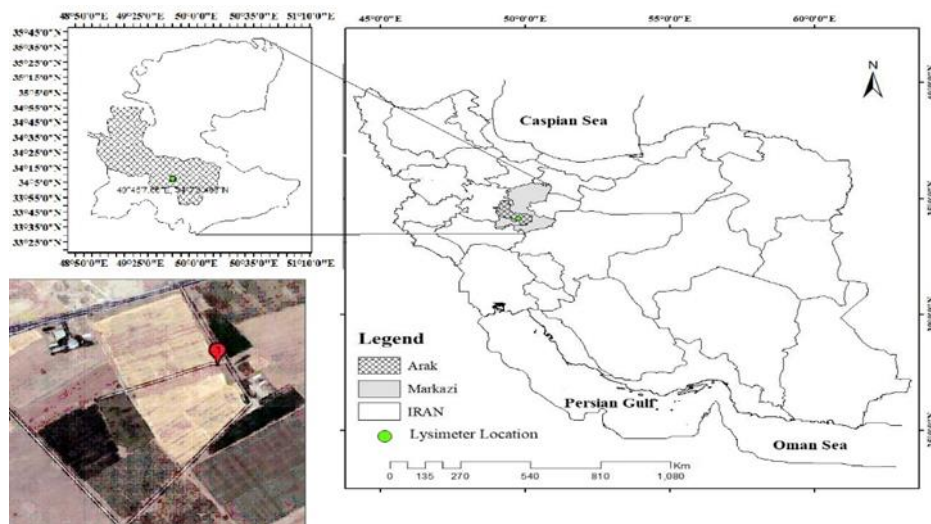
بیشتری مواجه بود (Tang et al., 2013). عملکرد مدل دومنبعی TSEB در مناطق مختلف با پوشش‌های گیاهی متفاوت مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت این مدل را برای برآورد تبخیرتعرق مرجع در کلیه شرایط اتمسفری و پوشش‌های گیاهی متفاوت مناسب ارزیابی شد (Kustas et al., 2013). هدف از تحقیق حاضر، برآورد تبخیرتعرق واقعی در اراک با استفاده از مدل‌های تک‌منبعی SEBAL، SSEB و مدل دومنبعی TSEB به صورت مکانی و میزان دقت این الگوریتم‌ها براساس داده‌های اندازه‌گیری شده لایسیمتری بوده است. با توجه به اهمیت پیوستگی زمانی و مکانی در برآورد تبخیرتعرق، سنجنده‌های MODIS و ETM+ مورد استفاده قرار گرفت که مزیت استفاده از سنجنده MODIS قابلیت تصویربرداری این سنجنده به فاصله زمانی یک‌روزه بوده، بنابراین پیوستگی زمانی را برای محاسبه تبخیرتعرق تامین می‌کند. همچنین کیفیت بالای تصاویر سنجنده ETM+ پیوستگی مکانی مناسبی را برای تحقیق مورد نظر تامین می‌کند. دلیل استفاده هم‌زمان از این دو سنجنده، ضعف ماهواره ETM+ در توان تفکیک مکانی است. طی بررسی صورت گرفته بر روی سنجنده MODIS و محصولات آماده این سنجنده، مشخص شد که این محصولات براساس الگوریتم معادله پنمن-مانتیت تولید شده‌اند و لذا در این تحقیق از این محصولات آماده، استفاده نشده است. محاسبه فاکتور L در برآورد شاخص SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)، برای پوشش حوضه مربوطه و در نهایت تهیه نقشه توزیع مکانی تبخیرتعرق واقعی در محدوده تحت تاثیر لایسیمتر موجود در اراک در کشور ایران و بر اساس محاسبات شبکه سلولی است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

شهرستان اراک مرکز استان مرکزی با ارتفاع ۱۷۰۸ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۰۶ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). متوسط بارندگی زراعی ۳۱۱/۸ میلی‌متر که بیشترین بارندگی ۴۸۵/۸ میلی‌متر در سال زراعی ۷۰-۷۱ و کمترین بارندگی ۱۵۴/۸ میلی‌متر در سال زراعی ۷۷-۷۸ بوده است. متوسط دمای سالانه شهر اراک ۱۴/۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که ماه تیر با میانگین ۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد، گرم‌ترین ماه و ماه بهمن با میانگین صفر درجه سانتی‌گراد سردترین ماه است. میانگین رطوبت سالانه اراک ۴۶٪ می‌باشد. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه خشک و سرد می‌باشد.

برروی عملکرد گیاه در مقیاس منطقه‌ای بسیار موفقیت‌آمیز بوده است. فرضیه اصلی این مدل مرتبط سازی کاربرد تبخیرتعرق مرجع و داده‌های حرارتی سطح زمین است. فرمولاسیون اصلی این مدل بر مبنای به‌کارگیری داده‌های حرارتی در مناطق کشاورزی-هیدرولوژیکی نظیر حوضه‌های آبی که در آن‌ها ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی تاثیر اندکی بر مقدار ET دارد انجام شده است (Senay et al., 2007). برخلاف مدل SEBAL، در این مدل محاسبه تبخیرتعرق براساس اطلاعات هواشناسی ساده‌تری انجام می‌گرفت که بر مبنای فرضیه تغییرات خطی شار گرمای نهان و تغییرات سطح می‌باشد. براساس این گزارش محاسبه تبخیرتعرق از طریق کسر تبخیرتعرق براساس میانگین دمای پیکسل‌های سرد و گرم انجام می‌شود (Senay et al., 2007). پیکسل گرم اشاره به مناطق بدون پوشش گیاهی و یا دارای پوشش گیاهی پراکنده با مقدار ET کمتر دارد و پیکسل سرد نشان‌دهنده بیشترین مقدار تبخیرتعرق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و باید در مناطق آبیاری شده و یا دارای پوشش گیاهی متراکم باشد (Senay et al., 2007 and Allen et al., 2002). این روش همبستگی بالایی با نتایج حاصل از مدل‌های SEBAL و METRIC دارد. در مقایسه برآوردهای به‌دست آمده از مدل‌های SEBAL و SSEB در مزرعه کتان در Ceará برزیل از ۷ تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ در طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۸ استفاده شد. مدل SSEB به دلیل عدم استفاده از داده‌های هواشناسی در محاسبه بیلان انرژی و تنها استفاده از دمای میانگین در تعیین پیکسل‌های سرد و گرم که فرآیند ساده‌تری را نسبت به مدل SEBAL داشته است، به عنوان یک ابزار کلیدی در آنالیز مقدار تبخیرتعرق در مناطق نیمه خشک معرفی شد (Bezerra et al., 2015). مدل بیلان انرژی دو منبعی TSEB در سال ۱۹۹۵ توسعه داده شد و سپس در سال ۱۹۹۷ اصلاح شد (Kustas and Norman, 1977, Kustas et al., 2013). در بررسی‌هایی که بر روی مقایسه مدل تک‌منبعی و دو منبعی در شمال چین انجام گرفت، هر دو مدل نتایج قابل قبولی را از خود نشان دادند. اما مدل دومنبعی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی با خطای بیشتری رو به رو بود (Tang et al., 2013). در بررسی عملکرد مدل دو منبعی TSEB در مناطق مختلف با پوشش‌های گیاهی متفاوت، این مدل برای برآورد تبخیرتعرق مرجع در کلیه شرایط اتمسفری و پوشش‌های گیاهی متفاوت، مناسب معرفی شده است (French et al., 2005). در بررسی‌هایی که بر روی مقایسه مدل تک‌منبعی و دو منبعی در منطقه شمال چین انجام شد، هر دو مدل نتایج قابل قبولی را نشان دادند. اما مدل دومنبعی در مقایسه با اندازه‌گیری‌های زمینی با خطای



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان مرکزی - اراک

$$ETP = P + I - D \pm \Delta W \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن ETP: آب مصرفی پتانسیل (mm)، P: میزان بارندگی (mm)، I: میزان آب آبیاری (mm)، D: میزان آب زهکشی (mm)،  $\Delta W$ : تغییرات رطوبت خاک داخل لایسیمتر هستند.

#### تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزارهای مورد استفاده

با توجه به اینکه در برآورد تبخیر تعرق پیوستگی زمانی و مکانی بسیار با اهمیت است و سنجنده MODIS هر دو روز یکبار یک تصویر ارائه می‌دهد (جدول ۱)، تصاویر این سنجنده از پیوستگی زمانی مناسبی برخوردار هستند و لندست ۷ نیز به دلیل کیفیت بالای تصاویر و رزولوشن مناسب (جدول ۱)؛ توانایی برداشت و انتخاب مناسب‌تر پیکسل‌های سرد و گرم را فراهم می‌آورد و بنابراین این سنجنده ویژگی پیوستگی مکانی را نیز تامین می‌کند.

به منظور اعتبارسنجی نتایج الگوریتم‌های مورد بررسی، از مقادیر تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده گیاه مرجع یونجه با استفاده از یک لایسیمتر زهکش‌دار با ابعاد  $2 \times 1$  و عمق  $1/2$  متر به مدت چهارسال زراعی در ایستگاه اراک (طول جغرافیایی  $49/75$  درجه شرقی و عرض جغرافیایی  $34/12$  درجه شمالی) وابسته به مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی استفاده شد. شرایط رشد گیاه در طول چهار سال آزمایش طی هفت دوره (فروردین تا آخر مهر) از سال  $1380$  تا سال  $1383$  به ترتیب  $1343/8$ ،  $1364/5$ ،  $1324/2$  و  $1326/4$  میلی‌متر بوده که به طور میانگین  $1336/7$  میلی‌متر شده است. در طول فصل زراعی آب آبیاری شده و زه‌آب خروجی توسط ظروف مدرج اندازه‌گیری و آمار آن ثبت گردید. با استفاده از معادله بیلان آبی زیر میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شد.

جدول ۱- مشخصات سنجنده‌های مورد بررسی (منبع سایت earth explorer)

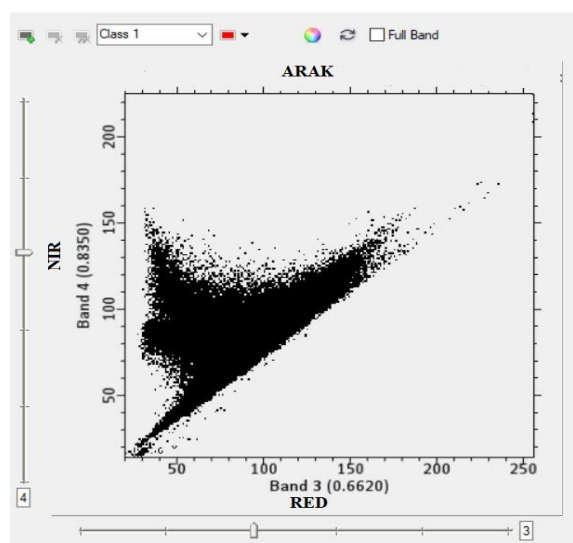
ماهواره	نام سنجنده	تعداد باند	قدرت تفکیک مکانی (m)	قدرت تفکیک زمانی (day)
Terra	Modis	۱-۲	۲۵۰	۲
		۳-۷	۵۰۰	۲
		۸-۳۶	۱۰۰	۲
Landsat	ETM+	۷ و ۱-۵	۳۰	۱۶
		۶	۶۰	۱۶
	TM	۸	۱۵	۱۶
		۷ و ۱-۵	۳۰	۱۶
		۶	۱۲۰	

در رابطه فوق  $L$  معیاری برای تصحیح اثرات خصوصیات طیفی خاک و مقدار بازتابندگی آن می‌باشد. بنابراین تراکم پوشش گیاهی در مقدار  $L$  اثرگذار خواهد بود که مطابق دستورالعمل SEBAL مقادیر آن از صفر تا یک پیشنهاد می‌گردد (Bastiaanssen *et al.*, 2002). به‌طور کلی  $L$  فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاکی می‌باشد که دامنه آن بین صفر برای پوشش گیاهی متراکم و یک برای خاکی که پوشش گیاهی آن صفر است، متغیر می‌باشد. هیوت در سال ۱۹۸۴ با هدف حداقل کردن اثرات خاک زمینه در بازتاب پوشش گیاهی این شاخص را پیشنهاد کرد که هدف از ایجاد این شاخص، حذف اثر تیرگی خاک می‌باشد (Huete *et al.*, 1984). و براساس روابط ۴ و ۵ محاسبه می‌شود (Qi *et al.*, 1994).

$$L = 1 - 2 \cdot a \cdot NDVI \cdot WDV \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$WDV = \rho_{NIR} - \gamma \rho_{RED} \quad (\text{رابطه ۵})$$

ضریب  $a$  برابر  $1/6$  می‌باشد و  $WDV$  از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.



شکل ۲. تعریف و تعیین ضریب خط خاک از ترکیب باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز در لندست ۷ در تاریخ ۲۴ شهریور ۱۳۸۱

که در آن  $\gamma$  ضریب خط خاک است که در واقع شیب خط برازش داده شده بر نمودار طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است که در نمودار شکل (۲) نشان داده شده است (Wenjing, 2006). در تاریخ مورد بررسی در شکل (۲) شیب به‌دست آمده برابر با  $0.93$  بود که در این تاریخ، با توجه به پایان دوره کشت و کاهش تراکم پوشش گیاهی، پارامتر  $L$  به سمت ۱ متمایل شده است. برای برآورد SAVI در منطقه تحقیقاتی آیداهو مقدار  $L = 0.5$  مناسب دانسته شده است (Bastiaanssen *et al.*, 2002).

در این پژوهش از ۲۸ تصویر بدون ابر و روزانه از سنجنده MODIS، ۱۶ تصویر از سنجنده TM از ماه فروردین تا مهر استفاده شده است. از این رو تعداد و تاریخ تصاویر مورد ارزیابی بسته به شرایط آب و هوایی زمان برداشت و تاریخ گذر ماهواره از منطقه یکسان نیستند.

### شاخص‌های مشترک در الگوریتم‌های چهارگانه بیلان انرژی

#### شاخص NDVI

یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی است (Binh *et al.*, 2005) که از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید (Alavi Panah, 2005). واکنش به اعمال فتوسنتزی را به‌خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است (Rafiee *et al.*, 2012). در این شاخص فرض بر این است که ناحیه تحت بررسی دارای نوع خاک یکسانی است، بنابراین، اگر این فرض صادق نباشد ناهمسانی انواع خاک بر روی نتایج حاصل از NDVI تأثیر خواهد گذاشت و نتایج نادرستی حاصل خواهد شد. ارزش عددی این شاخص بین اعداد  $+1$  و  $-1$  در نوسان است و ثابت شده که هر چه به عدد  $+1$  نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد (Bagheri *et al.*, 2012).

رابطه (۲) 
$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$
 که در سنجنده‌های مختلف باندهای مربوط به طول موج قرمز و مادون قرمز متفاوت می‌باشد.

#### شاخص SAVI

در مناطق با پوشش گیاهی نامتراکم بازتابش نور در طیف قرمز و مادون قرمز نزدیک از سطح خاک، می‌تواند مقدار شاخص NDVI را تحت تأثیر قرار دهد. SAVI یا شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به عنوان اصلاح‌کننده شاخص NDVI در مناطق با پوشش گیاهی تنگ توسعه داده شده است. از اهداف این شاخص می‌توان در به حداقل رساندن اثرات خاک در پس زمینه بر روی سیگنال‌های گیاهی بوسیله ترکیب کردن فاکتور تنظیم‌کننده خاک ( $L$ ) با مخرج معادله NDVI می‌باشد (Alavi Panah, 2011). از دیگر دلایل استفاده از این شاخص اینست که خطوط همپوش گیاهی (Isovegetation) موازی نیستند و اینکه به‌طور کامل یک نقطه را پوشش نمی‌دهند. شاخص پوشش گیاهی با انعکاس خاک، یک شاخص عالی برای محیط‌های با پوشش کم می‌باشد (Rahmani *et al.*, 2011).

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} (1 + L) \quad (\text{رابطه ۳})$$

می‌باشد (J/Kg).

$$\lambda = [2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) \times T_a] \times 10^6 \quad (\text{رابطه ۹})$$

$T_a$ : دمای هوا (C) است.

### کسر تبخیر تعرق مرجع

به عنوان نسبت تبخیر تعرق لحظه‌ای ( $ET_{inst}$ ) هر پیکسل برای

تبخیر تعرق مرجع ( $ET_r$ ) از داده‌های هوایی به دست می‌آید:

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

$ET_r$ : تبخیر و تعرق ساعتی گیاه مرجع چمن (به روش پنمن مانتیث استاندارد شده) می‌باشد.

### تبخیر تعرق روزانه

به طور کلی تبخیر تعرق روزانه کاربردی‌تر از تبخیر تعرق لحظه‌ای می‌باشد که از تصاویر ماهواره‌ای استنتاج می‌گردد.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r24} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

که در آن  $ET_{r24}$ : تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع چمن (به روش پنمن مانتیث استاندارد شده) می‌باشد.

روش پنمن مانتیث استاندارد شده برای محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل

در این تحقیق  $ET_r$  تبخیر تعرق مرجع ساعتی بوده و از رابطه روش پنمن مانتیث استاندارد شده برآورد می‌گردد.

$$ET_{ref} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d u_2)} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

که در آن تبخیر تعرق مرجع برآورد شده از معادله پنمن مانتیث استاندارد شده ( $\Delta$ , (mm/day): شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما ( $R_n$ , (/Kpa°C): تابش خالص رسیده به زمین ( $G$ , (MJ/m<sup>2</sup>/day): شار گرمای خاک ( $\gamma$ : ثابت ( $T_a$ , (/Kpa°C): متوسط دمای روزانه هوا (Kpa) می‌باشد. و  $C_d$  و  $C_n$  ضرایبی هستند که بسته به نوع گیاه مرجع و زمان انجام محاسبات (ساعتی یا روزانه) متغیر هستند. مقادیر ضرایب  $C_d$  و  $C_n$  با کمک جدول (۲) انتخاب می‌شود.

جدول ۲- مقادیر  $C_n$  و  $C_d$  (Allen et al., 1998)

گام زمانی	تبخیر تعرق گیاه مرجع				واحد تبخیر تعرق محاسباتی	واحد $G$ و $R_n$
	گیاهان کوتاه		گیاهان بلند			
	$C_n$	$C_d$	$C_n$	$C_d$		
روزانه	۹۰۰	۰/۳۴	۱۶۰۰	۰/۳۸	Mm/day	MJ/m <sup>2</sup> /day
ساعتی (در طول روز)	۳۷	۰/۲۴	۶۶	۰/۲۵	mm/day	MJ/m <sup>2</sup> /day
ساعتی (در طول شب)	۳۷	۰/۹۶	۶۶	۱/۷	mm/day	MJ/m <sup>2</sup> /day

### شاخص سطح برگ

تخمین ویژگی‌های ساختاری پوشش گیاهی نظیر شاخص سطح برگ یک قدم مهم در تعیین مقدار آب مصرفی در گیاهان مختلف است (Farid Hoseini et al., 2012). این شاخص نشان‌دهنده نسبت کل برگ‌های گیاه به سطح زمین پوشانده شده توسط گیاه است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$LAI = \frac{-(\ln(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}))}{0.91} \quad (\text{رابطه ۶})$$

شاخص سطح برگ در گیاهان مختلف بین ۲ الی ۶ متغیر است (Reichenau et al., 2016).

### مدل‌های بیلان انرژی

#### مدل SEBAL

مدل SEBAL یا مدل بیلان انرژی روی سطح زمین از پرکاربردترین و مهم‌ترین روش‌های باقی‌مانده بیلان انرژی می‌باشد. در این روش اندازه‌گیری باندهای مادون قرمز حرارتی، مادون قرمز نزدیک و مرئی به عنوان ورودی مولفه‌های معادله بیلان انرژی در محاسبه تبخیر تعرق ارائه می‌شود که در واقع در این روش شار گرمای نهان که به مصرف تبخیر تعرق می‌رسد، بر اساس مقدار باقیمانده انرژی از معادله زیر تعیین می‌گردد (Bastiaanssen et al., 1995).

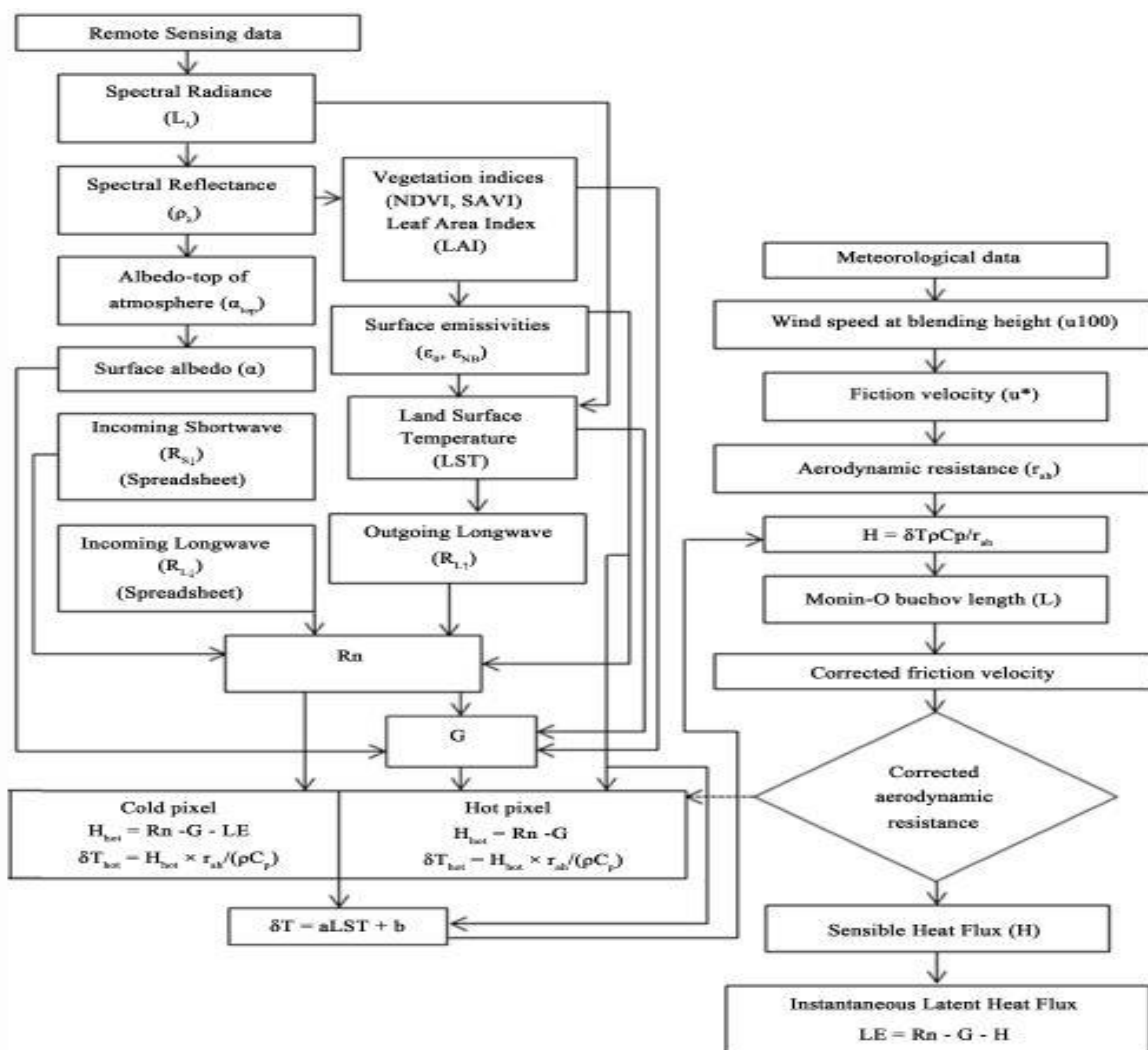
$$\lambda E = R_n - G - H \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این معادله  $\lambda E$  شار گرمای نهان ( $\frac{W}{m^2}$ )،  $R_n$  شار تابش خالص ( $\frac{W}{m^2}$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $\frac{W}{m^2}$ ) و  $H$  شار گرمای محسوس ( $\frac{W}{m^2}$ ) می‌باشد.

#### تبخیر و تعرق لحظه‌ای

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda E T}{\lambda} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$ET_{inst}$ : تبخیر تعرق لحظه‌ای (mm/hr)، برای تبدیل ثانیه به ساعت از ضریب ۳۶۰۰ استفاده می‌شود و  $\lambda$ : گرمای نهان تبخیر و یا گرمای جذب شده در زمانی که ۱ کیلوگرم آب تبخیر می‌شود



شکل ۳- فلوچارت روند محاسبه تبخیرتعرق با استفاده از الگوریتم سبال (Bastiaanssen et al., 2002)

### مدل SSEB

مراحل محاسبه شار گرمای نهان در مدل SSEB (Senay et al., 2007) مشابه مدل SEBAL (شکل ۳) بوده و از معادله (۷) تبعیت می‌کند و تفاوت این دو مدل در تعداد پیکسل‌های سرد و گرم می‌باشد. در مدل SEBAL با فرض خطی بودن اختلاف دمای سطح زمین و دمای هوا در نزدیک زمین مقدار شار گرمای محسوس محاسبه می‌شود درحالی‌که شار گرمای محسوس به-عنوان تابعی از اختلاف دمای سطح زمین در حال تغییر است و این رابطه براساس دو پیکسل مشخص به نام پیکسل‌های سرد و گرم نشان داده می‌شود با این فرض که در پیکسل گرم مقدار شار گرمای نهان برابر صفر و در پیکسل سرد به حداکثر مقدار خود می‌رسد (Bastiaanssen, 1998)، اما در مدل SSEB فرض خطی بودن اختلاف دمای بین سطح خاک و دمای هوا در نظر گرفته

نشده است. به‌طوریکه در مدل SSEB در گام اول به شناسایی سه پیکسل سرد و سه پیکسل گرم در هر تصویر از سنجنده پرداخته و سپس میانگین دمای هر یک برای برآورد دمای رادیومتریکی سطح محاسبه می‌شود. مانند مدل SEBAL پیکسل‌های سرد از مزارع کاملاً آبیاری شده با مقدار NDVI بالا و با کمترین مقدار دمای روشنایی و از سوی دیگر پیکسل گرم در تصویر از مزارع بدون پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی اندک با دمای رادیومتریکی بالا و مقدار NDVI خیلی کم انتخاب می‌شوند. با فرض اینکه پیکسل‌های سرد و گرم به‌ترتیب دارای کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار تبخیرتعرق در منطقه مورد مطالعه هستند، بنابراین از دمای پیکسل‌های سرد و گرم می‌توان در محاسبه کسر تبخیرتعرق برای هر پیکسل در تصویر استفاده کرد (Senay et al., 2007). در گام دوم کسر تبخیرتعرق (ETf) برای هر پیکسل



$$R_n = (1-\alpha)R_{s\downarrow} + R_L\downarrow - R_L\uparrow - (1-\varepsilon_0)R_L\downarrow \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

$R_{s\downarrow}$ : تابش با طول موج کوتاه ورودی (۳-۰ میکرومتر) و  $R_L\downarrow$ : تابش با طول موج بلند (۱۰۰-۳ میکرومتر) ( $\frac{W}{m^2}$ )،  $R_L\uparrow$ : تابش با طول موج بلند (۱۰۰-۳ میکرومتر) ( $\frac{W}{m^2}$ )،  $\alpha$ : بازتابش سطح زمین (آلبیدوی سطحی) (-) و  $\varepsilon_0$ : گسیل مندی حرارتی سطحی باند پهن (-) هستند.

#### شار گرمای خاک

انتقال گرما در خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است. از آنجا که فرآیند محاسبه مستقیم مقدار شار گرمای خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشکل است، در روش سبال ابتدا نسبت  $G/R_n$  در نیمه روز، با استفاده از معادله تجربی ارائه شده توسط باستیانسن (۲۰۰۰) به صورت زیر محاسبه می‌شود (Bastiaanssen, 2002)

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

که در آن  $T_s$ : دمای سطح زمین (K)، و  $\alpha$ : آلبیدوی سطح (-) می‌باشد. در جدول (۲) نسبت  $G/R_n$  برای سطوح مختلف ارائه شده است.

جدول ۳- نسبت  $G/R_n$  برای سطوح مختلف (Bastiaanssen et al., 2002).

نوع سطح	آب عمیق	برف	کوپر	مناطق کشاورزی	خاک بدون پوشش گیاهی	دارای پوشش گیاهی متراکم با گیاه آلفا آلفا	سنگ
$G/R_n$	۰/۵	۰/۵	۰- ۲/۴	۰- ۵/۱۵	۰- ۵/۱۵	۰/۰۴	۰- ۲/۶

$$H = \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \quad (\text{رابطه ۱۷})$$

که در آن  $\rho$ : چگالی هوا ( $kg/m^3$ )،  $C_p$ : گرمای ویژه هوا ( $J/Kg/K$ )،  $dT$ : اختلاف دما ( $T_1 - T_2$ ) میان دو ارتفاع  $Z_1$  و  $Z_2$  (K)،  $r_{ah}$ : مقاومت آیرودینامیکی به انتقال دما (S/m) می‌باشد.

#### پیکسل‌های سرد و گرم

در فرآیند مدل SEBAL و SSEB از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله بیلان انرژی استفاده می‌شود. این دو پیکسل شاخص، تحت عنوان پیکسل‌های سرد و گرم نامیده می‌شوند و در منطقه مورد مطالعه قرار دارند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک به سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود. انتخاب این دو پیکسل به مهارت و تمرین نیاز

طبق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$ET_r = \frac{T_H - T_X}{T_H - T_C} ET_f = \frac{T_H - T_X}{T_H - T_C} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

که در آن:  $T_C$  و  $T_H$  میانگین دمای رادیومتریکی سطح در پیکسل‌های سرد و گرم و  $T_X$  دمای رادیومتریکی سطح در هر پیکسل تصویر است. در گام سوم، تبخیر تعرق واقعی هر پیکسل در تصویر از معادله (۹) برآورد می‌شود.

$$ET_a = ET_f \times k ET_r \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$ET_r$ : تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm/day) است که از معادله استاندارد تبخیر تعرق مرجع (ASCE) محاسبه می‌شود.  $k$  یک ضریب که تبخیر تعرق مرجع گیاه چمن را به ماکزیمم مقدار تبخیر تعرقی که گیاه با مقاومت آیرودینامیکی بالا داشته است، می‌رساند. مقدار  $k=1.2$  پیشنهاد شده است که در این تحقیق نیز تخمین مقدار مدنظر قرار گرفته است (Bastiaanssen et al., 2005).

#### شار تابش تابش خالص

تابش خالص خورشید بر اساس اصل بقای انرژی تعیین می‌شود (Bastiaanssen, 2002) که مطابق آن مجموع انرژی تابشی ورودی و خروجی از سطح زمین برابر با میزان تابش خالص است:

#### شار گرمای محسوس H

شار گرمای محسوس تابعی از گرادیان دما، زبری سطح و سرعت باد است. چگالی هوا با توجه به نقشه ارتفاعی و دمای سطحی برای هر پیکسل محاسبه می‌شود. در روش SEBAL حل معادله (۱۷) به دلیل وجود دو پارامتر مجهول  $r_{ah}$  و  $dT$  بسیار دشوار است. برای راحتی محاسبات از دو پیکسل ثابت (با احتساب مقادیر قابل اعتمادی برای  $H$  و  $dT$  و سرعت باد در ارتفاع مورد نظر) استفاده می‌شود. بنابراین ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌شوند؛ یکی از پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای است که به طور کامل پوشیده از پوشش گیاهان آبیاری شده است. دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک دمای هواست و تبخیر تعرقی معادل تبخیر تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نامیده می‌شود، زمین کشاورزی و بدون پوشش گیاهی و خشک است. در این الگوریتم  $H$  براساس یک تابع آیرودینامیک تخمین زده می‌شود:

(۲۱) رابطه  
 $LE=LE_c+LE_s$   
 در روابط فوی اندیس‌های s و c به ترتیب نمایانگر جزء خاک (Soil) و پوشش گیاهی (Crop) هستند.

### شاخص‌های آماری

با هدف مقایسه نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های بیلان انرژی با مقادیر مشاهداتی از لایسیمتر در منطقه مورد مطالعه از آماره‌هایی متداول همچون میانگین خطای مطلق، میانگین جذر مربعات خطا<sup>۲</sup> و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده<sup>۳</sup>، خطای استاندارد<sup>۴</sup>، خطای اریب میانگین<sup>۵</sup> و ضریب همبستگی<sup>۶</sup> استفاده شده است. علاوه بر این موارد، با هدف بررسی یکسان بودن برآوردهای به دست آمده از مدل‌های سنجش از دوری از آزمون T-Test استفاده شد که صحت‌سنجی برای سنجنده‌های MODIS و ETM+ در سطح معنی داری ۹۵٪ صورت گرفت تا احتمال تصادفی بودن نتایج بدست آمده بررسی گردد.

$$MAE=N^{-1} \sum_{i=1}^n (ET(Mod)_i - ET(Obs)_i) \quad (\text{رابطه } ۲۲)$$

(رابطه ۲۳)

$$MBE = \sum_{i=1}^n (ET(Mod)_i - ET(Obs)_i)$$

$$RMSE = [N^{-1} \sum_{i=1}^n (ET(Mod)_i - ET(Obs)_i)^2]^{1.5} \quad (\text{رابطه } ۲۴)$$

$$SE = (N-2)^{-1} [ \sum_{i=1}^n (ET(Mod)_i - \overline{ET(Mod)})^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n (ET(Obs)_i - \overline{ET(Obs)})(ET(Mod)_i - \overline{ET(Mod)})^2}{\sum_{i=1}^n (ET(Obs)_i - \overline{ET(Obs)})^2} ] \quad (\text{رابطه } ۲۵)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (ET(Obs)_i - \overline{ET(Obs)})(ET(Mod)_i - \overline{ET(Mod)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET(Obs)_i - \overline{ET(Obs)})^2 \sum_{i=1}^n (ET(Mod)_i - \overline{ET(Mod)})^2}} \quad (\text{رابطه } ۲۶)$$

تبخیرتعرق مرجع نیز برای دوره‌های ماهانه با استفاده از روش بیلان آبی به مدت ۴ سال زراعی در ۷ ماهه اول سال (فروردین تا مهر) اندازه‌گیری شد. از آنجا که در آغاز فصل کشت (فروردین ماه) سطح خاک بدون پوشش گیاهی بوده مقدار SAVI براساس فاکتور L با کاهش رو به رو بوده است، در طی سال‌های مورد بررسی (۸۰-۸۳) ماه فروردین به دلیل آغاز کشت ابتدای دوره رشد و جوانه‌زنی گیاه، کمترین میزان تبخیرتعرق (۱۰۳/۵، ۱۰۹/۷، ۱۱۰/۱ و ۱۰۴/۷ میلی‌متر بر ماه) را به خود اختصاص داده است و در مقابل در ماه تیر در سه سال ابتدایی و در مرداد ماه در سال چهارم، به ترتیب با مقدار ۲۸۳، ۲۷۱/۶، ۲۸۸/۹ و ۲۷۹/۵ میلی‌متر بر ماه بیشترین مقدار تبخیرتعرق را شاهد

دارد. برای تعیین پیکسل سرد و گرم لازم است که تصاویر طبقه‌بندی شود که برای این کار از یک سیستم خبره به نام DECISION TREE در نرم افزار ENVI استفاده می‌شود که با استفاده از این سیستم تصمیم‌گیری خبره و براساس شروطی که برای پیکسل‌های سرد و گرم وجود دارد پیکسل‌های واجد شرایط انتخاب می‌شود. در مدل SEBAL کیفیت محاسبات ET به انتخاب دقیق این دو پیکسل وابسته است ( Bastiaanssen, 2002).

### مدل دو منبعی TSEB

مدل TSEB از جمله مدل‌های مطرح در بین مدل‌های دو منبعی است که در آن خاک و گیاه را به عنوان دو منبع جداگانه مورد بررسی قرار می‌دهد. اساس این مدل در برآورد شار انرژی، معادله بیلان انرژی می‌باشد.

$$LE = R_n - G - H \quad (\text{رابطه } ۱۸)$$

در رابطه فوق LE شار گرمای نهان،  $R_n$  تابش خالص، G شار گرمای خاک و H شار گرمای محسوس می‌باشد. در مدل دو منبعی مذکور، به غیر از G، تمامی اجزاء فوق برای دو بخش خاک و پوشش گیاهی به صورت مجزا برآورد می‌شود؛ که بر این اساس روابط زیر برقرار است.

$$R_n = R_{n,c} + R_{n,s} \quad (\text{رابطه } ۱۹)$$

$$R_n = R_{n,c} + R_{n,s}$$

$$H = H_c + H_s \quad (\text{رابطه } ۲۰)$$

که  $ET(Mod)$  تبخیرتعرق برآورد شده از هر یک از مدل‌های بیلان انرژی و  $ET(Obs)$  تبخیرتعرق مشاهداتی از لایسیمتر  $\overline{ET(Obs)}$  میانگین تبخیرتعرق برآورد شده از لایسیمتر و  $\overline{ET(Mod)}$  میانگین تبخیرتعرق برآورد شده از هر یک از مدل‌های بیلان انرژی می‌باشد.

### نتایج و بحث

#### محاسبات و اندازه‌گیری‌های مربوط به لایسیمتر

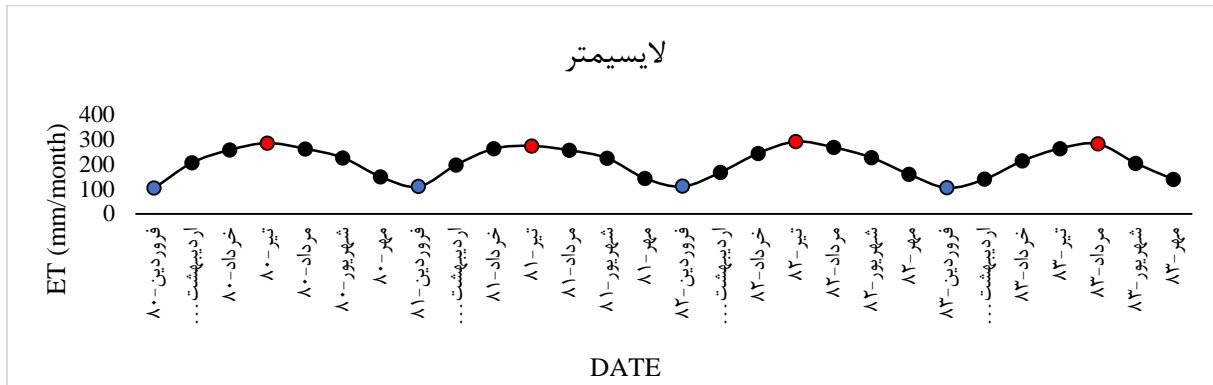
در این تحقیق برای تعیین میزان تبخیرتعرق گیاه یونجه در شرایط استاندارد از لایسیمتر زهکش‌دار واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی استان مرکزی استفاده گردید. همچنین میزان

4. Standard Error  
 5. Min Bias Error  
 6. Correlation factor

1. Min Absolute Error  
 2. Rot Mean Square Error  
 3. NRMSE

داده شده است. به طور کلی در بررسی‌های انجام شده در دوره کشت گیاه در طول سال‌های زراعی ۸۰-۸۳ بیشترین مقدار تبخیر تعرق مرجع در بین سال‌های مورد بررسی در تیرماه سال ۱۳۸۲ با مقدار ۲۸۸/۹ میلی‌متر بر ماه بوده است. بالا بودن دمای هوا و نیز عدم بارش در این ماه باعث افزایش تبخیر تعرق شده است. همچنین کمترین مقدار تبخیر تعرق ۱۰۳/۵ میلی‌متر در ماه برای فروردین ماه سال ۱۳۸۰ برآورد شده است.

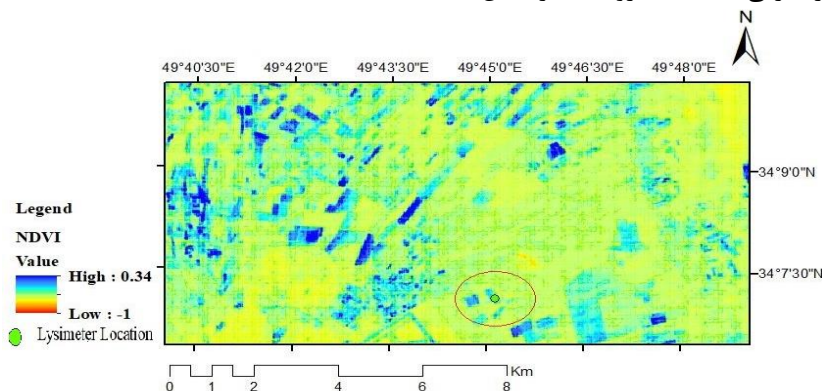
هستیم. این می‌تواند به دلیل بلوغ و رشد کامل گیاه باشد. با افزایش نمایه سطح برگ، نیاز آبی افزایش یافته و سهم تعرق در تبخیر تعرق بر تبخیر پیشی گرفته و با افزایش تراکم پوشش گیاهی مقدار L روبه کاهش است و در نهایت مقدار SAVI افزایش می‌یابد. سینوسی بودن نمودار تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر (شکل ۴)، انطباق خوبی را با تغییرات دمای هوا و کوتاه شدن ارتفاع یونجه نشان می‌دهد. در این شکل ماکزیمم مقدار تبخیر تعرق با علامت قرمز و مینیمم مقدار آن با رنگ آبی نشان



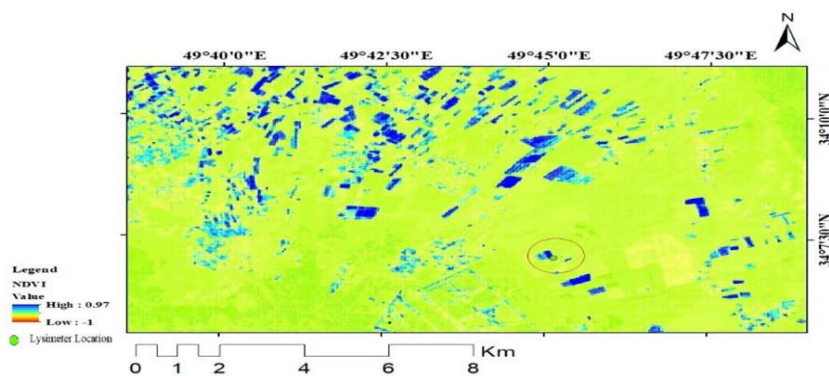
شکل ۴. تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده بوسیله لایسیمتر در مقیاس ماهانه در خلال چهار سال زراعی (۸۰-۸۳)

طی این دوره در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقدار این شاخص طی دوره رشد با افزایش پوشش گیاهی سبز افزایش می‌یابد. در مقایسه‌ای که بین میزان تبخیر تعرق به دست آمده از لایسیمتر و عوامل گیاهی تاثیرگذار بر آن انجام شد نیز این موضوع اثبات کننده این مطلب است که با افزایش NDVI و LAI و همچنین بلوغ شدن گیاه در مرحله کشت، میزان تعرق از سطح افزایش یافته است.

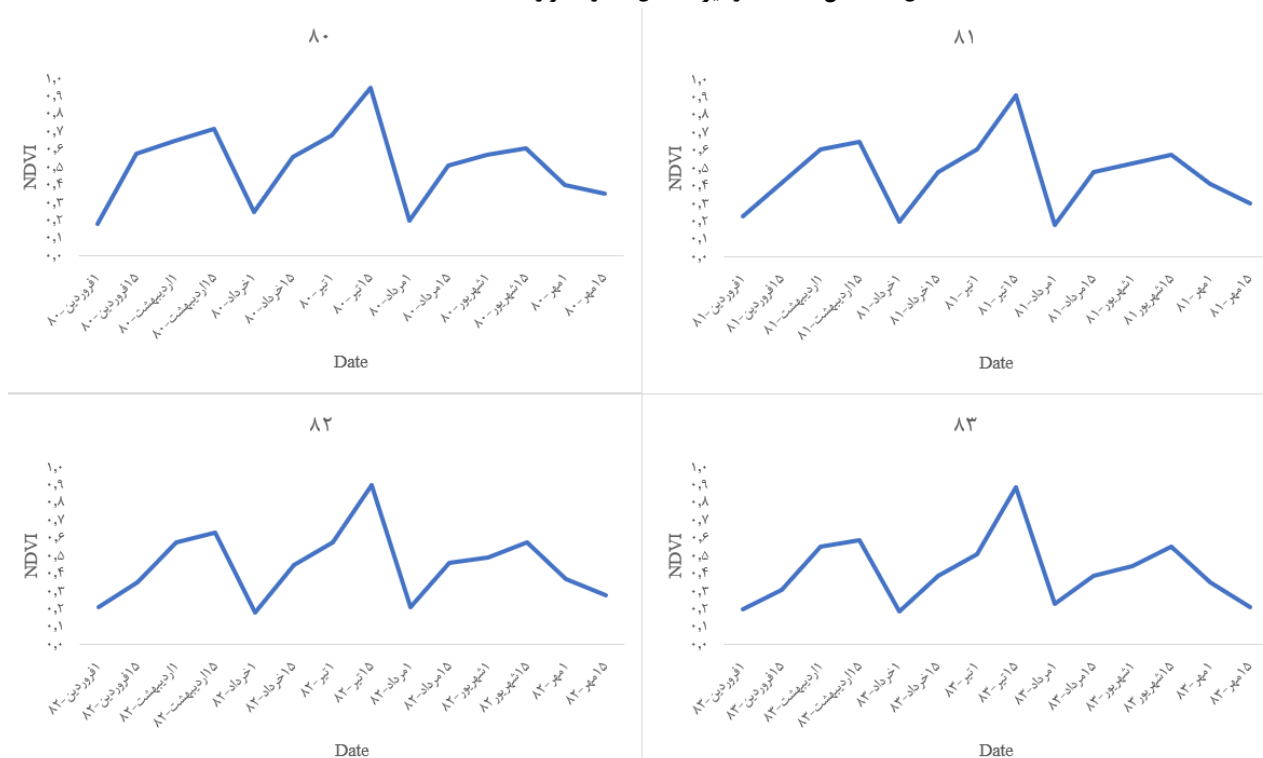
وضعیت پوشش گیاهی تاثیر تمامی عوامل از قبیل بارش، رطوبت خاک و فعالیت‌های کشاورزی را نشان می‌دهد. بر این اساس در طی اجرای مراحل، مقدار شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالا و کیفیت مناسب تصاویر، محاسبه شد، به این صورت که این شاخص برای روزهای تصویربرداری در کل منطقه مطالعاتی محاسبه و پس از میان‌گیری به منزله نماینده ماه مورد نظر معرفی شده است. روند تغییرات آن



شکل ۵. شاخص NDVI در فروردین ماه سال ۸۱ در ماهواره لندست ۷



شکل ۶. شاخص NDVI در تیرماه سال ۸۱ در ماهواره لندست ۷



شکل ۷. نمودار مقادیر شاخص NDVI در منطقه مورد بررسی در دوره کشت در سال‌های زراعی ماهواره MODIS

گیاهی چند ساله است و در طول دوران رشد و در هر سال زراعی چندین بار برداشت می‌شود، چین اول ۷۸ روز پس از کاشت و چین دوم ۵۷ روز بعد از چین اول صورت می‌گیرد، بنابراین در یک سال زراعی به‌طور ناگهانی مقدار شاخص‌های گیاهی NDVI در ماه‌های خرداد و مرداد به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. در تصاویر مورد بررسی به‌دلیل در بررسی سالانه رشد گیاه یونجه در سال اول دارای بالاترین مقدار NDVI بوده است و در سال‌های بعدی با مقدار NDVI کاهش همراه بوده است؛ که این می‌تواند به دلیل افزایش سن گیاه و نیز کاهش سبزیگی و در نتیجه کاهش مقدار فتوسنتز باشد و در نهایت با کاهش تراکم پوشش گیاهی و مقدار شاخص NDVI همراه است.

با توجه به قدرت تفکیک مکانی و پیوستگی تصاویر لندست ۷، تصاویر این سنجنده در بررسی تغییرات L براساس

طبق نمودارهای شکل (۷)، در بررسی شاخص NDVI، سنجنده MODIS به دلیل تعدد تصاویر مورد بررسی و به عبارت دیگر پیوستگی زمانی بالای این سنجنده در دوره کشت گیاه مرجع در ماه‌های مورد بررسی را به خوبی نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده از پیکسلی که لایسیمتر در آن قرار دارد، نمودارهای مورد بررسی در ماه فروردین به دلیل کاشت بذر و رشد ابتدایی گیاه مرجع، حداقل میزان NDVI را نشان می‌دهد و با رشد گیاه و افزایش میزان LAI و افزایش سطح برگ گیاه، میزان NDVI در منطقه تقویت شده است. پوشش گیاهی براساس شاخص گیاهی NDVI نشان داد که در ابتدای دوره کشت به دلیل جوانه‌زنی و تنک بودن پوشش گیاهی این شاخص در پایین‌ترین حد خود قرار دارد و به ترتیب با افزایش دمای هوا و پوشش گیاهی این شاخص رو به افزایش است. با توجه به اینکه یونجه

میلی‌متر بر روز برای L برابر با صفر بوده است. اقلیم نیمه‌خشک منطقه و پراکندگی پوشش گیاهی نیز تایید کننده این موضوع است. بنابراین مقدار L افزایش یافته و در نهایت مقدار بهینه  $L=0.6$  در برآورد مقدار SAVI برای منطقه مورد بررسی مناسب دیده شده است. Lهای بزرگ در خاک‌های تیره یا پوشش گیاهی بسیار اندک دیده می‌شود (Delgarm et al., 2015). نتایج حاصل از مقادیر تبخیر تعرق برآورد شده از الگوریتم‌های بیلان انرژی با مقادیر محاسبه شده به وسیله لایسیمتر منطقه در روزهای تصویربرداری در جدول (۵) مقایسه شد.

تراکم پوشش گیاهی و اثر آن در دقت برآورد تبخیر تعرق استفاده شد. در ابتدای دوره کشت با توجه به تنک بودن پوشش گیاهی و جوانه‌زنی گیاه مرجع، مقدار فاکتور L به سمت ۱ میل می‌کند و همچنان با افزایش پوشش گیاهی و به بلوغ رسیدن گیاه مرجع مقدار L کاهش یافته است. در بررسی نتایج، نسبت مقادیر باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک با افزایش تراکم پوشش گیاهی، شیب خط برازش شده کاهش یافته و در نهایت مقدار L نیز کاهش می‌یابد. کمترین مقدار RMSE برای L برابر با ۰/۶ به میزان ۰/۶۰ میلی‌متر بر روز و بیشترین مقدار به میزان ۱/۵۳

جدول ۴. مقایسه نتایج تبخیر تعرق واقعی حاصل از مدل SEBAL با مقادیر متفاوتی از L در مقابل لایسیمتر

ماه	Lysimeter (mm/day)	SEBAL						
		L=0	L=0.2	L=0.4	L=0.5	L=0.6	L=0.8	L=1
فروردین	۳/۳۷	۲/۳۰	۲/۴۱	۲/۷۶	۳,۰۴	۳/۲۸	۳/۲۱	۲/۵۱
RMSE		۰/۴۳	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۰۶	
اردیبهشت	۴/۴۸	۲/۲۷	۲/۵۱	۳/۳۱	۳/۵۰	۴/۲۱	۳,۸۲	۴/۰۵
RMSE		۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۴۷	۰/۴۰	۰/۱۱	۰/۲۶	۰/۱۷
خرداد	۶/۸۴	۴/۶۱	۴/۸۳	۵/۵۰	۶/۶۱	۶/۵۶	۶/۲۱	۶/۰۲
RMSE		۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۵۴	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۲۳
تیر	۸/۴۴	۶/۵۹	۶/۷۳	۷/۲۹	۷/۸۲	۷/۶۷	۶/۳۸	۵/۹۷
RMSE		۰/۷۵	۰/۶۹	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۳۱	۰/۸۴	۰/۲۱
مرداد	۹/۰۱	۶/۷۴	۶/۸۵	۷/۳۵	۸/۵۱	۸/۴۴	۸/۳۵	۷/۶۸
RMSE		۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۲۰	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۵۴
شهریور	۶/۵۴	۴/۴۱	۵/۵۱	۶/۰۱	۶/۲۴	۵/۸۳	۵/۶۴	۵/۶۱
RMSE		۰/۸۶	۰/۴۲	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۳۷
مهر	۴/۶۱	۲/۲۲	۲/۵۱	۳/۳۱	۳/۴۳	۴/۴۱	۴/۳۳	۳/۲۷
RMSE		۰/۹۷	۰/۸۵	۰/۵۳	۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۵۴

جدول ۵. مقایسه نتایج تبخیر تعرق تخمین زده شده به روش مدل‌های بیلان انرژی در سه سنجنده MODIS، ETM+ نسبت به داده برداری لایسیمتری

سنجنده	روش	P-Value	MBE (mm/day)	r (-)	RMSE	SE
					(mm/day)	(mm/day)
MODIS	SEBAL	۰/۰۴	-۱/۱۴	۰/۹۹	۱/۳۸	۰/۵۷
	SSEB	۰/۰۵	-۱/۱۸	۰/۹۹	۱/۵۶	۰/۹۸
	TSEB	۰/۰۱	-۲/۰۳	۰/۹۹	۳/۵۷	۷/۹۲
ETM+	SEBAL	۰/۰۰۲	-۰/۸۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۲۵
	SSEB	۰/۰۰۵	-۱/۱۸	۰/۹۹	۱/۴۴	۰/۸
	TSEB	۰/۰۱	-۱/۷۳	۰/۹۹	۲/۵۳	۳/۹۹

از تصاویر ماهواره‌های MODIS، Landsat7 و داده‌های هواشناسی مورد نیاز محاسبه شد. به دلیل پیچیدگی محاسبه مستقیم

تبخیر تعرق مرجع (ET<sub>0</sub>) برای سال‌های زراعی ۸۰-۸۳ به- وسیله سه الگوریتم SEBAL، SSEB و TSEB بر اساس استفاده

شارهای بیلان انرژی، برای اعتبارسنجی مقدار تبخیرتغرق محاسبه شده از داده‌های لایسیمتری استفاده شد. در بررسی‌های انجام شده بر روی الگوریتم SEBAL، در هر سه سنجنده در سطح ۹۵ درصد تمامی داده‌های برآورد شده با اندازه‌گیری‌های شاهد (لایسیمتر) تفاوت معنی‌داری دارد. میزان شاخص خطای استاندارد برای این الگوریتم کمتر از یک بوده و نشان‌دهنده نزدیک بودن و پراکندگی کم داده‌های برآورد شده نسبت به اندازه‌گیری‌های شاهد است. مقادیر منفی پارامتر MBE نیز نشان از کم برآورد بودن این الگوریتم دارد. بالا بودن کیفیت تصاویر و قدرت تفکیک مکانی بالای سنجنده‌های ETM+ و همچنین عدم وجود ابر و برف در تصاویر باعث شده تا نتایج دقیق‌تری محاسبه شده و مقدار RMSE کمتر از یک شده است (۰/۹۷ میلی‌متر بر روز). طبق نتایج آماری از میان سه الگوریتم مورد بررسی، الگوریتم SEBAL با کمترین میزان جذر خطای میانگین مربعات در هر دو سنجنده ETM+ و TERRA (۰/۹۷ و ۱/۳۸ میلی‌متر بر روز) به عنوان الگوریتم برتر در منطقه معرفی شده است. طبق نتایج جدول (۵) هر سه الگوریتم در هر دو سنجنده همبستگی بالایی با مقادیر لایسیمتری دارد. نتایج حاصل از الگوریتم دو منبعی TSEB نیز با داده‌های شاهد مورد ارزیابی قرار گرفت. تفاوت اصلی این الگوریتم با الگوریتم‌های تک‌منبعی در تفکیک و جداسازی میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه است که باعث پیچیدگی در محاسبات می‌شود. طبق شاخص‌های آماری این الگوریتم در بین الگوریتم‌های مورد بررسی ضعیف‌ترین نتایج را از خود نشان داد که بالاترین میزان جذر خطای میانگین مربعات را در بین الگوریتم‌ها و در هر دو سنجنده MODIS و ETM+ داشته است (۳/۵۷ و ۲/۵۳ میلی‌متر بر روز). به‌طور کلی مقادیر شاخص‌های آماری جدول (۵)، نشان‌دهنده وضعیت پذیرفتنی و عملکرد منطقی دو الگوریتم SEBAL و SSEB در زمینه برآورد تبخیرتغرق واقعی است و خطای پایین آن‌ها مؤید همین مطلب است. در هر دو سنجنده، هر سه مدل مورد بررسی در حالت کلی دچار فروبرآورد شده‌اند. این خطا می‌تواند به دلیل عدم دقت کافی در برآورد تبخیرتغرق گیاه مرجع باشد. دلیل دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد تاثیر رادیومتریکی پیکسل‌های مجاور پیکسل مربوط به لایسیمتر است که به دلیل تاثیر زیاد دما در برآورد تبخیرتغرق، این عامل می‌تواند تاثیر عمده‌ای از اختلافات میان مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده توجیه نماید. فرآیند اجرای الگوریتم SEBAL بر مبنای پیچیدگی مفاهیم فیزیکی از قبیل قانون تشعشعی، تصحیحات اتمسفری بر مبنای مفاهیم خرد اقلیمی مانند تئوری مونین ابوخوف، تصحیح شرایط نائباتی اتمسفری و قانون بقاء شارهای انرژی بنا شده است

(Allen et al., 2007; Iqbal, 1983 Stull, 1988). در حالیکه الگوریتم SSEB بر اساس تئوری ساده‌تر و بر مبنای انرژی حرارتی سطح زمین که در ارتباط با رطوبت خاک و شارهای اتمسفری هستند عمل می‌کند (Roerink et al., 2000, Senay et al., 2007) که در نهایت نتایج به دست آمده نیز دقت مناسب این الگوریتم را متذکر شده است. تفاوت اصلی دو الگوریتم TSEB و SEBAL در برآورد توزیع مکانی شارهای انرژی سطح، متمایز کردن اجزای بیلان انرژی سطح برای خاک و گیاه در مدل دومنبعی و تمایز این دو الگوریتم در برآورد شار گرمای محسوس دانسته شده است (Timmermans et al., 2007). الگوریتم دومنبعی ضعیف‌ترین نتایج را در میان الگوریتم‌ها از خود نشان داد. از آنجا که پایه و اساس مدل‌های بیلان انرژی ارتباط بین تشعشعات دریافتی توسط ماهواره‌ها از سطح زمین در باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی و همچنین تفاوت هیدرولوژیکی سطوح زمین را تشکیل می‌دهد. آلبیدیوی سطح، دمای سطح و شاخص پوشش گیاهی مؤلفه‌های کلیدی در این مدل‌ها هستند که به وسیله داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی قابل برآورد هستند و با به‌کارگیری برخی اطلاعات هواشناسی از جمله دمای هوا، طول ساعات آفتابی، سرعت باد، فشار بخار اشباع، رطوبت خاک و محاسبه شارهای انرژی، میزان تبخیرتغرق تعیین می‌گردد. از ضروریات مدل SEBAL می‌توان به بدون ابر بودن تصاویر اشاره کرد که با توجه به اقلیم اراک که خصوصیات اقلیمی فلات ایران را داراست، زمستان‌ها سرد و مرطوب و تابستان‌ها گرم و خشک است. به دلیل مناسب بودن ساعات آفتابی و بدون ابر بودن این منطقه، مدل SEBAL نتایج مناسبی را از خود ارائه داد. همچنین با توجه به اهمیت انتخاب پیکسل‌های سرد و گرم در اجرای مدل‌های بیلان انرژی و تاثیر به‌سزای آن‌ها در برآورد مقدار تبخیرتغرق مرجع، هرچه کیفیت و پیوستگی مکانی در تصاویر مورد بررسی بالاتر باشد نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود و در نهایت برای اجرای مدل‌های بیلان انرژی استفاده از تصاویر لندست ۷ پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق در بررسی‌هایی که بر روی فاکتور تصحیح خاک انجام شد و بر اساس نتایج شاخص آماری RMSE و همچنین نوع و پراکندگی پوشش گیاهی در منطقه مقدار مناسب فاکتور L در ماه‌هایی که گیاه به بلوغ رسیده است برای برآورد مقدار SAVI حدود ۰/۶ تخمین زده شد. دقت برآورد تبخیرتغرق دو الگوریتم تک‌منبعی SEBAL و SSEB و یک الگوریتم دو منبعی TSEB در استان اراک مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. از میان دو

خطا را به همراه داشت. تصاویر ماهواره‌های با قدرت تفکیک مکانی بالاتر، تبخیر تعرق مرجع را با دقت بهتری تخمین زدند که علت آن، انتخاب مناسب پیکسل‌های سرد و گرم می باشد، بنابراین سنجنده ETM+ مستقر بر روی ماهواره لندست به دلیل وضوح و قدرت تفکیک مکانی بالاتر در رده اول قرار می‌گیرد.

الگوریتم تک‌منبعی، الگوریتم SEBAL براساس شاخص‌های آماری نتیجه دقیق‌تری را ارائه داد و در سطح ۹۵٪ نتایج به‌دست آمده از این الگوریتم با اندازه‌گیری‌های لایسیمتری تفاوت معنی‌داری داشتند و این الگوریتم به‌عنوان الگوریتم برتر در منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. الگوریتم دو منبعی TSEB نیز بیشترین مقدار

## REFERENCES

- Abdoli, H. Eslamian, S.S. and Abedi Koohpaei, J. (2011) The use of Landsat7 satellite images and MODIS for estimating evapotranspiration through remote sensing in irrigation management. In Proceedings of 3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference (IDNC201). Faculty of Irrigation Engineering, Shahid Chamran University. (In Persian)
- Alavi Panah, K. (2005). *Remote sensing application in earth science*. Tehran University press. (In Farsi)
- Alavi Panah, K. (2011). Principles of modern remote sensing and interpretation of stellite imageries and aerial photos. (2<sup>nd</sup> ed) Tehran University press. (In Farsi)
- Allen, R. Pereira, L. Raes, D. Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). FAO-56, Pp:300. Rome.
- Allen, R. Tasumi, M. and Trezza R. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) Advanced Training and User's Manual—Idaho Implementation, Version 1.0.
- Allen, R.G. Tasumi, M. Trezza, R. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133, 380–394
- Bagheri M.H. Arshad, S. Majnooni, A. Morid, S. "Compression Remote Sensing Single Source and two Sources Models Energy Flux in the Real Evapotranspiration Estimate", *J. Rem.Sen. GIS*, 2012, Yr. 4, No. 1, Pp. 81-96, [ Persian]
- Bastiaanssen, W. Noordman, E. Pelgrum, H. Davids, G. Thoreson, B. Allen, R. (2005). SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrig. Drain.* 131, 85–93
- Bastiaanssen, W.G.M. (2002). SEBAL-Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229, 87-100
- Bastiaanssen, W.G.M. Menenti, M. Feddes, R.A. Holtslag. A.A.M. (1998). A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL), *Journal of Hydrology* 212-213, 198-212
- Bastiaanssen, W.G.M. (1995). *Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain*. Ph.D. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands, 273f...
- Bezerra, B.G. Silva, B. Santos, C. Bezerra, J. (2015). Actual Evapotranspiration Estimation Using Remote Sensing: Comparison of SEBAL and SSEB Approaches. *Journal of Advances in Remote Sensing*, Vol.4 (3), 234-247
- Binh, T.N.K.D. Vromant, N. Hung, N.T.Hens, L. Boon, E.K. (2005). "Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam" environmental change. *Journal of Trends in ecology and evolution*. 9(20).115-124
- Delgarm. S., Rahimpoor. M, Bakhtiari. B, Sayari. N, 2015. Comparison of Transpiration Evapotranspiration by Lysimus Data and SEBAL Algorithm in Kerman Plain Using MODIS Sensor Imaging. *J Soil and water research*. Vol.46. p373-383
- Farid Hoseini, A. Astarae, A. Sanaee Nejad, s.A. Mirhoseini Mosavi, P. (2012). Estimation of Leaf Area Index using IRS satellite data in Neyshabur, *Journal of the Agriculture of Iran. Ferdowsi University*. Volume 10, Issue 3. Pages 577–582. (In Persian)
- French, A. Jacob, F. Anderson, M. Kustas, W. Timmermans, W. Gieske, A. Su, Z. Su, H. McCabe, M. and Li, F. (2005). Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). *Journal of Remote Sensing of Environment*, 99: 55-65
- Huete, A. R., Post, D. F. and Jackson, R. D., 1984. Soil spectral effects and 4-space vegetation discrimination. *Journal of remote sensing of Environment*, 15:155-165.
- Iqbal, M. (1983) *an Introduction to Solar Radiation*. Academic Press, Toronto
- Kustas, W.P. Anderson, M.C, Cammalleri, C. Alfieri, J.G. (2013). Utility of a Termal-base Two- source Energy Balance Model for Estimating Surface flux over Complex Landscapes. *Journal of Procedia Enviromental science*, 19. 224-230
- Kustas, W.P. & Norman J.M. (1977). A two-source approach for estimating turbulent fluxes using multiple angle thermal infrared observations. *Journal of Water Resources Research*, 33: 1495-1508
- Landres, G. Barredo, A.O. and Lopez, J.J. (2008). Comparison of artificial neural network models and empirical and semi\_empirical equations for daily refrence evapotranspiration estimation in the Basque Country (Northern Spain). *Journal of Agriculture Management*. 95:553\_565
- Mardikis, M.G. and Kalvivas, D.P. and Kollias, V, J. (2005). Comparison of Intepolation Methods for the prediction of reference Evapotranspiration-An

- Application in Greece, *Journal of Water Resource Manage.* 19:251-278
- Mobasheri, M.R. Khavarian, H. and Moussaoui H. (2006). Error estimates of ET from Sensible Heat in the SEBAL. *National In proceedings 3<sup>rd</sup> Conference on Irrigation and Drainage network management*, Shahid Chamran University, Department of Water Engineering. (In Farsi)
- Mosaedi, A. & Ghabaei Sough, M. (2013). Evaluation of different empirical equations of the estimation of reference crop evapotranspiration in different conditions lacking measured meteorological parameters in some climatic regions of Iran *Journal of Water and Soil Conservation.* 20(3)
- Nishida, K. Nemani, R.R. Running, S.W. and Glassy, J.M. (2003). An operational remote sensing algorithm of land surface evaporation. *Journal of geophysical research*, 108: 4270
- Norman, J.M, Kustas, W.P, Humes, K.S. (1995) Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 77, 263-293.
- Omidvar, J. (2011). *Estimation of actual evapotranspiration using ASTER imagery and metric models*. Ph.D. Department of Water Engineering, Mashhad Ferdowsi University. (In Farsi)
- Qi, J. Chehbouni, A. Huete, A.R. Kerr, Y.H., (1994). Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Journal of Remote Sens Environ* 48:119-126
- Rafiee, y. Alavi Panah, K. Malek Mohammadi, B. and Ramezani Mehraban, M. (2012). Producing land cover maps using remote sensing and decision tree algorithm (Case study: Bakhtegan national park and wildlife refuge). *Journal of Geography and Environmental Planning* .47(3).93-110 (In Farsi)
- Rahimian, M.H. & Poormohammadi, S. (2012). Estimation of winter wheat actual evapotranspiration under stress condition by remote sensing data and energy balance algorithm (Case study: Azadegan plain, Khuzestan). *Journal of Water Resource Agriculture.* 4: 12-28. (In Farsi)
- Rahmani, N. Shahedi, K, Miryaghobzadeh, M. (2011). Evaluation of vegetation indices in Remote Sensing, In proceedings of *Geomatic Conference*. (In Farsi)
- Roerink, G.J. Su, Z. and Menenti, M. (2000) S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. Physics and Chemistry of the Earth—Part B. *Journal of Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25, 147-157.
- Sanaei Nejad, S.H. Noori, S. and Hasheminia, S.M. (2011). Estimation of Evapotranspiration Using Satellite Image Data in Mashhad area. *Journal of Water and Soil.* 25(3), 540-547. (In Farsi)
- Senay, G.B., Budde, M. Verdin, J.P. and Melesse, A. (2007). A Coupled Remote Sensing and Simplified Surface Energy Balance Approach to Estimate Actual Evapotranspiration from Irrigated Fields. *Journal of Sensors.* 7(6). 979-1000.
- Senay, M. Budde and J. Verdin, (2011). Enhancing the Simplified Surface Energy Balance (SSEB) approach for estimating landscape ET: Validation with the METRIC model," *Journal of Agricultural Water Management.* 98. 606–618.
- Stull, R.B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Tang, R. Li, Z.L, Sun, X. (2013). Temporal upscaling of instantaneous evapotranspiration: An intercomparison of four methods using eddy covariance measurements and MODIS data. *Journal of Remote Sensing of Environment.* 138. 102–118.
- Tasumi, M. Trezza, R. Allen, R.G. and Wright, J.L. (2005). Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. *Journal of irrigation and drainage system.* 19. 355-376.
- Timmermans, W.J. Kustas, W.P. Anderson, M.C. and French, A.N. (2007). An inter-comparison of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and the two-source energy balance (TSEB) modeling schemes. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 108: 369-384
- Wenjing, L. (2006). *Sattelite based Regional-Scale Evapotranspiration in the Hebi Plain, Northeastern China*. MSc, Geo-Information science and Earth Observation, international institute for Geo-Information science and Earth Observation Enschede, the Netherland.
- Zhou, Y. Ma, Z. Wang, L. (2002). Chaotic dynamics of the flood series in the Huaihe River Basin for the last 500 years. *Journal of Hydrology* 258.100–110.
- Su, Z. (2002). The surface energy balance system (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes Hydrology and Earth System Sciences, 6 (1) (2002), pp. 85-89