



Two-Source Energy Balance Model (TSEB) Evaluation for Evapotranspiration Partitioning of Corn under Drip Irrigation in Farm Scale

Mosayeb Moqbeli Damane¹ | Mahdi Gholami Sharafkhane² | Seyyed Hossein Sanaei Nejad³ | Mojtaba Sadegh⁴

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: mosayebmd@gmail.com

2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: mahdi.gholami39@yahoo.com

3. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: sanaein@gmail.com

4. Department of Civil Engineering, Boise State University, Boise, USA. E-mail: mojtabasadegh@boisestate.edu

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Nov. 27, 2022

Revised: Feb. 2, 2023

Accepted: Feb. 5, 2023

Published online: Feb. 20, 2023

Keywords:

Evapotranspiration Partitioning, FAO-56 dual crop coefficient, Landsat 8, Remote Sensing, TSEB.

ABSTRACT

The accurate separation of evapotranspiration components is one of the key gaps in evapotranspiration research. Knowing this variable as well as the mechanism of separating its components to determine the exact value of the components of the water balance equation in relation to planning and managing water resources, optimizing crop production, designing irrigation systems, evaluating crop performance, identifying plant stresses and the impact of drought, and also evaluating the effects of climate change is very important on the efficiency of water consumption. In this research, the efficiency of Two-Source Energy Balance (TSEB) model was evaluated to separate the components of this parameter. In this regard, the outputs of TSEB model were compared and evaluated with the outputs of the standard FAO-56 dual crop coefficient method in the corn field located in the agricultural research station of Ferdowsi University of Mashhad. For this purpose, four Landsat 8 satellite images were used between planting and harvesting corn plants in the spring and summer planting seasons of 2021. The results of this research showed that despite the closeness of two methods (TSEB and FAO-56 dual crop coefficient method with $R^2=0.94$) in terms of total values of evapotranspiration, there is a big difference between the two methods in terms of detail components ($R^2=0.46$ for transpiration and $R^2=0.75$ for evaporation). This difference can be due to the overestimation of the transpiration amount and underestimation of the evaporation amount in the dual crop coefficient method, and because the FAO-56 dual crop coefficient method estimates transpiration and evaporation values and it can be associated with some error, it cannot be said for sure that the TSEB model is not accurate enough. Also, comparing the ratio of transpiration to evapotranspiration in this research (0.77) with the results of other researchers (0.75-0.88) showed that the outputs of the TSEB model are within the permissible range and provide reliable outputs.

Cite this article: Moqbeli Damane, M., Gholami Sharafkhane, M., Sanaei Nejad, S. H., & Sadegh, M. (2023). Two-Source Energy Balance Model (TSEB) Evaluation for Evapotranspiration Partitioning of Corn under Drip Irrigation in Farm Scale, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (12), 2885-2903. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351695.669403>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351695.669403>



ارزیابی مدل سنجش از دور TSEB برای جداسازی تبخیر-تعرق ذرت در مزرعه تحت کشت آبیاری قطره‌ای

مصیب مقبلی دامنه^۱ | مهدی غلامی شرفخانه^۲ | سید حسین ثنائی نژاد^۳ | مجتبی صادق^۴۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: mosayebmd@gmail.com۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: mahdi.gholami39@yahoo.com۳. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: saanaein@gmail.com۴. گروه مهندسی عمران، دانشگاه ایالتی بویزی، بویزی، آمریکا. رایانامه: mojtabasadegh@boisestate.edu

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	جداسازی دقیق اجزای تبخیر-تعرق یکی از شکاف‌های کلیدی تحقیقات در زمینه مدیریت آب در بخش کشاورزی است. شناخت این متغیر و همچنین مکانیزم جداسازی اجزای آن برای تعیین مقدار دقیق مؤلفه‌های معادله بیلان آب در رابطه با برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، بهینه‌سازی تولید محصول، طراحی سامانه‌های آبیاری، ارزیابی عملکرد محصول، شناسایی تنش‌های گیاه و تأثیر خشکسالی و همچنین ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر کارایی مصرف آب بسیار مهم است. در این پژوهش کارایی مدل دو منبعی TSEB برای جداسازی اجزای این متغیر ارزیابی شد. در همین راستا خروجی‌های این مدل با خروجی‌های روش استاندارد دو جزئی فائو-۵۶ در مزرعه ذرت واقع در ایستگاه تحقیقات کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، مقایسه و ارزیابی شد. برای این کار از چهار تصویر ماهواره لندست ۸ در بازه کاشت تا برداشت گیاه ذرت در فصل کاشت بهار و تابستان سال ۱۴۰۰ استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد علیرغم نزدیک بودن مقادیر کلی تبخیر-تعرق بین مدل TSEB و روش دو جزئی فائو-۵۶ (مقدار R^2 برابر با ۰/۹۴)، بین جزئیات این پارامتر اختلاف زیاد است (مقدار R^2 برای تعرق و تبخیر به ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۷۵)، که بر اساس مطالعات سایر پژوهشگران این اختلاف می‌تواند به دلیل بیش برآورد مقدار تعرق و کم برآورد مقدار تبخیر در روش دو جزئی فائو-۵۶ باشد و در اینجا چون روش دو جزئی فائو-۵۶ مقادیر تعرق و تبخیر را تخمین می‌زند و می‌تواند با مقداری خطا همراه باشد، نمی‌توان به طور قطع گفت مدل TSEB دارای دقت کافی نیست. از طرفی مقایسه نسبت تعرق به تبخیر-تعرق در این پژوهش با نتایج سایر پژوهشگران نشان داد که خروجی‌های مدل TSEB در این پژوهش (۰/۷۷) در بازه مجاز (۰/۷۵ تا ۰/۸۸) می‌باشد و خروجی‌های قابل اعتمادی ارائه می‌کند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۶	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱	
واژه‌های کلیدی: جداسازی تبخیر-تعرق، روش دو جزئی فائو-۵۶، سنجش از دور، لندست ۸، مدل دو منبعی TSEB	

استناد: مقبلی دامنه؛ مصیب، غلامی شرفخانه؛ مهدی، ثنائی نژاد؛ سیدحسین، صادق؛ مجتبی، (۱۴۰۱). ارزیابی مدل سنجش از دور TSEB برای جداسازی تبخیر-تعرق ذرت در مزرعه تحت کشت آبیاری قطره‌ای، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۱۲)، ۲۹۰۳-۲۸۸۵.

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351695.669403>



© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.351695.669403>

مقدمه

کمبود آب یکی از عواملی است که توسعه کشاورزی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت مواجه می‌کند و از طرفی حدود ۷۰ درصد آب مصرفی توسط فعالیت‌های بشری صرف آبیاری کشاورزی می‌شود که این مقدار برای کشور ایران نیز با احتساب تلفات حدود ۷۱ درصد است (Wolff *et al.*, 2022؛ ناصری و همکاران، ۱۳۹۶). تبخیر-تعرق به عنوان یکی از مؤلفه‌های بیلان آب، متغیری بسیار مهم و پیچیده در رابطه با شناخت سامانه‌های اکوهیدرولوژیکی است؛ چرا که این متغیر می‌تواند تا ۹۵ درصد بیلان آب را در مناطق خشک به خود اختصاص دهد (Wilcox *et al.*, 2003). بنابراین شناخت این متغیر و همچنین یافتن روش‌هایی برای جداسازی اجزای آن، می‌تواند در ارتباط با مواردی همچون، مدیریت منابع آب، بهینه‌سازی تولید محصول، طراحی سامانه‌های آبیاری، ارزیابی عملکرد محصول، شناسایی تنش‌های گیاه و تأثیر خشکسالی بسیار کمک کننده باشد (Er-Raki *et al.*, 2010; Wang & Dickinson, 2012; Yang *et al.*, 2018). به طور کلی اجزای تبخیر-تعرق شامل تبخیر از خاک، تبخیر از طریق منافذ گیاهان (تعرق) و در بعضی نمونه‌ها تبخیر آب گیرافتاده در شاخ و برگ گیاه است. عملکرد تبخیر و تعرق در اکوسیستم‌ها کاملاً متفاوت است، تعرق معمولاً همراه با بهره‌وری گیاه بوده اما تبخیر به طور مستقیم در بهره‌وری تأثیرگذار نیست به همین دلیل تعرق بخش مطلوب‌تر و تبخیر بخش نامطلوب در نظر گرفته می‌شود (Van Halsema *et al.*, 2012; Agam *et al.*, 2012). به عنوان مثال بررسی اسلشنجر و جاسکو (۲۰۱۴) نشان داد که مقدار تعرق نسبت به تبخیر-تعرق (T/ET) در اقلیم‌های مرطوب (در جنگل‌های حاره‌ای این نسبت 14 ± 70 درصد) نسبت به اقلیم‌های نیمه‌خشک (برای استپ، بیابان و درختچه این نسبت 15 ± 51 درصد) بیشتر است. بنابراین تبخیر-تعرق شاخص مناسبی برای تعیین میزان بهره‌وری آب از طریق جذب گیاهی نیست و از طرفی با اطلاع از مقدار دقیق تبخیر می‌توان با روش‌های مدیریتی مناسب میزان تلفات را تا حد زیادی کاهش داد. از این رو انتظار می‌رود تعیین دقیق اجزای تبخیر-تعرق با توجه به روند کاهش منابع آب و افزایش تقاضا، به یک مهم تبدیل شود. اطلاع دقیق از اینکه آب در چه قسمتی هدر می‌رود و چه مقدار از آن از طریق تعرق گیاهان به صورت مفید استفاده می‌شود، می‌تواند به تفسیر اجزای هیدرولیکی به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند (Kool *et al.*, 2014).

تلاش برای تخمین جداگانه اجزای تبخیر-تعرق تقریباً از دهه ۱۹۷۰ میلادی با توسعه مدل‌های گیاهی شروع شد (Ritchie, 1972; Tanner & Jury, 1976; Goudriaan, 1977). به طور کلی برای تعیین اجزای تبخیر-تعرق می‌توان از دو روش اندازه‌گیری مستقیم و تخمین با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی و ترکیبی، استفاده کرد. استفاده از روش‌های اندازه‌گیری مانند روش اندازه‌گیری شیره گیاهی (Williams *et al.*, 2004)، اندازه‌گیری با استفاده از میکرولاسیمترها و غیره اگرچه با دقت بالایی همراه است اما هزینه زیاد، سختی کار و مشکلات نگهداری (Liu *et al.*, 2022) کاربرد آن‌ها را محدود می‌کند. روش‌های ترکیبی مانند روش ضریب گیاهی دوجزئی نیز توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) ارائه شد.

مدل دو جزئی فائو-۵۶ نیز در تحقیقات زیادی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد. در پژوهشی که سانتوس (۲۰۱۸) برای ارزیابی جداسازی تبخیر-تعرق زیتون با استفاده از دو روش فائو-۵۶ دو جزئی و روش ساده دو منبعی سنجش از دور انجام داد نتیجه‌گیری کرد که روش ساده دو منبعی سنجش از دور نسبت به روش فائو-۵۶ دو جزئی مقادیر تبخیر را به دلیل ناتوانایی مدل در شبیه‌سازی پویایی تبخیر در طول دوره آبیاری، بیشتر برآورد می‌کند که ایشان به نتایج یکسان با پژوهش سانچز و همکاران (۲۰۱۴) در مورد گیاه آفتابگردان اشاره کردند. همچنین وی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که اگرچه مدل دو جزئی فائو-۵۶ مقدار تبخیر را نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده با استفاده از میکرولاسیمتر کمتر برآورد می‌کند اما در جداسازی اجزای تبخیر-تعرق دقت کافی را دارا است.

اگرچه دقت برآوردهای روش دو جزئی فائو-۵۶ در صورت فقدان ابزارهای اندازه‌گیری به عنوان روش استاندارد پذیرفته شده است (Pereira *et al.*, 2015)، اما این کار را مانند روش‌های اندازه‌گیری مستقیم به صورت نقطه‌ای و در مقیاس گیاه انجام می‌دهد که خود یک محدودیت بزرگ برای برآورد اجزای تبخیر-تعرق در مقیاس‌های بزرگ است، از طرفی تعمیم دادن اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای به مقیاس‌های بزرگتر با خطای زیادی همراه است. همچنین نیاز به اندازه‌گیری حجم و عمق آب آبیاری در یک دوره رشد کامل گیاه یا یک دور آبیاری کامل یکی دیگر از مشکلاتی است که عملاً پایش لحظه‌ای و مستقیم وضعیت تعرق و تبخیر مزرعه را با استفاده از روش دو جزئی فائو-۵۶ غیرممکن می‌سازد. بنابراین استفاده از روشی که بتواند با هزینه کم و به صورت مستقیم و به صورت مکانی مشکلات مطرح شده را حل کند، بسیار حائز اهمیت است و کاربرد فراوانی خواهد داشت.

به لطف علم سنجش از دور می‌توان بسیاری از مؤلفه‌های فیزیکی سطح زمین را با دقت قابل قبولی در مقیاس‌های حوضه‌ای و

جهانی اندازه‌گیری کرد. در دهه‌های اخیر روش‌های سنجش از دور گوناگونی برای تخمین مقدار تبخیر-تعرق و تعیین اجزای آن در کشورهای زیادی استفاده و بررسی شده است. روش‌های سنجش از دور که برای تعیین اجزای تبخیر-تعرق بکار برده می‌شوند مدل‌های دومنبعی هستند که پارامترهای خاک و گیاه را جداگانه تحلیل می‌کنند، به این صورت که در تمام مراحل شبیه‌سازی از چندین مقاومت آیرودینامیکی مجزا برای خاک و گیاه و همچنین دمای مجزای خاک و پوشش گیاهی استفاده می‌کنند (Huntingford *et al.*, 2000). در روش‌های تک منبعی مانند روش توازن انرژی سطح زمین، اجزای خاک و پوشش گیاهی با هم ترکیب شده و منبع واحدی در نظر گرفته می‌شوند در حالی که شرایط طبیعی اینگونه نیست و سطح ناهمگن زمین از ترکیب خاک و گیاه ساخته شده و دما و مقاومت آیرودینامیکی متفاوتی در ارتباط با تبادل انرژی دارند (Song *et al.*, 2015). نتایج بدست آمده از بررسی مدل‌های دومنبعی نشان داده که در مقایسه جهانی تخمین‌های نسبتاً خوبی از اجزای تبخیر-تعرق بدنبال داشته‌اند اما در مقیاس منطقه‌ای اختلافات بزرگتر بوده است (Michel *et al.*, 2016). تعدادی از مطالعاتی که اجزای تبخیر-تعرق را به صورت جداگانه مقایسه کرده‌اند، نشان داده‌اند که حتی در مناطقی که مجموع کل تبخیر-تعرق در مدل‌های مختلف، مطابقت داشته اما در توزیع اجزای آن تفاوت‌های زیادی داشته‌اند (Miralles *et al.*, 2016).

اما در رابطه با پژوهش‌های انجام شده با استفاده از روش‌های سنجش از دور باید دو مورد را بررسی و ارزیابی کرد. مورد اول دقت مدل در برآورد مقدار کلی تبخیر-تعرق و مورد دوم دقت مدل در جداسازی اجزای پارامتر مذکور. در رابطه با مورد اول می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: در تحقیقی که به منظور مقایسه مقادیر اجزای شار انرژی در دو مدل TSEB^۱ و SEBAL^۲ با استفاده از تصاویر سنجنده استر^۳ انجام شد نتایج بدست آمده نشان داد هر دو مدل دقت مناسبی داشته و می‌توان از خطای سیستماتیک آن‌ها در مدل‌سازی صرف‌نظر کرد. در نهایت این پژوهشگران برای نواحی با پوشش گیاهی پراکنده مدل TSEB را مناسب‌تر دانستند (French *et al.*, 2005). تیمرمانز و همکاران (۲۰۰۷) برای مقایسه عملکرد دو مدل TSEB و SEBAL که تفاوت عمده آن‌ها این است که اجزای خاک و پوشش گیاهی به صورت جداگانه یا ترکیبی در ارتباط با تبادل انرژی در نظر گرفته شود، تحقیقی را در دو محدوده آزمایشی مرتع نیمه‌خشک و مرتع نیمه مرطوب با استفاده از تصاویر یک سنجنده نصب شده روی هواپیما انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد به طور کلی هر دو مدل خروجی‌های شار قابل قبولی دارند اما در مقایسه مکانی به خصوص در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف تفاوت‌ها زیاد بود که در اینجا مدل TSEB نسبت به مدل SEBAL دقت بالاتری در مقایسه با داده‌های مشاهداتی داشت. چوی و همکاران (۲۰۰۹) نیز در پژوهشی سه مدل TSEB، METRIC^۴ و TIM^۵ را مورد مقایسه و بررسی قرار دادند که نتایج ایشان نشان داد مدل TSEB در مقایسه با دو مدل دیگر عملکرد بهتری دارد. باقری هارونی و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی خروجی‌های حاصل از پنج روش سنجش از دور را برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با داده‌های لایسیمتر واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه تبریز مقایسه کردند. آن‌ها از دو روش تک منبعی SEBAL و METRIC، دو روش دومنبعی TSEB و STSEB^۶ و یک روش ترکیبی SETEB^۷ و همچنین از تصاویر سنجنده مودیس برای ۶ روز در این مطالعه استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد هر پنج مدل دقت قابل قبولی ارائه می‌کنند، در بین آن‌ها مدل دو منبعی STSEB نسبت به سایر مدل‌ها دقت بهتری نشان داد. مدل دومنبعی STSEB کاملاً شبیه به مدل TSEB است با این تفاوت که از دماهای اندازه‌گیری شده خاک و پوشش گیاهی استفاده می‌کند. باقری هارونی و همکاران خطای بالاتر مدل TSEB را دقت مکانی پایین سنجنده مودیس ذکر کردند. در پژوهشی که بهمن‌آبادی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در دشت قزوین انجام دادند خروجی‌های سه مدل سنجش از دور SEBAL، SSEB و TSEB را با اندازه‌گیری‌های لایسیمتری و رابطه تجربی هارگریوز-سامانی ارزیابی و خروجی مدل‌ها را با هم مقایسه کردند. آن‌ها در این پژوهش از تصاویر سنجنده مودیس، ماهواره لندست ۷ و لندست ۸ استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که به طور کلی هر چهار مدل دقت قابل قبولی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی دارند اما مدل TSEB در هر سه سنجنده نسبت به دو روش دیگر دقت کمتری دارد.

در ارتباط با مورد دوم که ارزیابی دقت مدل‌ها برای جداسازی اجزای تبخیر-تعرق می‌باشد نیز می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره کرد:

¹ Two Source Energy Balance

² Surface Energy Balance Algorithm for Land

³ ASTER

⁴ Mapping Evapotranspiration at high Resolution using Internalized Calibration

⁵ Trapezoid Interpolation Model

⁶ Simplified Two Source Energy Balance

⁷ SEBAL and TSEB

در تحقیقی که در حوزه مرکزی مراکش انجام شد نتایج نشان داد که مدل TSEB می‌تواند اجزای تبخیر-تعرق را با دقت مناسبی تعیین کند (Diarra et al., 2017). یانگ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش دیگری از سه نسخه مدل توازن انرژی دو منبعی (TSEB) پرستلی-تیلور (TSEB-PT)، پنمن-مانتیث (TSEB-PM) و استخراج دمای سطح از کسر پوشش گیاهی (TSEB-Tc-Ts) برای بررسی دقت آن‌ها در جداسازی اجزای تبخیر-تعرق در حوضه‌ای در شمال شرق چین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که خروجی‌های هر سه مدل در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده دقت قابل قبولی دارند و تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند، در حالی که نتایج کالیزی و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که روش توازن انرژی دو منبعی (TSEB) با استفاده از معادله پنمن-مانتیث نسبت به معادله پرستلی-تیلور از دقت بالاتری برخوردار است. مطالعه کالیزی و همکاران در ایستگاه تحقیقاتی بوشلند در تگزاس که دارای اقلیم نیمه‌خشک با میانگین بارندگی ۴۷۰ میلیمتر در سال و میانگین تبخیر ۲۶۰۰ میلیمتر (تشت تبخیر کلاس A) در سال می‌باشد، انجام شد. این منطقه همچنین تحت تأثیر فرارفت شدید محلی نیز می‌باشد.

با توجه به مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته در حال حاضر بغیر از روش‌های اندازه‌گیری مستقیم اجزای تبخیر-تعرق که نیازمند ابزارهای گران‌قیمت است و به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود، روش دو جزئی فائو-۵۶ می‌تواند این کار را انجام دهد که این روش نیز محدودیت‌هایی دارد. روش دو جزئی فائو-۵۶ اگرچه هزینه زیادی ندارد اما برآوردهای آن مانند روش‌های اندازه‌گیری مستقیم نقطه‌ای بوده و علاوه بر آن نیازمند کار میدانی زیاد بوده و به یک بازه (مثلاً فاصله بین دو آبیاری) برای اندازه‌گیری پارامترهای لازم برای برآورد تعرق و تبخیر نیاز دارد و نمی‌تواند این کار را به صورت لحظه‌ای و روزانه انجام دهد. بنابراین در اینجا فقدان مدلی که با هزینه کم و بدون نیاز به اندازه‌گیری‌های زیاد زمینی بتواند به صورت مستقیم متغیرهای تعرق و تبخیر را به صورت جداگانه و با دقت بالایی تخمین بزند وجود دارد، از این رو استفاده از مدلی که بتواند مشکلات فوق را رفع کند بسیار مهم است.

در این پژوهش مدل دو منبعی TSEB به عنوان مدل پیشنهادی برای بررسی دقت جداسازی اجزای تبخیر-تعرق در مقیاس مزرعه انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. این مدل می‌تواند در زمان کوتاهی بدون نیاز به اندازه‌گیری داده‌های زمینی زیاد اجزای متغیر تبخیر-تعرق را به صورت مکانی در اختیار ما قرار دهد. در پژوهش حاضر اهداف زیر بررسی و تجزیه و تحلیل می‌شوند.

جداسازی اجزای تبخیر-تعرق گیاه ذرت با استفاده از مدل دو منبعی TSEB با استفاده از تصاویر ماهواره لندست در مقیاس مزرعه.

برآورد اجزای تبخیر-تعرق گیاه ذرت با استفاده از روش فائو-۵۶ دو جزئی.

برآورد تبخیر-تعرق کلی گیاه با استفاده از روش فائو-۵۶ یک جزئی.

مقایسه نتایج دو روش فائو-۵۶ دو جزئی و مدل TSEB در جداسازی اجزای تبخیر-تعرق.

ارزیابی دقت مدل TSEB در جداسازی اجزای تبخیر-تعرق گیاه ذرت و برآورد کلی تبخیر-تعرق در مقیاس مزرعه.

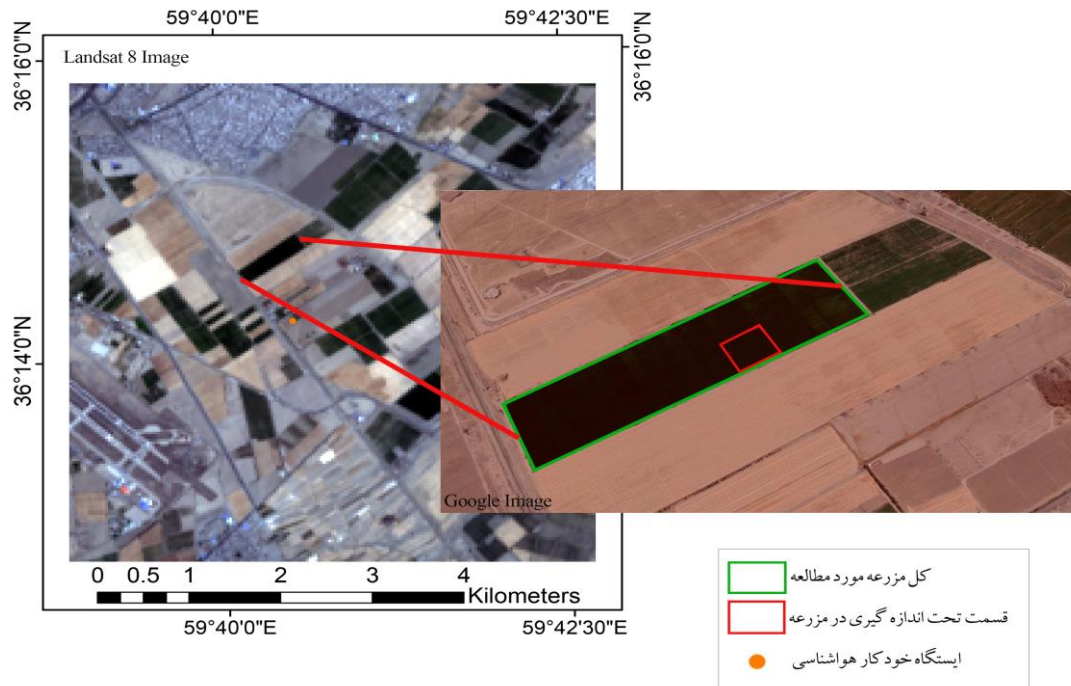
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از قطعه‌ای از مزرعه ذرت علوفه‌ای واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد با سطح زیر کشت کل ۱۵/۵ هکتار استفاده شد. طول و عرض مزرعه به ترتیب ۷۷۰ در ۲۰۱/۵ متر بود. در این مزرعه از ۴۵ کیلوگرم بذر ذرت رقم هیدو و تولید شرکت مای ترکیه استفاده و کشت در بهار ۱۴۰۰ به صورت تک ردیفه با دستگاه بذرکار پنوماتیک انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۷۰ سانتی متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف‌ها ۱۹ تا ۲۱ سانتی متر بود. آبیاری مزرعه به صورت قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ درزدار انجام و حجم آب آبیاری با استفاده از کنتور اندازه‌گیری شد. از آنجا که ذرت کشت شده به صورت علوفه‌ای بوده است، قبل از رسیدن گیاه به مرحله پیری برداشت محصول انجام شد تا حداکثر عملکرد در واحد سطح حاصل شود. اطلاعات مربوط به کاشت گیاه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. تاریخ کاشت و برداشت و دوره‌های رشد گیاه

گیاه	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	طول دوره رشد اولیه	طول دوره توسعه	طول دوره میانی	طول دوره پایانی
ذرت علوفه‌ای	۶ تیر ۱۴۰۰	۴ مهر ۱۴۰۰	۲۰ روز	۳۰ روز	۳۵ روز	۳۰ روز



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

بدلیل همزمان نبودن آبیاری در کل سطح مزرعه، منطقه‌ای به عنوان نمونه (کادر قرمز در شکل شماره ۱) به ابعاد ۱۰۰ متر در ۹۰ متر که در زمان‌های آبیاری مشخص تمام بخش‌های آن آبیاری می‌شد، برای اجرای مدل دو جزئی فائو-۵۶ انتخاب و پارامترهای لازم از جمله حجم آب آبیاری و ارتفاع گیاه در مراحل مختلف رشد اندازه‌گیری شد.

جمع‌آوری داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

برای تهیه اطلاعات هواشناسی مورد نیاز (دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خورشید و دمای نقطه شبنم) از ایستگاه خودکار هواشناسی واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در فاصله ۷۵۰ متری مزرعه ذرت استفاده شد. همچنین چهار تصویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های ۱۱ و ۲۷ مرداد و ۱۲ و ۲۸ شهریور سال ۱۴۰۰ که ساعت ۱۱:۰۷ به وقت محلی از روی منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند، برای مدل سنجش از دور استفاده شد. قبل از شروع پردازش تصاویر ماهواره‌ای برای مدل سنجش از دور، تصحیحات اتمسفری و رادیومتریکی برای به حداقل رساندن خطاهای پردازشی روی تصاویر انجام شد. باندهای مورد استفاده ماهواره لندست ۸ برای مدل TSEB در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲. باندهای تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده در این پژوهش		
باند	طول موج (میکرومتر)	رزولوشن (متر)
باند ۱ آبروسول	۰/۴۳ تا ۰/۴۵	۳۰
باند ۲ آبی	۰/۴۵ تا ۰/۵۱	۳۰
باند ۳ سبز	۰/۵۳ تا ۰/۵۹	۳۰
باند ۴ قرمز	۰/۶۴ تا ۰/۶۷	۳۰
باند ۵ مادون قرمز نزدیک	۰/۸۵ تا ۰/۸۸	۳۰
باند ۶ مادون قرمز طول موج کوتاه ۱	۱/۵۷ تا ۱/۶۵	۳۰
باند ۷ مادون قرمز طول موج کوتاه ۲	۲/۱۱ تا ۲/۲۹	۳۰
باند ۱۰ مادون قرمز حرارتی ۱	۱۰/۶ تا ۱۱/۱۹	۱۰۰
باند ۱۱ مادون قرمز حرارتی ۲	۱۱/۵۰ تا ۱۲/۵۱	۱۰۰

مدل سنجش از دور دو منبعی توازن انرژی TSEB

در این پژوهش از مدل دو منبعی توازن انرژی برای جداسازی اجزای تبخیر-تعرق استفاده شد. این مدل اولین بار توسط نرم و همکاران

(۱۹۹۵) در سال ۱۹۹۵ توسعه داده شد و بعداً توسط ایشان و همکارانشان روی مدل اولیه اصلاحاتی انجام شد (Kustas & Norman, 1999; Norman et al., 2000) که این اصلاحات در این پژوهش در نظر گرفته شد. ورودی‌های این مدل شامل دمای رادیومتریک جهت‌دار همراه با زاویه دید سنجنده، جزء پوشش گیاهی یا شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه و اندازه برگ به صورت تقریبی، تابش خورشیدی، دمای هوا و سرعت باد است. برای استخراج پارامترهای مورد نیاز از تصاویر ماهواره از باندهای محدوده طول موج مرئی (قرمز، سبز و آبی)، مادون قرمز نزدیک و باند حرارتی استفاده می‌شود (جدول ۲). اساس روش‌های سنجش از دور مبتنی بر توازن انرژی، حل معادله توازن انرژی رسیده از خورشید در سطح زمین می‌باشد که به شکل زیر است:

$$R_n = G + H + \lambda ET \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله R_n , G , H و λET به ترتیب شار تابش خالص در سطح زمین، شار گرمای خاک، شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان (همگی بر حسب W/m^2) هستند. برای اندازه‌گیری پارامترهای فوق، مدل‌های مختلف روش‌های متفاوتی استفاده می‌کنند. خلاصه‌ای از روابطی که در مدل TSEB برای برآورد این پارامترها استفاده می‌شود ارائه شده است. در مدل TSEB که یک روش دومنبعی است، دو جزء خاک و پوشش گیاهی برای این پارامترها به صورت جداگانه بررسی می‌شوند. برای تخمین واگرایی شار تابش خالص بین خاک و گیاه از معادلات اصلاح شده زیر، که توسط اندرسون و همکاران (۱۹۹۷) ارائه شده استفاده می‌شود:

$$R_n = R_{nc} + R_{ns} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$R_{nc} = R_n \left[1 - \exp\left(\frac{-k \times LAI}{\sqrt{2 \cos(\theta)}}\right) \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R_{ns} = R_n \exp\left(\frac{-k \times LAI}{\sqrt{2 \cos(\theta)}}\right) \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این معادلات R_n تابش خالص کل، R_{nc} تابش خالص جزء گیاه، R_{ns} تابش خالص جزء خاک، k ضریب اضمحلال، LAI شاخص سطح برگ و θ زاویه زینتی خورشید است. در این معادلات اگر مقدار θ کمتر از 30° درجه باشد مقدار k برابر با 0.6 ، در غیر این صورت مقدار متوسط آن یعنی 0.45 (بین 0.3 تا 0.6) استفاده می‌شود. این معادلات در واقع معادلات اصلاح شده از فرمول‌های اولیه ارائه شده توسط نرمن و همکاران (۱۹۹۵) و بر اساس یافته‌های اندرسون و همکاران (۱۹۹۷) هستند که در آن واگرایی تابش خالص تابعی از زاویه زینتی خورشید است.

مقدار شار گرمای خاک تنها شاری است که در مدل TSEB فقط برای خاک محاسبه می‌شود و ضریبی از شار تابش خالص R_n می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$G = C_g R_{ns} \quad \text{رابطه (۵)}$$

مقدار C_g به نوع خاک و شرایط رطوبتی آن و همچنین زمان روز، به دلیل تغییر شیفیت بین شار گرمای خاک (G) و شار تابش خالص خاک (R_{ns}) در طول یک چرخه روزانه وابسته است که مقدار آن از 0.2 تا 0.5 متغیر است (Santanello et al., 2003). در این مطالعه با توجه به زمان گذر ماهواره لندست از مقدار ثابت 0.35 ، ارائه شده توسط کاستاس و دوتری (۱۹۹۰) استفاده شد. برای برآورد شار گرمای محسوس در مدل اولیه TSEB که توسط نرمن و همکاران (۱۹۹۵) ارائه شد (N95) از دو مدل شبکه مقاومت‌های آیرودینامیکی (موازی و سری) برای توصیف تبادلات انرژی بین خاک، اجزای گیاه و هوای اطراف آن استفاده شد. در مدل چینش موازی در واقع بردارهای شار انرژی از سمت خاک بستر و تاج گیاه هیچ اثر متقابلی ندارند و بنابراین دمای سطح خاک به دمای گیاه وابستگی ندارد. اما در چینش سری که روش مرسوم‌تری است شارهای حرارتی از خاک بستر و لایه‌های تاج پوشش گیاهی روی هوای اطراف گیاه تأثیرگذار است، بنابراین تعامل بین خاک و گیاه در نظر گرفته می‌شود. دو حالت سری و موازی به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است (Norman et al., 1995).

که در آن $T_{rad}(\varphi)$ دمای سطح بدست آمده از سنجنده (K)، T_c و T_s به ترتیب دمای پوشش گیاهی و دمای خاک (K)، $f_c(\varphi)$ جزء پوشش گیاهی در زاویه دید φ که می‌توان آن را به عنوان تابعی از شاخص سطح برگ به صورت زیر محاسبه نمود (در حالت نادیر $\varphi = 0$ است):

$$f_c(\varphi) = 1 - \text{Exp}\left(\frac{-0.5\Omega LAI}{\text{Cos}(\varphi)}\right) \quad \text{رابطه ۹}$$

در این معادله LAI شاخص سطح برگ و Ω کلامپینگ فاکتور است. کلامپینگ فاکتور ضریبی است که کاستاس و نرمن (۱۹۹۹) برای بهبود خروجی‌های مدل اولیه ارائه کردند، که در واقع این ضریب تأثیر تاج پوشش گیاهی (کلامپ) روی واگرایی تابش و سرعت باد داخل لایه گیاهی را مشخص می‌کند. این فاکتور به خصوص در گیاهان با کشت ردیفی تأثیر فراوانی دارد به طوری که در یک گیاه با کشت ردیفی بسته به نوع و فضای گیاه، ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به همان گیاه و همان زمین با کشت تصادفی تابش کمتری جذب کند (Campbell & Norman, 2000). با استفاده از رابطه زیر می‌توان مقدار کلامپینگ فاکتور را تخمین زد (Kustas & Norman, 1999; Hathaway, 2016):

$$\Omega = \frac{-\text{Ln}(f_s)}{0.5LAI_{RS}} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$f_s = (f_c \times \text{Exp}(-0.5LAI_L)) + (1 - f_c) \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$f_{c_initial} = 1 - \text{Exp}(-0.5LAI_{RS}) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$LAI_L = \frac{LAI_{RS}}{f_c} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

در این معادلات f_s جزء پوشش خاک، LAI_L شاخص سطح برگ محلی و LAI_{RS} شاخص سطح برگ محاسبه شده با استفاده از روش‌های سنجش از دور است.

در مدل‌های سنجش از دور برآورد تبخیر-تعرق معمولاً پیچیده‌ترین قسمت مدل، برآورد شار گرمای محسوس است که مدل TSEB هم از این قاعده‌مثنی نیست. با توجه به اینکه اکثر سنجنده‌ها فقط در یک زاویه تصویر تهیه می‌کنند (با داشتن دمای رادیومتریکی برای دو زاویه φ_1 و φ_2 در یک زمان و رابطه واگرایی دمای رادیومتریکی، می‌توان دمای خاک و پوشش گیاهی را با استفاده از دو معادله و دو مجهول بدست آورد)، برای حل معادله واگرایی دما (رابطه ۸) بر اساس مدل اولیه TSEB (Norman *et al.*, 1995) ابتدا یک تخمین اولیه از تعرق گیاه با استفاده از رابطه پرستلی-تیلور زده می‌شود و در ادامه طی یک فرآیند تکرار، تخمین اولیه اصلاح می‌شود. این فرآیند در فلوچارت زیر نشان داده شده است.

روش دو جزئی فائو-۵۶

پس از برآورد مقادیر تعرق و تبخیر با استفاده از مدل سنجش از دور TSEB برای صحت‌سنجی مدل از روش استاندارد دو جزئی فائو-۵۶ به عنوان مقادیر مرجع، استفاده شد (Allen *et al.*, 1998). این روش در گزارش شماره ۵۶ سازمان فائو به تفصیل بیان شده است، لذا در اینجا فقط به چکیده روابط اشاره می‌شود. در واقع در این روش، ضریب گیاهی به روش یک جزئی (k_c) به دو ضریب جداگانه برای بخش تبخیر (k_e) و تعرق (k_{cb}) تقسیم می‌شود:

$$ET_c = (k_{cb} + k_e) \times ET_o \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$k_{cb} = k_{cb(tab)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$k_e = k_r(k_{c\ max} - k_{cb}) \leq f_{ew}k_{c\ max} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

در روابط فوق، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/day)، $k_{cb(tab)}$ ضریب گیاهی اصلاح نشده، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (m/s)، RH_{min} میانگین رطوبت نسبی حداقل روزانه (درصد) و h میانگین ارتفاع گیاه (m) در طول مرحله میانی یا انتهایی

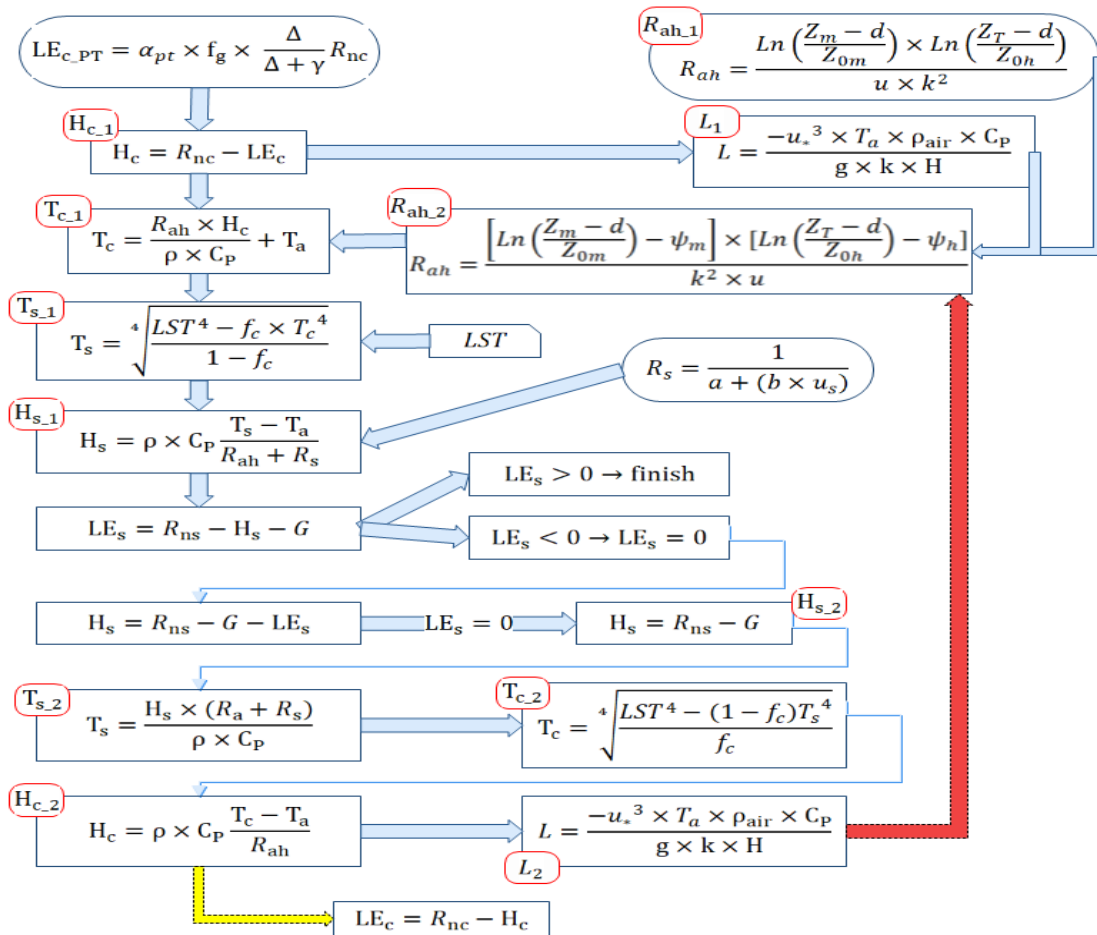
رشد گیاه، k_T ضریب کاهش تبخیر که مقدار آن به عمق تجمعی آب تبخیر شده از سطح بالای خاک بستگی دارد، حداکثر مقدار k_c و f_{ew} که تابع روش آبیاری مزرعه است، بخشی از خاک که مرطوب و بدون پوشش باشد (سطحی از خاک که بیشترین مقدار تبخیر اتفاق می‌افتد).

برای اعتبار سنجی مدل مذکور از دو شاخص کمی ضریب تعیین (R^2) و ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)(O_i - \bar{O}_i))^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i)^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

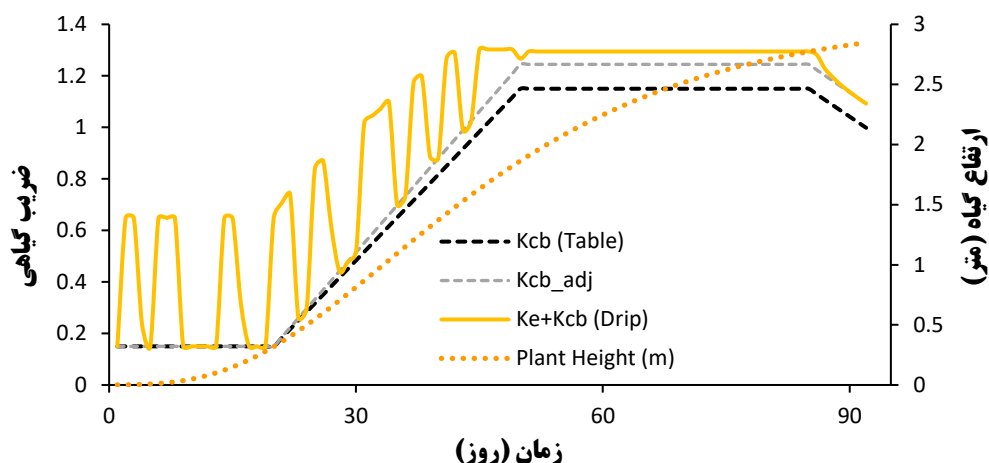
در این روابط P_i مقادیر برآورد شده و O_i مقادیر مرجع برای صحت‌سنجی هستند.



شکل ۴. فرآیند مدل TSEB

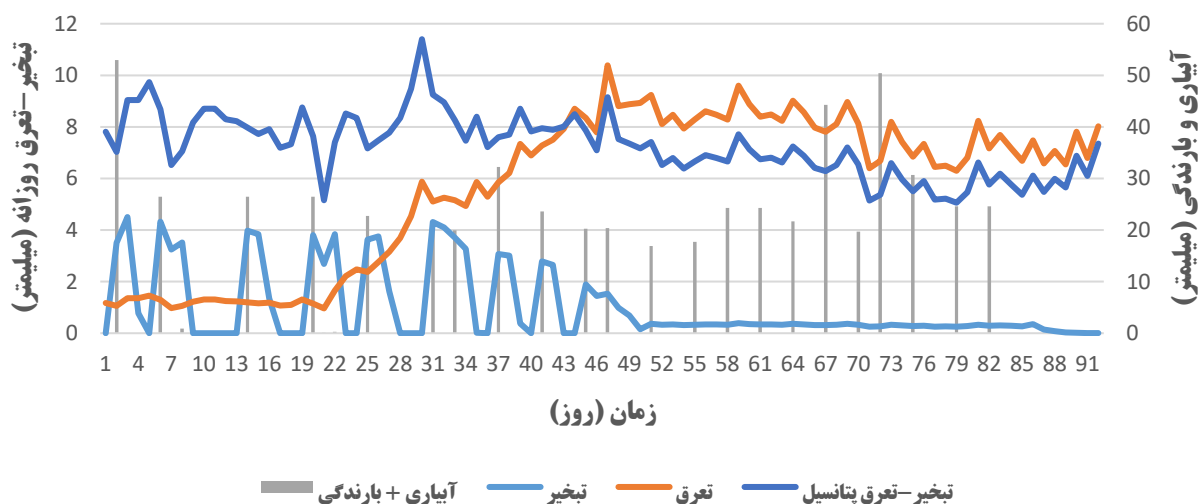
نتایج و بحث

در ابتدا برای برآورد تعرق و تبخیر با روش دو جزئی فائو-۵۶ قطعه‌ای مناسب از مزرعه انتخاب و داده‌های لازم مانند زمان و حجم آب آبیاری، ارتفاع متوسط گیاه و همچنین داده‌های هواشناسی لازم برداشت شد. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز، مدل دو جزئی فائو-۵۶ اجرا و ضرایب تعرق و تبخیر محاسبه و در نهایت خروجی‌های مورد نظر بدست آمد که شامل مقادیر جداگانه تعرق و تبخیر برای کل بازه کاشت تا برداشت گیاه است. خلاصه نتایج ضرایب گیاهی در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵. ضرایب و ارتفاع گیاه در بازه کاشت تا برداشت

در این روش ابتدا مقادیر ضریب گیاهی از جدول ضرایب گیاهی نشریه فائو-۵۶ برای گیاه ذرت علوفه‌ای برداشت شد و سپس با استفاده از داده‌های هواشناسی (رطوبت نسبی و سرعت باد) برای منطقه مورد مطالعه اصلاح گردید. برای ارتفاع متوسط گیاه در طول فصل رشد نیز از آنجایی که معمولاً از یک الگوی S شکل پیروی می‌کند (Overman & Scholtz, 2002)، با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده ارتفاع متوسط گیاه در مراحل مختلف رشد برآورد شد و پس از برآزش رابطه‌ای بر آن، برای کل طول فصل کشت بدست آمد (Richards, 1959; Jimenez *et al.*, 2009). در نهایت ضرایب تعرق گیاه (k_{cb}) و تبخیر خاک (k_e) محاسبه و مقادیر تعرق و تبخیر تخمین زده شد.

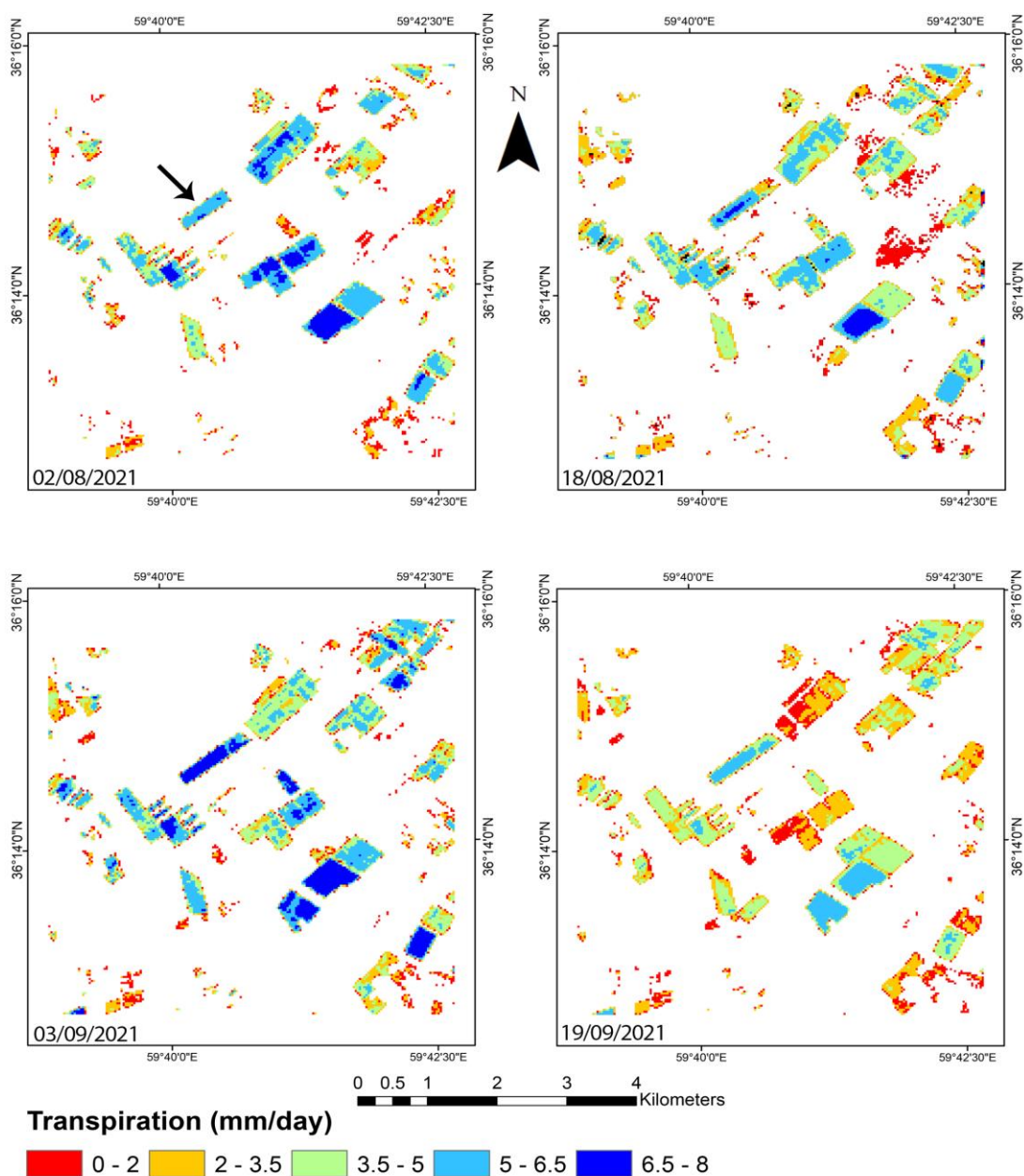


شکل ۶. سیر تکاملی تبخیر-تعرق پتانسیل، تعرق و تبخیر در بازه کاشت تا برداشت گیاه

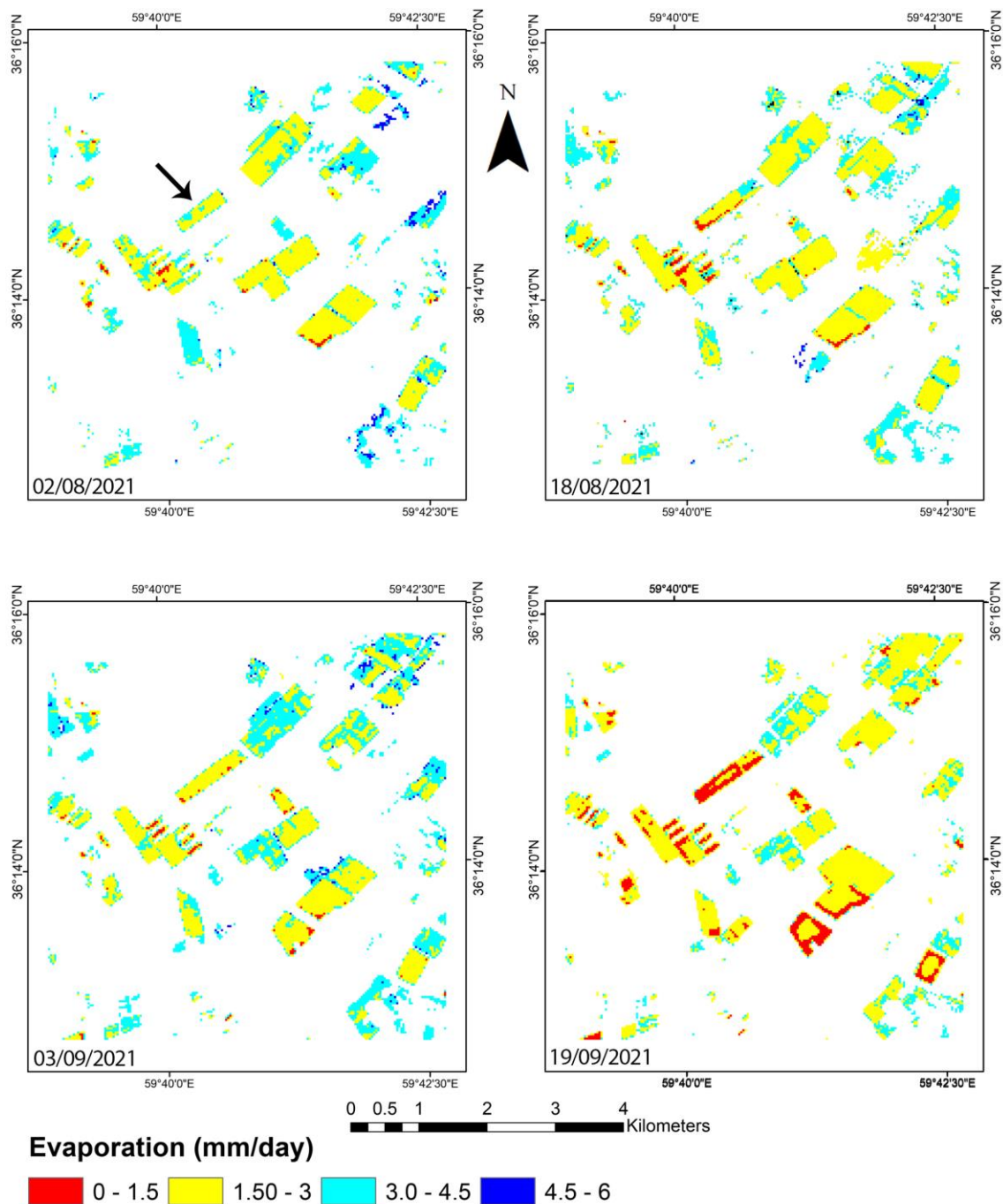
نمودار شکل ۶ سیر تکاملی تبخیر-تعرق پتانسیل، تعرق و تبخیر را از ابتدای دوره کاشت تا پایان زمان برداشت گیاه همراه با مجموع مقادیر آباری و بارندگی نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت، در ابتدای دوره مقادیر تعرق با توجه به ضریب گیاهی اصلاح شده برای منطقه مورد مطالعه کم و با رشد و افزایش تراکم گیاه، این مقادیر به بیشینه مقدار خود رسید. مقادیر تبخیر نیز در ابتدای دوره به دلیل اینکه سطح بیشتری از زمین در معرض هوا (دریافت بیشتر انرژی خورشید) است دارای مقادیر بالاتر و در ادامه با رشد و تکامل گیاه و پوشانده شدن سطح زمین به کمینه مقادیر خود رسیده است. روند کلی تغییرات مقادیر تعرق و تبخیر که به صورت کاهش میزان تبخیر و افزایش مقدار تعرق است، به خوبی در نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود. از آنجایی که برآوردهای روش دو جزئی فائو-۵۶ تابعی از مقدار پتانسیل تبخیر-تعرق است نوسان‌های روزانه این روند مربوط به تغییرات روزانه پارامترهای هواشناسی است که در رابطه پنمن-مانتیت برای تخمین مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده می‌شود. این مقدار در واقع قدرت تبخیرکنندگی جو را نشان می‌دهد که با افزایش دمای هوا، سرعت

باد، ساعات آفتابی و کاهش رطوبت نسبی، افزایش می‌یابد.

در ادامه ۴ تصویر ماهواره لندست ۸ بدون پوشش ابر در بازه کاشت تا برداشت گیاه پردازش و مقادیر تعرق و تبخیر با استفاده از مدل TSEB استخراج شد. خروجی‌های این مدل در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. در شکل ۷ که تصویر مقادیر تعرق نشان داده شده است تحلیل بصری نشان می‌دهد در مزرعه مورد نظر (با نشانگر مشکی مشخص شده است) و سایر مزارع در تصویری که مورد پردازش قرار گرفته است دارای تعرق فعال بوده و سایر قسمت‌ها که عاری از گیاه می‌باشد دارای تعرق صفر بوده همچنین در شکل ۸ که مقادیر تبخیر نشان داده شده است نیز به خوبی مشاهده می‌شود که در قسمت‌هایی که گیاه کاشت شده و زمین آبیاری شده مقادیر تبخیر مشهود و در سایر قسمت‌ها که زمین خشک بوده مقادیر تبخیر صفر بوده است. از طرفی هر دو شکل روند تغییرات تعرق و تبخیر در طول فرآیند رشد گیاه را به خوبی نشان می‌دهند. بر خلاف روش‌های نقطه‌ای یکی از مزیت‌های مهم روش‌های سنجش از دور برآورد مقادیر به صورت مکانی است که در شکل‌های ۷ و ۸ به خوبی در مزرعه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. این ویژگی کمک می‌کند تا ما بتوانیم در بخش‌های مختلف مزرعه وضعیت گیاه را پایش و تصمیمات لازم را اتخاذ کنیم.

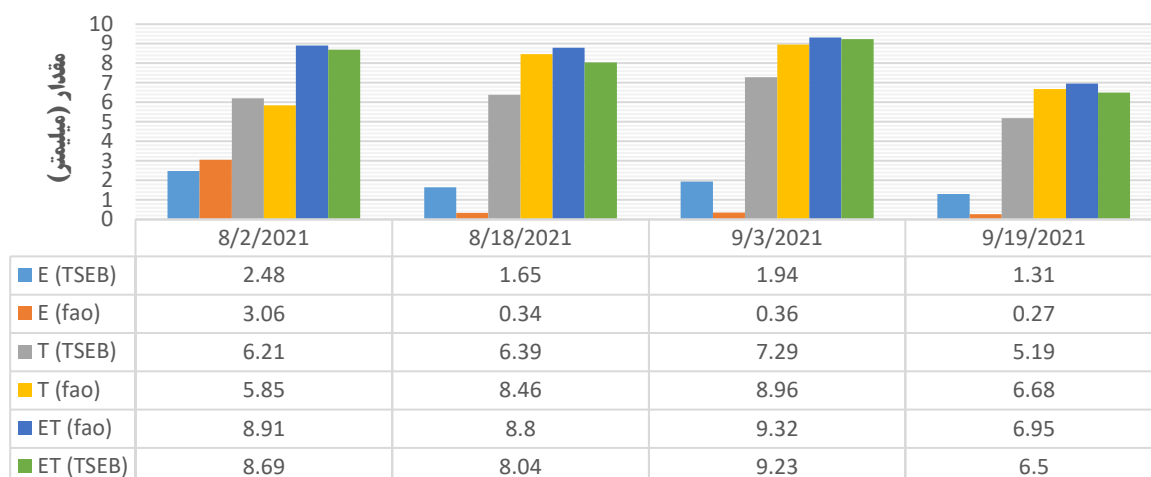


شکل ۷. تصاویر مقدار تعرق گیاه



شکل ۸. تصاویر مقدار تبخیر خاک

در شکل ۹ میانگین مقادیر محدوده اندازه‌گیری شده در مزرعه (۱۰ پیکسل تصویر) در مقابل خروجی‌های مدل دو جزئی فائو-۵۶ به صورت عددی نشان داده شده است تا آنچه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شد با شاخص‌های آماری نیز بررسی شود.



زمان (روز)

شکل ۹. مقادیر تبخیر (E)، تعرق (T) و تبخیر-تعرق (ET) مدل TSEB در مقایسه با مدل دو جزئی فائو-۵۶

در تاریخ ۸/۲ که برابر است با روز ۳۷ از ابتدای تاریخ کاشت، گیاه در روزهای ابتدایی مرحله توسعه رشد است و به دلیل اینکه درصد بیشتری از زمین در معرض هوا و نور خورشید است به دلیل دریافت انرژی بیشتر توسط خاک، مقدار تبخیر دارای حداکثر مقدار است و هرچه رو به جلو می‌رویم با افزایش تراکم گیاه و کم شدن مقدار زمین در معرض هوا، مقدار تبخیر کم و تعرق افزایش می‌یابد. در تاریخ های ۸/۱۸ و ۹/۳ که به ترتیب برابر است با روزهای ۵۳ و ۶۹ از تاریخ کاشت گیاه، گیاه در مرحله رشد میانی است که طبیعتاً گیاه در حال تراکم و در نتیجه افزایش تعرق و کاهش تبخیر است. تاریخ ۹/۳ با فاصله دو روز از یک آبیاری با حجم زیادی قرار دارد و همانطور که شکل ۹ نشان می‌دهد مقدار تبخیر از خاک نسبت به تاریخ تصویر قبل اندکی افزایش یافته است که این موضوع می‌تواند دلیل تفاوت مقادیر این تاریخ با روند کلی باشد. در تاریخ ۹/۱۹ که در ابتدای مرحله رشد پایانی گیاه قرار دارد طبیعتاً با افول گیاه (کاهش ضریب گیاهی) و همچنین کاهش دمای هوا (کاهش تبخیر-تعرق پتانسیل) مقدار تعرق کاهش یافته است.

جدول ۳. مقایسه آماری خروجی‌های مدل TSEB با دو روش یک جزئی و دو جزئی فائو-۵۶

روش‌های مورد ارزیابی	تبخیر و تعرق TSEB و تبخیر فائو-۵۶ دو جزئی	تبخیر-تعرق TSEB و تبخیر-تعرق فائو-۵۶ دو جزئی	تبخیر-تعرق TSEB و تبخیر-تعرق فائو-۵۶ دو جزئی	تبخیر-تعرق TSEB و تبخیر-تعرق فائو-۵۶ دو جزئی	تبخیر-تعرق TSEB و تبخیر-تعرق فائو-۵۶ دو جزئی
<i>RMSE</i> (mm/day)	۱/۱۸	۱/۵۳	۰/۴۵	۰/۳۲	۰/۵۸
<i>R</i> ²	۰/۷۵	۰/۴۶	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۹

همانطور که مشاهده می‌شود و بر اساس شاخص‌های آماری (جدول ۳) مقادیر کلی تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل TSEB با خروجی‌های هر دو روش دو جزئی و یک جزئی فائو-۵۶ هم‌خوانی بالایی دارد ($R^2 = 0.94$) اما مقادیر جزئی تعرق و تبخیر اختلاف نسبتاً بالایی دارد. میرالس و همکاران (۲۰۱۶) نیز به این موضوع اشاره کرده‌اند، ایشان مدل‌های مختلفی در تحقیقات زیادی را مورد ارزیابی قرار دادند و پس از بررسی خروجی‌ها به این نتیجه رسیدند که، اگرچه مقادیر کلی تبخیر-تعرق در مدل‌ها با هم مطابقت بالایی داشتند، اما در اجزای آن اختلافات زیاد بوده است. از طرفی رافی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی که خروجی‌های مدل دو جزئی فائو-۵۶ را با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی به سه روش لایسیمتری، ادی کوواریانس و اندازه‌گیری شیره گیاهی مقایسه کردند به این نتیجه دست یافتند که مدل فائو-۵۶ در برآورد مقدار تبخیر دارای کم برآورد و برای تعرق دارای بیش برآورد است که این موضوع در این پژوهش در مقایسه با مدل سنجش از دور TSEB به خصوص برای تبخیر نیز مشاهده شد. همچنین پریا و همکاران (۲۰۲۰) نیز به این مورد که مدل فائو-۵۶ دو جزئی مقدار ضریب گیاهی و به تبع آن تعرق را بیش برآورد می‌کند اشاره کردند.

اما بررسی نسبت تعرق و تبخیر به تبخیر-تعرق در این پژوهش در مقایسه با مطالعات سایر پژوهشگران از جمله پژوهش ژو و همکاران (۲۰۱۶) و لی ژی و همکاران (۲۰۱۹) که در سطح مزرعه انجام شد، نشان داد که مقادیر بدست آمده در دامنه مجاز هستند و می

توان به خروجی‌های این مدل اعتماد کرد. این نتایج در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه نسبت تعرق به تبخیر-تعرق این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها

روش	دامنه T/ET	میانگین T/ET
TSEB (این پژوهش)	۰/۷۱ تا ۰/۷۹	۰/۷۷
روش دو جزئی فائو-۵۶ (این پژوهش)	۰/۶۵ تا ۰/۹۶	۰/۸۸
ژو و همکاران (۲۰۱۶)	۰/۵۳ تا ۰/۷۵	۰/۷۵
لی ژی و همکاران (۲۰۱۹)	۰/۳۶ تا ۰/۸۴	۰/۸۴

همچنین مقایسه نتایج پژوهشی که کوثری و همکاران (۱۳۸۹) در مزرعه تحقیقات کشاورزی کرج روی گیاه ذرت با کاشتی تقریباً مشابه کاشت این پژوهش (زمان و نوع کاشت) انجام دادند و از روش اندازه‌گیری به روش نسبت بوون استفاده کردند، نشان داد نتایج این دو پژوهش مطابقت بسیار بالایی دارند (میانگین نسبت تعرق به تبخیر-تعرق ۷۷/۵ درصد و نسبت تبخیر به تبخیر-تعرق ۲۲/۵ درصد، در پژوهش کوثری و همکاران (۱۳۸۹)).

نتیجه‌گیری

جداسازی دقیق اجزای تبخیر-تعرق یکی از شکاف‌های کلیدی در زمینه تحقیقات در مورد این متغیر است. استفاده از روشی که بتواند در زمانی کوتاه و بدون نیاز به اندازه‌گیری داده‌های زمینی زیاد اجزای این متغیر را به‌صورت جداگانه تخمین بزند در رابطه با برنامه‌ریزی و مدیریت بخش‌های مختلف کشاورزی و همچنین بهینه‌سازی مصرف آب بسیار حائز اهمیت است.

در این پژوهش استفاده از یک مدل سنجش از دور برای جداسازی اجزای تبخیر-تعرق در سطح مزرعه ذرت مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. مدل‌های سنجش از دور علاوه بر موارد فوق اطلاعات مورد نظر (در اینجا تبخیر-تعرق و اجزای آن) را به‌صورت مکانی در اختیار ما قرار می‌دهند تا از کل منطقه مورد مطالعه اطلاعات دقیق داشته باشیم. برای این کار از چهار تصویر ماهواره لندست ۸ در طول دوره رشد گیاه ذرت علوفه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شد. پس از برآورد اجزای تبخیر-تعرق با استفاده از روش سنجش از دور به دلیل در دسترس نبودن ابزارهای دقیق اندازه‌گیری اجزای تبخیر-تعرق برای صحت‌سنجی روش سنجش از دور از روش‌های یک جزئی و دو جزئی فائو-۵۶ به عنوان روش‌های استاندارد برآورد تبخیر-تعرق و اجزای آن استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که خروجی‌های مدل سنجش از دور دو منبعی TSEB در مقایسه با خروجی‌های دو روش یک جزئی و دو جزئی فائو-۵۶ به عنوان مقادیر مرجع، در برآورد مقدار کلی تبخیر-تعرق مطابقت و دقت بالایی دارد اما در مورد برآورد اجزای آن بخصوص مقدار تبخیر تفاوت نسبتاً زیادی دارد که روش TSEB این مقادیر را نسبت به روش دو جزئی فائو-۵۶ بیشتر برآورد می‌کند. با توجه به نتایج این پژوهش مدل سنجش از دور دو منبعی TSEB در جزئیات نیازمند اعتبارسنجی با یک روش اندازه‌گیری دقیق است، چراکه روش دو جزئی فائو-۵۶ که در این پژوهش به عنوان روش مرجع در نظر گرفته شده، خود این مقادیر را برآورد می‌کند که می‌تواند همراه با خطا باشد، بنابراین در اینجا نمی‌توان دقت این مدل را در برآورد اجزای تبخیر-تعرق به کلی رد کرد.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، بعضی از محدودیت‌های این پژوهش شامل: در دسترس نبودن امکاناتی همچون کواد کوپتر و غیره که بتوان تعداد بیشتری تصویر هوایی تهیه و مورد بررسی قرار داد و همچنین محدودیت زمانی برای استفاده بیشتر از تصاویر ماهواره ای در فصل کشت گیاه محدودیت اعتبارسنجی دقیق مدل به دلیل در دسترس نبودن ابزارهای دقیق اندازه‌گیری میدانی مورد نظر قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

باقری هارونی، محمدحسین؛ ارشد، صالح؛ مجنون، ابوالفضل و مرید، سعید (۱۳۹۱). مقایسه مدل‌های سنجش از دور تک منبعی و دومنبعی شار انرژی در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دشت تبریز. *سنجش از دور و GIS/ایران*، ۴(۱)، ۸۱-۹۶.

بهمن آبادی، بهاره؛ کاویانی، عباس؛ دانشکار آراسته، پیمان و نظری، رستا (۱۳۹۷). برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و



الگوریتم‌های تک منبعی و دو منبعی در دشت قزوین. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲(۲)، ۲۲۷-۲۴۶.
کوثری، هانیه؛ دهقانی سانیچ، حسین؛ میرزایی، فرهاد و لیاقت، عبدالمجید (۱۳۸۹). جداسازی تبخیر-تعرق به روش بیلان انرژی (نسبت بوون) در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۱(۳)، ۷۱-۸۶.
ناصری، ابوالفضل؛ عباسی، فریبرز و اکبری، مهدی (۱۳۹۶). برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۸(۶۸)، ۱۷-۳۲.

REFERENCES

- Agam, N., Evett, S. R., Tolk, J. A., Kustas, W. P., Colaizzi, P. D., Alfieri, J. G., McKee, L. G., Copeland, K. S., Howell, T. A., & Chávez, J. L. (2012). Evaporative loss from irrigated interrows in a highly advective semi-arid agricultural area. *Advances in Water Resources*, 50, 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.07.010>
- Allen, Richard G., Pereira, Luis S., Raes, Dirk & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and Drainage Paper Crop by. *Irrigation and Drainage*, 300(56), 300. <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>
- Anderson, M. C., Norman, J. M., Diak, G. R., Kustas, W. P., & Mecikalski, J. R. (1997). A two-source time-integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 60(2), 195–216. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00215-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00215-5)
- Bagheri, M. H., Arshad, S., Majnuni, A., & Morid, S. (2012). A comparison of single-source and two-source energy fluxes models to estimate actual evapotranspiration in Tabriz Plain. *Iranian Journal of RS and GIS*, 4(1), 81–96. (In Persian)
- Bahmanabadi, B., Kaviani, A., Daneshkar, A. P., & Nazari, R. (2019). Estimation of Actual Evapotranspiration Using Satellite Imageries and Single-Source and Two-Source Surface Energy Balance Algorithms in Qazvin Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2), 227-246. (In Persian)
- Blyth, E. M., & Harding, R. J. (1995). Application of aggregation models to surface heat flux from the Sahelian tiger bush. *Agricultural and Forest Meteorology*, 72(3–4), 213–235. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(94\)02164-F](https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)02164-F)
- Campbell, G. S., & Norman, J. M. (2000). An Introduction to Environmental Biophysics. *Journal of Environmental Quality* 6(4). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.2134/jeq1977.00472425000600040036x>
- Choi, M., Kustas, W. P., Anderson, M. C., Allen, R. G., Li, F., & Kjaersgaard, J. H. (2009). An intercomparison of three remote sensing-based surface energy balance algorithms over a corn and soybean production region (Iowa, U.S.) during SMACEX. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(12), 2082–2097. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.07.002>
- Colaizzi, P. D., Agam, N., Tolk, J. A., Evett, S. R., Howell, T. A., Gowda, P. H., O’Shaughnessy, S. A., Kustas, W. P., & Anderson, M. C. (2014). Two-source energy balance model to calculate E, T, and ET: Comparison of priestley-taylor and penman-monteith formulations and two time scaling methods. *Transactions of the ASABE*, 57(2), 479–498. <https://doi.org/10.13031/trans.57.10423>
- Diarra, A., Jarlan, L., Er-Raki, S., Le Page, M., Aouade, G., Tavernier, A., Boulet, G., Ezzahar, J., Merlin, O., & Khabba, S. (2017). Performance of the two-source energy budget (TSEB) model for the monitoring of evapotranspiration over irrigated annual crops in North Africa. *Agricultural Water Management*, 193, 71–88. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.007>
- Er-Raki, S., Chehbouni, A., Boulet, G., & Williams, D. G. (2010). Using the dual approach of FAO-56 for partitioning ET into soil and plant components for olive orchards in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1769–1778. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.009>
- French, A. N., Jacob, F., Anderson, M. C., Kustas, W. P., Timmermans, W., Gieske, A., Su, Z., Su, H., McCabe, M. F., Li, F., Prueger, J., & Brunsell, N. (2005). Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). *Remote Sensing of Environment*, 99(1–2), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.015>
- Goudriaan, J. (1977). Crop micrometeorology: a simulation study (Doctoral dissertation, Wageningen University, Netherlands).
- Hathaway, J. C. (2016). Integration of an unmanned aircraft system and ground-based remote sensing to estimate spatially distributed crop evapotranspiration and soil water deficit throughout the vegetation soil root zone (Doctoral dissertation, Colorado State University, Fort Collins).
- Huntingford, C., Verhoef, A., & Stewart, J. (2000). Dual versus single source models for estimating surface temperature of African savannah. *Hydrology and Earth System Sciences* 4(1), pp. 185–191).

<https://doi.org/10.5194/hess-4-185-2000>

- Jiménez-Martínez, J., Skaggs, T. H., van Genuchten, M. T., & Candela, L. (2009). A root zone modelling approach to estimating groundwater recharge from irrigated areas. *Journal of Hydrology*, 367(1–2), 138–149. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.01.002>
- Kool, D., Agam, N., Lazarovitch, N., Heitman, J. L., Sauer, T. J., & Ben-Gal, A. (2014). A review of approaches for evapotranspiration partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 184, 56–70. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.003>
- Kosari, H., Dehghanisanij, H., Mirzaei, F., & Liaghat, A. M. (2010). Evapotranspiration partitioning using the Bowen ratio energy balance method in a sub-surface drip irrigation system. *Journal of Agricultural Engineering Research (Iran)*, 11(3), 71-86. (In Persian)
- Kustas, W. P., & Daughtry, C. S. T. (1990). Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 49(3), 205–223. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(90\)90033-3](https://doi.org/10.1016/0168-1923(90)90033-3)
- Kustas, W. P., & Norman, J. M. (1999). Evaluation of soil and vegetation heat flux predictions using a simple two-source model with radiometric temperatures for partial canopy cover. *Agricultural and Forest Meteorology*, 94(1), 13–29. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00005-2)
- Li, F., Kustas, W. P., Prueger, J. H., Neale, C. M. U., & Jackson, T. J. (2005). Utility of remote-sensing-based two-source energy balance model under low- and high-vegetation cover conditions. *Journal of Hydrometeorology*, 6(6), 878–891. <https://doi.org/10.1175/JHM464.1>
- Li, X., Gentine, P., Lin, C., Zhou, S., Sun, Z., Zheng, Y., Liu, J., & Zheng, C. (2019). A simple and objective method to partition evapotranspiration into transpiration and evaporation at eddy-covariance sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265(November 2018), 171–182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.017>
- Liu, M., Shi, H., Paredes, P., Ramos, T. B., Dai, L., Feng, Z., & Pereira, L. S. (2022). Estimating and partitioning maize evapotranspiration as affected by salinity using weighing lysimeters and the SIMDualKc model. *Agricultural Water Management*, 261(November 2021), 107362. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107362>
- Michel, D., Jiménez, C., Miralles, D. G., Jung, M., Hirschi, M., Ershadi, A., Martens, B., McCabe, M. F., Fisher, J. B., Mu, Q., Seneviratne, S. I., Wood, E. F., & Fernández-Prieto, D. (2016). The WACMOS-ET project - Part 1: Tower-scale evaluation of four remote-sensing-based evapotranspiration algorithms. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2), 803–822. <https://doi.org/10.5194/hess-20-803-2016>
- Miralles, D. G., Jiménez, C., Jung, M., Michel, D., Ershadi, A., McCabe, M. F., Hirschi, M., Martens, B., Dolman, A. J., Fisher, J. B., Mu, Q., Seneviratne, S. I., Wood, E. F., & Fernández-Prieto, D. (2016). The WACMOS-ET project - Part 2: Evaluation of global terrestrial evaporation data sets. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(2), 823–842. <https://doi.org/10.5194/hess-20-823-2016>
- Naseri, A., Abbasi, F., & Akbari, M. (2017). Estimating agricultural water consumption by analyzing water balance. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68), 17-32. (In Persian)
- 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. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77(3–4), 263–293. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02265-Y](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02265-Y)
- Norman, J. M., Kustas, W. P., Prueger, J. H., & Diak, G. R. (2000). Surface flux estimation using radiometric temperature: A dual-temperature-difference method to minimize measurement errors. *Water Resources Research*, 36(8), 2263–2274. <https://doi.org/10.1029/2000WR900033>
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., & Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4-20. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>
- Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 241(June), 106357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- Rafi, Z., Merlin, O., Le Dantec, V., Khabba, S., Mordelet, P., Er-Raki, S., Amazirh, A., Olivera-Guerra, L., Ait Hssaine, B., Simonneaux, V., Ezzahar, J., & Ferrer, F. (2019). Partitioning evapotranspiration of a drip-irrigated wheat crop: Inter-comparing eddy covariance-, sap flow-, lysimeter- and FAO-based methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 265(November 2018), 310–326. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.031>
- Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany*, 10(2), 290–301. <https://doi.org/10.1093/jxb/10.2.290>



- Ritchie, J. T. (1972). Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research*, 8(5), 1204–1213. <https://doi.org/10.1029/WR008i005p01204>
- Sánchez, J. M., López-Urrea, R., Rubio, E., González-Piqueras, J., & Caselles, V. (2014). Assessing crop coefficients of sunflower and canola using two-source energy balance and thermal radiometry. *Agricultural water management*, 137, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.02.002>
- Santanello, J. A., & Friedl, M. A. (2003). Diurnal covariation in soil heat flux and net radiation. *Journal of Applied Meteorology*, 42(6), 851–862. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2003\)042<0851:DCISHF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2003)042<0851:DCISHF>2.0.CO;2)
- Santos, F. L. (2018). Assessing olive evapotranspiration partitioning from soil water balance and radiometric soil and canopy temperatures. *Agronomy*, 8(4), 43. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040043>
- Schlesinger, W. H., & Jasechko, S. (2014). Transpiration in the global water cycle. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189–190, 115–117. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.01.011>
- Song, L., Liu, S., Zhang, X., Zhou, J., & Li, M. (2015). Estimating and validating soil evaporation and crop transpiration during the HiWATER-MUSOEXE. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(2), 334–338. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2014.2339360>
- Tanner, C. B., & Jury, W. A. (1976). Estimating Evaporation and Transpiration from a Row Crop during Incomplete Cover 1. *Agronomy Journal*, 68(2), 239–243. <https://doi.org/10.2134/agronj1976.00021962006800020007x>
- Timmermans, W. J., Kustas, W. P., Anderson, M. C., & French, A. N. (2007). An intercomparison of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and the Two-Source Energy Balance (TSEB) modeling schemes. *Remote Sensing of Environment*, 108(4), 369–384. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.11.028>
- Van Halsema, G. E., & Vincent, L. (2012). Efficiency and productivity terms for water management: A matter of contextual relativism versus general absolutism. *Agricultural Water Management*, 108, 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.016>
- Wang, K., & Dickinson, R. E. (2012). A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability. *Reviews of Geophysics*, 50(RG2005), 1–54. <https://doi.org/10.1029/2011RG000373.1.INTRODUCTION>
- Wei, Z., Paredes, P., Liu, Y., Chi, W. W., & Pereira, L. S. (2015). Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soybean in North China Plain. *Agricultural water management*, 147, 43-53. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.004>
- Wilcox, B. P., Seyfried, M. S., & Breshears, D. D. (2003). The water balance on rangelands. *Encyclopaedia of Water Science*, 2, 791–794. <https://doi.org/10.1081/E-EWS>
- Williams, D. G., Cable, W., Hultine, K., Hoedjes, J. C. B., Yepez, E. A., Simonneaux, V., Er-Raki, S., Boulet, G., De Bruin, H. A. R., Chehbouni, A., Hartogensis, O. K., & Timouk, F. (2004). Evapotranspiration components determined by stable isotope, sap flow and eddy covariance techniques. *Agricultural and Forest Meteorology*, 125(3–4), 241–258. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.04.008>
- Wolff, W., Francisco, J. P., Flumignan, D. L., Marin, F. R., & Folegatti, M. V. (2022). Optimized algorithm for evapotranspiration retrieval via remote sensing. *Agricultural Water Management*, 262(May 2021). <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107390>
- Yang, Y., Qiu, J., Zhang, R., Huang, S., Chen, S., Wang, H., Luo, J., & Fan, Y. (2018). Intercomparison of three two-source energy balance models for partitioning evaporation and transpiration in semiarid climates. *Remote Sensing*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/rs10071149>
- Zhou, S., Yu, B., Zhang, Y., Huang, Y., & Wang, G. (2016). Partitioning evapotranspiration based on the concept of underlying water use efficiency. *Water Resources Research*, 52(2), 1160–1175. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x>

Two-Source Energy Balance Model (TSEB) Evaluation for Evapotranspiration Partitioning of Corn under Drip Irrigation in Farm Scale

Extended Abstract

Introduction

The accurate separation of evapotranspiration components is one of the key gaps in evapotranspiration research. Knowing this variable as well as the mechanism of partitioning its components to determine the exact value of the components of the water balance equation concerning planning and managing water resources, optimizing crop production, designing irrigation systems, evaluating crop performance, identifying plant stresses and the impact of drought, and also evaluating the effects of climate change is very important on the efficiency of water consumption. These cases are important from the point of view that transpiration is usually associated with plant productivity, but evaporation does not directly affect productivity, that is why transpiration is considered the more favorable part and evaporation is considered the unfavorable part. Therefore, by knowing the exact amount of evaporation, losses can be greatly reduced with proper management methods. Traditional methods of evapotranspiration partitioning or the use of measurement tools are not very efficient due to problems such as high cost, point measurements, etc., therefore, using a method that can solve these problems and accelerate the determination, is very important. Many of these problems can be solved thanks to remote sensing science and remote sensing models developed in recent decades.

Research method

In this research, the effectiveness of the Two-Source Energy Balance (TSEB) model for partitioning evapotranspiration components into plant transpiration and soil evaporation, which is a remote sensing method based on physical equations, was investigated. This model uses bands of visible wavelength range (red, green and blue), near-infrared and thermal bands of satellite imagery. In this regard, after processing the satellite images, the outputs of this model were compared with the outputs of the FAO-56 dual crop coefficient standard method that calculates transpiration and evaporation separately, as reference values, in a corn field under drip irrigation located at the Agricultural Research Station of Ferdowsi University of Mashhad. Four images without cloud cover from Landsat Eight satellite were used in the interval between the sowing and harvesting of corn plants in the spring and summer planting season of 2021. Also, the required meteorological data was received from the automatic meteorological station located in the mentioned research station. The volume of irrigation water was also measured using a water meter in the field.

Findings

The results of this research showed that despite the closeness of the general values of evapotranspiration between the TSEB model and the FAO-56 dual crop coefficient method (R^2 value equal to 0.94), there is a large difference between the details of this parameter (R^2 value for transpiration and evaporation, 0.46 and 0.75 respectively). Examining the studies of other researchers has shown that this difference can be due to the overestimation of the transpiration amount and the underestimation of the evaporation amount in the FAO-56 dual crop coefficient method, which in this research is the reason for the difference, and here, because the FAO-56 dual crop coefficient method estimates transpiration and evaporation values and can be associated with some error, it cannot be said for sure that the TSEB model is not accurate enough. On the other hand, comparing the ratio of transpiration to evapotranspiration in this study (0.77) with the results of other researchers (0.75-0.88) showed that the outputs of the TSEB model are within the permissible range and provide reliable outputs.

Keywords: Evapotranspiration Partitioning, FAO-56 dual crop coefficient, Landsat 8, Remote Sensing, TSEB.