

Comparing Actual Evapotranspiration Rates Derived from MOD16 and Simulated Using SWAP Model (Case Study: Corn Fields in Qazvin Province)

B. Marbut¹, A. Ashrafzadeh^{2*}, M. Vazifedoust²
and M.R. Khaledian³

Abstract

Nowadays, evapotranspiration, which is an important component of water balance calculations, can be estimated using the technology of remote sensing. MOD16 actual evapotranspiration data are produced using the MODIS sensor imageries and have a spatial resolution of 1 Km. In the present study, MOD16 actual evapotranspiration data are compared with the actual evapotranspiration estimated using SWAP model. SWAP model was calibrated using the measured soil moisture content data during the growing season in two 38.9 and 45.6 ha corn fields located in Qazvin Province. The average RMSE values in the two fields under study were, respectively, 0.026 and 0.025. Considering the actual evapotranspiration estimated by the SWAP model as the evaluation basis, the MOD16 data were assessed. Accordingly, the RMSE values were obtained respectively 1.46 and 1.94 mm/day in the first and second field. Also, the r^2 values were calculated as 0.86 and 0.87. The results of the present study suggest that MOD16 product can be effectively used when the measured data of evapotranspiration are not available.

Keywords: Actual Evapotranspiration, MOD16, SWAP Mode, Remote Sensing.

Received: July 16, 2017

Accepted: November 1, 2017

مقایسه تبخیر- تفرق واقعی محصول MOD16 و شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP (مطالعه موردی: مزارع تحت کشت ذرت در استان قزوین)

بهاره مربوطه^۱، افشین اشرف‌زاده^{۲*}، مجید وظیفه‌دوست^۲ و
محمد رضا خالدیان^۳

چکیده

تبخیر- تفرق واقعی از اجزای مهم محاسبات بیلان آب است که امروزه امکان برآورد آن با استفاده از فناوری سنجش از دور فراهم شده است. داده‌های تبخیر- تفرق واقعی MOD16 با استفاده از تصاویر حاصل از سنجنده MODIS تولید می‌شوند و قدرت تفکیک مکانی آنها یک کیلومتر است. در این مطالعه، تبخیر- تفرق واقعی MOD16 با تبخیر- تفرق واقعی برآورد شده توسط مدل SWAP مقایسه شده است. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده از رطوبت خاک در دو مزرعه تحت کشت ذرت با مساحت‌های ۳۸/۹ و ۴۵/۶ هکتار در استان قزوین در طول فصل رشد، مدل SWAP مورد واسنجی قرار گرفت. مقدار متوسط RMSE برای دو مزرعه مورد مطالعه، برابر با ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲۶ به دست آمد. با در نظر گرفتن تبخیر- تفرق واقعی برآورد شده توسط مدل SWAP به عنوان مبنا، تبخیر- تفرق واقعی MOD16 مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارزیابی، مقدار RMSE در دو مزرعه مورد مطالعه به ترتیب برابر با ۱/۹۴ و ۱/۴۶ میلی‌متر در روز به دست آمد. همچنین مقدار r^2 نیز به ترتیب برابر با ۰/۸۶ و ۰/۸۷ محاسبه شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد در صورت عدم دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده از تبخیر- تفرق واقعی، محصول MOD16 را می‌توان به عنوان جایگزین به کار برد.

کلمات کلیدی: تبخیر- تفرق واقعی، MOD16، مدل SWAP، سنجش از دور.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۴/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۸/۱۰

1- M.Sc. Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: ashrafzadeh@guilan.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran; Department of Water Engineering and Environment, Caspian Sea Basin Research Center, Rasht, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران؛ گروه پژوهشی مهندسی آب و محیط زیست، پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر، رشت، ایران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

اندازه‌گیری شده از لایسیمتر و برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای، اختلافی کمتر از پنج درصد دارند. (Mu et al., 2011) در تحقیقی با استفاده از داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶، تبخیر- تعرق واقعی روزانه MOD16 در آمریکای شمالی را با داده‌های ۴۶ ایستگاه در شبکه AmeriFlux مقایسه کردند. نتایج نشان داد میانگین اریبی برای داده‌های تبخیر- تعرق واقعی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، معادل با ۰/۳۱ میلی‌متر در روز یا ۲/۴ درصد است. در تحقیقی دیگر در اروپا، (Ghilain et al., 2011) داده‌های ۳۰ دقیقه‌ای LSA-SAF MSG ETA مربوط به ماه‌های مارس و دسامبر ۲۰۰۷ را با داده‌های شش ایستگاه در شبکه CarboEurope مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در اقلیم مرطوب اروپا، میانگین اریبی برای داده‌های تبخیر- تعرق واقعی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، ۰/۴۸ میلی‌متر در روز است. در تحقیقی در محدوده قاره آسیا و با استفاده از داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶، (Kim et al., 2012) تبخیر- تعرق واقعی هشت روزه MOD16 را با داده‌های حاصل از ۱۷ ایستگاه در شبکه AsiaFlux مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان از عملکرد خوب الگوریتم MOD16 در مناطق پوشیده از جنگل داشت؛ اما مشاهده شد که در مناطق خشک و همچنین در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا، این الگوریتم از عملکرد مناسبی برخوردار نیست. (Liu et al., 2013) نیز داده‌های تبخیر- تعرق واقعی ماهانه MOD16، طی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ را در شمال چین با داده‌های به دست آمده از سه ایستگاه مجهز به ابزار اندازه‌گیری LAS مقایسه کردند. نتایج نشان داد داده‌های حاصل از MOD16، تغییرات تبخیر- تعرق واقعی را در مزارعی که شامل دو نوع کشت می‌شوند به خوبی نشان نمی‌دهند. (Velpuri et al., 2013) در تحقیقی با استفاده از داده‌های سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۷، تبخیر- تعرق واقعی ماهانه MOD16 را در سراسر ایالات متحده با داده‌های حاصل از ۶۰ ایستگاه در شبکه AmeriFlux مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اریبی منفی در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک بود. (Hu et al., 2015) تبخیر- تعرق واقعی هشت روزه MOD16 و روزانه LSA-SAF MSG ETA، مربوط به سراسر اروپا در سال ۲۰۱۱ را با داده‌های ۱۵ ایستگاه در شبکه CarboEurope مقایسه کردند. نتایج حاصل نشان از عملکرد خوب هر دو الگوریتم در اقلیم‌های معتدل و کاملاً مرطوب داشت اما در اقلیم‌های نیمه‌خشک، هر دو الگوریتم برآوردهایی کمتر از مقادیر زمینی ارائه کردند.

در دسترس نبودن داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی از تبخیر- تعرق موجب شده است امکان اعتبارسنجی الگوریتم‌های تولیدکننده تبخیر- تعرق واقعی در همه نقاط امکان‌پذیر نباشد. با این وجود در این مناطق

آبی که طی دو فرآیند تبخیر و تعرق، از خاک، پوشش گیاهی و توده‌های آبی خارج شده و به اتمسفر وارد می‌شود، نقش مهمی در مطالعات مرتبط با بیلان آب دارد (Asadzadeh et al., 2017). با پیشرفت تکنولوژی سنجش از دور در سالیان اخیر، امکان برآورد تبخیر- تعرق واقعی (ETA) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فراهم شده است (Ramezani Khojeen et al., 2016). در حال حاضر، دو محصول تبخیر- تعرق واقعی با قدرت تفکیک مکانی متوسط در مقیاس‌های قاره‌ای و جهانی قابل دسترس است. این دو محصول عبارتند از MOD16 (Mu et al., 2007; 2011) با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر در بازه‌های زمانی هشت روزه، ماهانه و سالانه در مقیاس جهانی و LSA-SAF MSG Eta (Ghilain et al., 2011; 2012; 2014) با قدرت تفکیک مکانی پنج کیلومتر در بازه‌های زمانی ۳۰ دقیقه‌ای و روزانه که در اروپا، آفریقا و بخش‌های شرقی آمریکای جنوبی در دسترس است. به غیر از این دو محصول، برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به کمک الگوریتم‌های سبال^۱ (Su, 2002) SEBS^۲ و یا Bastiaanssen et al., 1998a; 1998b) که مبتنی بر بیلان انرژی هستند نیز انجام داد.

به منظور اعتبارسنجی محصول‌های MOD16 و LSA-SAF MSG ETA و همچنین ارزیابی الگوریتم‌های مبتنی بر بیلان انرژی، مطالعاتی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. انجام این مطالعات مستلزم در اختیار داشتن داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی از تبخیر- تعرق واقعی است که این داده‌ها را می‌توان از لایسیمترهای وزنی یا حجمی به دست آورد. علاوه بر داده‌های حاصل از لایسیمتر، در حال حاضر ابزارهای اندازه‌گیری مبتنی بر روش همبستگی ادی^۳ در شبکه‌های AmeriFlux (Boden et al., 2013)، CarboEurope (Valentini et al., 2000) FLUXNET (Mizoguchi et al., AsiaFlux و Baldocchi et al., 2001) (2008) که شار بخار آب را در لایه نزدیک به سطح زمین اندازه‌گیری می‌کنند و یا ابزارهایی مانند LAS^۴ که قادر به اندازه‌گیری نوسانات جزئی در ضریب شکست هوا هستند نیز در برخی نقاط دنیا به منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق واقعی به کار می‌روند. (Trezza (2002) با استفاده از تصاویر سنجنده TM از ماهواره LANSAT 5 و تصاویر سنجنده ETM+ از ماهواره LANDSAT 7 و با اجرای الگوریتم سبال، تبخیر- تعرق واقعی روزانه و ماهانه را در جنوب ایالت آیداهو برآورد کرد و مقادیر حاصل را با داده‌های به دست آمده از لایسیمترهای وزنی مقایسه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد تبخیر- تعرق واقعی

در شهرستان آبیگ در استان قزوین به عنوان منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد. این شرکت دارای پنج مزرعه با سیستم آبیاری بارانی عقربه‌ای (تحت عناوین CP1 تا CP5) و تعدادی مزرعه با سیستم آبیاری بارانی کلاسیک و ثقلی است. وجود مزارعی با کشت یکنواخت و وسیع در کشت و صنعت هزارجلفا امکان استفاده از محصول MOD16 با دقت تفکیک مکانی یک کیلومتر را فراهم می‌کند. در این پژوهش، مزرعه CP2 با مساحت ۳۸/۹ هکتار و مزرعه CP5 با مساحت ۴۵/۶ هکتار انتخاب شدند که در هر دو مزرعه، ذرت علوفه‌ای کشت می‌شود. در مطالعه Fallah (2014)، رطوبت خاک در دوره کشت ذرت در این دو مزرعه اندازه‌گیری شده است. در مطالعه یادشده، مساحت تحت پوشش هر مزرعه با استفاده از یک شبکه مربع شکل تقسیم‌بندی شد و در هر مزرعه، چهار قطعه میانی به منظور نمونه‌برداری و اندازه‌گیری رطوبت خاک انتخاب شدند. از هشت قطعه انتخاب شده، چهار قطعه تحت اسامی P20، P21، P28 و P29 در مزرعه CP2 و چهار قطعه تحت اسامی P58، P59، P66 و P67 در مزرعه CP5 قرار دارند (شکل ۱). برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک این دو مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌برداری از رطوبت خاک در هر کدام از قطعات، در یک بازه زمانی ۱۱۳ روزه از پنجم تیر تا ۲۴ مهر ۱۳۹۱ (۲۵ ژوئن تا پانزدهم اکتبر ۲۰۱۲ میلادی) و در چهار عمق ۰-۱۵، ۳۰-۴۵، ۶۰-۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک صورت گرفته است. این بازه زمانی مطابق با دوره رشد ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه است.

Table 1- Some physical properties of the soil in selected parts

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک در قطعات منتخب

Part name	Bulk density (g.cm ⁻³)	Sand %	Silt %	Clay %
P20	1.37	33	35	32
P21	1.34	42	31	27
P28	1.17	29	35	36
P29	1.15	44	31	25
P58	1.03	42	30	29
P59	1.06	53	26	21
P66	1.34	40	29	31
P67	1.17	40	32	29

۲-۲- محصول MOD16

در این مطالعه، داده‌های تبخیر- تعرق واقعی MOD16 که از محصولات سنجنده MODIS و بخشی از پروژه NASA/EOS است مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. MODIS یکی از سنجنده‌های اپتیکال نصب‌شده بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua است.

می‌توان از روش‌های جایگزین استفاده کرد. به عنوان مثال، Sun et al. (2011) تبخیر- تعرق واقعی روزانه در منطقه‌ای در چین را با استفاده از تصاویر سنجنده ETM+ از ماهواره LANDSAT 7 و با استفاده از الگوریتم سبال برآورد کرده و نتایج حاصل را با داده‌های برداشت‌شده از تشت تبخیر مقایسه کردند. مقایسه نتایج، تطابق مناسبی میان داده‌های برآوردشده و مشاهده‌شده نشان داد. برخی محققین نیز با توجه به اثبات دقت روش پنمن-مانتیت فائو^۵ (Allen et al., 1998) در مطالعات مختلف (Shabani et al., 2017)، این روش را به عنوان مبنایی برای اعتبارسنجی تبخیر- تعرق مرجع حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار داده‌اند که به عنوان نمونه می‌توان به مطالعه Moradi et al. (2016) اشاره کرد. این محققین، تبخیر- تعرق مرجع روزانه در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ را با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو در چهار ایستگاه هم‌دیدگی استان زنجان برآورد کرده و این مقادیر را با محصول MOD16 مقایسه کردند. نتایج نشان داد در سه ایستگاه از چهار ایستگاه هم‌دیدگی مورد بررسی، MOD16 مقادیری کمتر از روش فائو ارائه می‌کند. Bastiaanssen et al. (2002) نیز تبخیر- تعرق واقعی برآوردشده با استفاده از الگوریتم سبال را با مقادیر برآوردشده توسط مدل واسنجی شده SWAP (Kroes et al., 2000) مقایسه کردند. این محققین، تبخیر- تعرق واقعی را در حوضه آبریز رود سند در پاکستان با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA و الگوریتم سبال برآورد کردند و عنوان کردند که نتایج حاصل، کمتر از پنج درصد با نتایج مدل SWAP تفاوت دارد. Singh et al. (2010) نیز در تحقیقی در شمال غرب چین، نتایج حاصل از الگوریتم SEBS و نتایج مدل SWAP را با یکدیگر مقایسه کردند. مطالعات ذکرشده، لزوم ارزیابی داده‌های تبخیر- تعرق حاصل از فناوری سنسجش از دور را توجیه می‌کنند و این ارزیابی بایستی پیش از کاربرد این داده‌ها، در مناطق مختلف انجام شود. در مقایسه مقادیر اندازه‌گیری‌شده در یک نقطه و تبخیر- تعرق حاصل از تصاویر ماهواره‌ای که یک منطقه وسیع را شامل می‌شوند بایستی به تفاوت مقیاس نیز توجه کرد و روشی را به عنوان مبنای ارزیابی مدنظر قرار داد که از نظر مقیاس، با تصاویر ماهواره‌ای هماهنگی بیشتری داشته باشد. در مقاله حاضر، تبخیر- تعرق واقعی حاصل از مدل واسنجی شده SWAP به عنوان مبنایی برای اعتبارسنجی محصول MOD16 مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

اراضی کشاورزی شرکت کشت و صنعت هزارجلفا با وسعت ۸۶۰ هکتار



Fig. 1- CP2 and CP5 fields and selected parts for soil moisture measurement (Fallah, 2014)
 شکل ۱- مزارع CP2 و CP5 و قطعات منتخب برای اندازه‌گیری رطوبت خاک (Fallah, 2014)

سراسر دنیا به منظور ارزیابی سناریوهای آبیاری، شبیه‌سازی و مدیریت شوری خاک، برآورد نوسانات سطح ایستایی، پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف و برآورد اجزای بیلان آب در مقیاس مزرعه‌ای مورد استفاده قرار گرفته که از میان مطالعات متعدد به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات انجام‌شده توسط Noory et al. (2011)، Bennett et al. (2013)، Ma et al. (2015)، Badihneshin et al. (2015)، Kumar et al. (2015) و Hassani et al. (2016) اشاره کرد. در مدل SWAP، جریان عمودی آب در خاک با استفاده از معادله یک‌بعدی ریچاردز توصیف می‌شود. این معادله که از تلفیق معادله بقای جرم و معادله داری در شرایط غیراشباع به دست می‌آید به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$C(h) \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S_a(h) \quad (1)$$

که در آن، $C(h)$ شیب منحنی نگهداشت رطوبتی خاک (cm^{-1})، h پتانسیل ماتریک (cm)، t زمان بر حسب روز، z عمق (cm)، $K(h)$ هدایت هیدرولیکی غیراشباع ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$) و $S_a(h)$ میزان جذب آب به وسیله ریشه ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) است. در مدل SWAP، توابع پیشنهادشده توسط van Genuchten (1980) و Mualem (1976) به منظور توصیف رطوبت خاک و هدایت هیدرولیکی غیراشباع مورد استفاده قرار می‌گیرند. این توابع به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\theta(h) = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^{(n-1)/n}} \quad (2)$$

این سنجنده دارای ۳۶ باند طیفی شامل ۱۱ باند در محدوده نور مرئی، هفت باند در محدوده نزدیک به مادون قرمز، دو باند در محدوده مادون قرمز طول موج کوتاه، هشت باند در محدوده مادون قرمز طول موج متوسط و هشت باند در محدوده مادون قرمز طول موج بلند یا حرارتی است. قدرت تفکیک مکانی باندهای یک و دو در این سنجنده برابر با ۲۵۰ متر، باندهای سه تا هفت برابر با ۵۰۰ متر و باندهای هشت تا ۳۶ برابر با یک کیلومتر است. محصول MOD16 حاوی داده‌های تبخیر- تعرق است که این داده‌ها با استفاده از الگوریتم ارائه‌شده توسط Mu et al. (2011) تولید می‌شوند و با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر به صورت رایگان در دسترسند. در این پژوهش، پس از دریافت تصاویر در تاریخ‌های موردنظر، با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 پردازش‌های لازم شامل تغییر فرمت، اعمال تصحیحات هندسی لازم، زمین‌مرجع کردن تصاویر و اختصاص سیستم مختصات انجام شد و در نهایت، داده‌های مورد نیاز از تبخیر- تعرق واقعی فراهم شد.

۳-۲- مدل SWAP

مدل SWAP بر پایه ارتباط فیزیکی موجود بین خاک (S)، آب (W)، اتمسفر (A) و گیاه (P) شکل گرفته و قادر به شبیه‌سازی فرآیندهایی مانند جریان آب در خاک، رشد گیاه، انتقال املاح و توزیع حرارت است. SWAP قادر است عملکرد محصول و اجزای بیلان آب مانند رطوبت خاک و تبخیر- تعرق واقعی را پیش‌بینی کند. این مدل در

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |M_i - S_i| \quad (7)$$

$$CRM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N M_i} \quad (8)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2} \quad (9)$$

در ارزیابی مدل SWAP، M_i و S_i به ترتیب رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در نقطه i و N تعداد مشاهدات است. در اعتبارسنجی محصول MOD16، M_i تبخیر-تغرق واقعی حاصل از مدل SWAP و S_i تبخیر-تغرق واقعی MOD16 است. علاوه بر این آماره‌ها، آماره $nRMSE$ که به صورت حاصل تقسیم $RMSE$ بر میانگین مقادیر M_i تعریف و بر حسب درصد بیان می‌شود نیز محاسبه شد. $nRMSE$ کمتر از ۱۰ درصد بیان‌کننده شبیه‌سازی عالی، در محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد شبیه‌سازی بسیار خوب، در محدوده ۲۰ تا ۳۰ درصد شبیه‌سازی متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد نیز بیان‌کننده شبیه‌سازی ضعیف است (Jamieson et al., 1991). آماره CRM نیز نشان‌گر تمایل مدل به شبیه‌سازی بیش از حد یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌هاست. CRM منفی به معنی تمایل مدل به برآورد مقادیری بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است. EF می‌تواند مقادیری بین منهای بی‌نهایت تا یک داشته باشد. مقدار بهینه این آماره یک است و مقادیر منفی آن بیان می‌کنند که استفاده از میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، بهتر از استفاده از مدل و شبیه‌سازی متغیر موردنظر است.

۳- نتایج

۳-۱- مدل SWAP

پس از واسنجی مدل SWAP و به‌دست‌آوردن مقادیر بهینه پارامترهای هیدرولیکی خاک، رطوبت شبیه‌سازی شده توسط مدل با رطوبت اندازه‌گیری شده مقایسه شد و آماره‌های ارزیابی در هر کدام از عمق‌های اندازه‌گیری محاسبه شدند. مقادیر این آماره‌ها برای هر کدام از دو مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

آماره r^2 نشان‌دهنده یک رابطه خطی میان مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده از رطوبت خاک است. لازم به ذکر است آماره r^2 نشان‌دهنده خطای مدل نیست و ارزیابی خطای مدل بایستی بر مبنای پنج آماره دیگر انجام شود.

$$K(\theta) = K_s S_e^\lambda \left[1 - (S_e^{n(n-1)})^{(n-4)/n} \right]^2 \quad (3)$$

در این معادلات، θ_r رطوبت باقی‌مانده ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)، θ_s رطوبت اشباع ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)، θ رطوبت واقعی ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)، α بر حسب cm^{-1} و n (بدون بعد) فاکتورهای تجربی شکل، $K(\theta)$ هدایت هیدرولیکی در رطوبت θ ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)، K_s هدایت هیدرولیکی اشباع ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)، $S_e = (\theta(h) - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$ و λ یک پارامتر شکل بدون بعد است. در مدل SWAP، تبخیر-تغرق مرجع (یا پتانسیل) بر اساس شاخص سطح برگ E_0 به دو بخش تغرق (آب جذب شده توسط ریشه) و تبخیر از خاک تقسیم می‌شود. سپس با در نظر گرفتن تنش‌های ناشی از خشکی یا شوری، تغرق واقعی و با در نظر گرفتن خشک شدن خاک سطحی، تبخیر واقعی برآورد می‌شود.

واسنجی پارامترهای هیدرولیکی خاک شامل θ_r ، θ_s ، K_s ، α ، n و λ را می‌توان با مدل‌سازی معکوس و با استفاده از برنامه PEST انجام داد. در پژوهش حاضر، داده‌های اندازه‌گیری شده از رطوبت خاک به منظور واسنجی این پارامترها مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور، تابع هدف به صورت اختلاف بین رطوبت اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل تعریف شد و این تابع طی فرآیند بهینه‌سازی، کمینه شد:

$$\text{minimize } \varphi(\theta, b) = \sum_{i=1}^N W_i [\theta_{\text{obs}}(z, t_i) - \theta_{\text{sim}}(z, b, t_i)]^2 \quad (4)$$

که در آن، b بردار مجهول‌ها، $\theta_{\text{obs}}(z, t_i)$ رطوبت مشاهده شده در عمق z و زمان t_i و $\theta_{\text{sim}}(z, b, t_i)$ رطوبت شبیه‌سازی شده با استفاده از بردار مجهول‌ها، N تعداد مشاهدات و W_i ضریب وزنی مقدار مشاهده شده نام است. در این مسئله بهینه‌سازی، هدف یافتن برداری منحصر به فرد از مجهول‌هاست به گونه‌ای که تابع هدف کمینه شود.

۴-۲- معیارهای ارزیابی

ارزیابی عملکرد مدل SWAP و همچنین مقایسه تبخیر-تغرق برآورده شده توسط مدل و تبخیر-تغرق MOD16، با استفاده از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE)، ضریب همبستگی پیرسون (r)، میانگین قدرمطلق خطا^۸ (MAE)، ضریب جرم باقی‌مانده^۹ (CRM) و کارایی مدل‌سازی^{۱۰} (EF) انجام شد. این آماره‌ها به ترتیب با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - S_i)^2} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2 \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}} \quad (6)$$

Table 2- Values of the SWAP model assessment measures in soil water simulation

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت خاک

Field name	Soil depth (cm)	RMSE (cm ³ .cm ⁻³)	nRMSE (%)	r ²	MAE (cm ³ .cm ⁻³)	CRM	EF
CP2	0-15	0.028	14.4	0.84	0.021	0.044	0.58
	15-30	0.023	12.6	0.83	0.018	-0.001	0.54
	30-45	0.027	13.1	0.65	0.020	0.003	0.47
	45-60	0.027	13.8	0.77	0.022	0.003	0.48
CP5	0-15	0.027	14.0	0.76	0.022	0.004	0.43
	15-30	0.019	10.5	0.80	0.017	-0.027	0.57
	30-45	0.026	13.6	0.75	0.021	0.022	0.47
	45-60	0.027	17.1	0.71	0.022	-0.034	0.33

۳۰-۱۵ سانتی‌متر، به‌غیر از رطوبتهای بیشتر از ۳/۰، مدل عملکرد بسیار خوبی در شبیه‌سازی رطوبت خاک داشته است. همچنین مشاهده می‌شود که در این دو عمق، نتایج شبیه‌سازی بهتر از نتایج حاصل در عمق‌های ۴۵-۳۰ و ۶۰-۴۵ سانتی‌متری است.

۳-۲- اعتبارسنجی محصول MOD16

تبخیر- تعرق واقعی MOD16 در دو مزرعه مورد مطالعه، برای دوره کاشت ذرت علوفه‌ای در سال ۲۰۱۲ میلادی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. تصاویر دریافتی دارای قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر بوده و همان‌گونه که ذکر شد، پردازش آنها با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 انجام شد. با در نظر گرفتن تبخیر- تعرق واقعی حاصل از مدل واسنجی‌شده SWAP در دو مزرعه مورد بررسی به عنوان مبنای، تبخیر- تعرق واقعی MOD16 مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. اختلاف میان تبخیر- تعرق واقعی MOD16 و تبخیر- تعرق حاصل از مدل در کل فصل رشد، در دو مزرعه CP2 و CP5 به ترتیب برابر با ۱۴۹ میلی‌متر و ۲۰۳ میلی‌متر محاسبه شد. مقادیر محاسبه‌شده برای آماره‌های ارزیابی در هر دو مزرعه مورد مطالعه نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

مقادیر r² در جدول ۳ بیان می‌کنند که یک رابطه خطی میان تبخیر- تعرق واقعی MOD16 و تبخیر- تعرق برآوردشده توسط مدل SWAP وجود دارد. با این وجود، برای بررسی دقت محصول MOD16 بایستی مقادیر پنج آماره دیگر را مدنظر قرار داد. میانگین RMSE در دو مزرعه مورد مطالعه برابر با ۱/۷۰ میلی‌متر در روز است. (Mu et al. (2011) در مطالعه خود در ایالات متحده، میانگین RMSE برای MOD16 را برابر با ۰/۹۰ میلی‌متر در روز محاسبه کردند. (Kim et al. (2012) نیز طی مطالعه‌ای در آسیا، مقادیری در محدوده ۰/۴۶ تا ۲/۷۳ میلی‌متر در روز برای RMSE گزارش کردند. (Hu et al. (2015) نیز در مطالعه خود در اروپا، مقادیر ۰/۳۳ تا ۱/۵۷ میلی‌متر در روز را برای RMSE به دست آوردند.

بر مبنای مقادیر محاسبه‌شده برای nRMSE می‌توان گفت عملکرد مدل در محدوده بسیار خوب قرار می‌گیرد. مقادیر به‌دست‌آمده برای EF نیز حاکی از توانایی SWAP در مدل‌سازی تغییرات رطوبت خاک در دو مزرعه مورد مطالعه است. با توجه به آماره‌های RMSE، nRMSE، MAE، CRM و EF مشاهده می‌شود که در هر دو مزرعه، مدل به خوبی توانسته است تغییرات رطوبت خاک را شبیه‌سازی کند. همچنین مشاهده می‌شود که بهترین شبیه‌سازی، مربوط به عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر است. (Bonenfant et al. (2010) در شبیه‌سازی تغییرات رطوبت خاک در مزارع تحت کشت ذرت با مدل SWAP، RMSE را برابر با ۰/۳۲ به‌دست آوردند. (Droogers et al. (2010) نیز مدل SWAP را مورد ارزیابی قرار داده و r² را برای دو مزرعه تحت کشت گندم و پنبه به ترتیب برابر با ۰/۶۷ و ۰/۸۴ گزارش کردند. (Zare Abyaneh et al. (2011) در شبیه‌سازی توزیع رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل SWAP، RMSE را در محل قطره‌چکان برابر با ۰/۰۰۱ و در فاصله ده سانتی‌متری از آن برابر با ۰/۰۸ به‌دست آوردند. (Ma et al. (2015) نیز در پژوهشی با هدف دست‌یابی به یک برنامه بهینه آبیاری با استفاده از SWAP در سه مزرعه در شمال چین، مقادیر ۰/۰۴۷، ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۳ را برای RMSE و ۱۶/۵، ۱۴/۶ و ۱۲/۸ را برای nRMSE گزارش کردند. در مجموع با توجه به مقادیر آماره‌های ارزیابی و نتایج مطالعات گذشته، می‌توان گفت واسنجی مدل SWAP در دو مزرعه مورد مطالعه به خوبی انجام شده و بنابراین می‌توان تبخیر- تعرق واقعی برآوردشده توسط مدل را به عنوان مبنای ارزیابی MOD16 مورد استفاده قرار داد.

در شکل ۲ مقادیر شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده نسبت به یکدیگر ترسیم شده و پراکنش نقاط حول خط یک به یک نمایش داده شده است. در این شکل برای هر کدام از عمق‌های اندازه‌گیری یک نمودار ارائه شده است که داده‌های مربوط به هر دو مزرعه را شامل می‌شود. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در عمق‌های ۱۵-۰ و

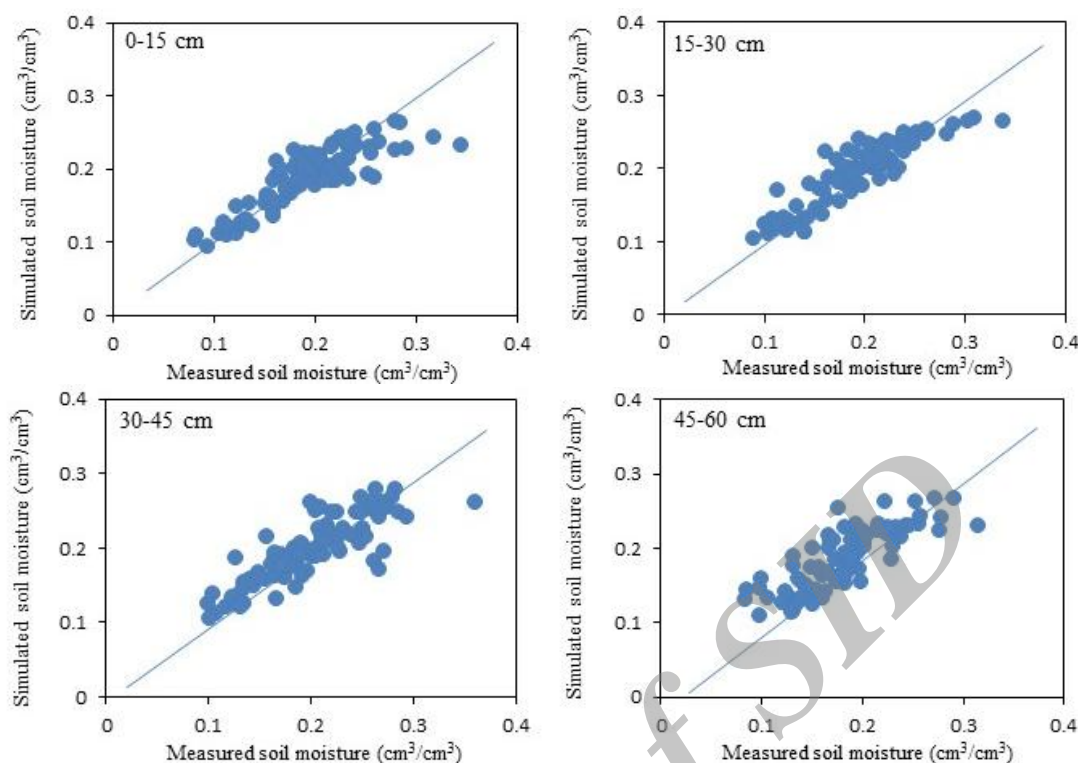


Fig. 2- Comparison between soil moisture simulated using the SWAP model and measured values (data from both fields)

شکل ۲- مقایسه رطوبت حجمی شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAP با مقادیر اندازه‌گیری شده (داده‌های حاصل از هر دو مزرعه)

Table 3- Values of MOD16 actual evapotranspiration assessment measures

جدول ۳- مقادیر آماره‌های ارزیابی تبخیر- تفرق واقعی MOD16

Field name	RMSE (mm.d ⁻¹)	nRMSE (%)	r ²	MAE (mm.d ⁻¹)	CRM	EF
CP2	1.46	14.2	0.86	1.32	0.026	0.69
CP5	1.94	20.8	0.87	1.80	0.132	0.68

را گزارش کرده‌اند. همچنین مقادیر EF به‌دست‌آمده نیز حاکی از نزدیکی داده‌های حاصل از دو روش است. در شکل ۳، تبخیر- تفرق واقعی MOD16 با تبخیر- تفرق حاصل از مدل SWAP در طول فصل رشد ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه مقایسه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، هر دو منحنی در هر دو مزرعه، از الگوی تقریباً یکسانی پیروی می‌کنند. در مجموع با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان گفت MOD16، با توجه به این موضوع که عدم قطعیت بسیار زیادی در برآورد تبخیر- تفرق وجود دارد، داده‌هایی قابل اطمینان از متغیر تبخیر- تفرق واقعی در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

اندازه‌گیری تبخیر- تفرق واقعی در مقیاس‌های مکانی خرد و کلان همواره به‌عنوان مسأله‌ای مهم مطرح بوده است.

در هر سه مطالعه، MOD16 با داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی از تبخیر- تفرق واقعی مقایسه شده است. (Singh et al. (2010) استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR از ماهواره NOAA و الگوریتم SEBS، تبخیر- تفرق واقعی را در سه مزرعه در شمال غرب چین برآورد کرده و مقادیر حاصل را با نتایج به‌دست‌آمده از مدل SWAP مقایسه کردند. این محققین، مقادیر ۱/۴۳، ۱/۵۸ و ۱/۳۱ میلی‌متر در روز را برای RMSE به دست آوردند. با توجه به مقادیر nRMSE برای دو مزرعه CP2 و CP5 می‌توان گفت به‌طور میانگین، اختلاف میان تبخیر- تفرق واقعی MOD16 و تبخیر- تفرق واقعی حاصل از مدل در منطقه مورد مطالعه، کمتر از ۲۰ درصد است. علاوه بر این، با توجه به مقادیر CRM می‌توان گفت به‌طور میانگین، MOD16 مقادیری کمتر نسبت به SWAP برای تبخیر- تفرق واقعی ارائه می‌کند هرچند این کم‌برآوردی، قابل توجه نیست. (Mu et al. (2011 و Hu et al. (2015) نیز کم‌برآوردی MOD16 در مناطق نیمه‌خشک

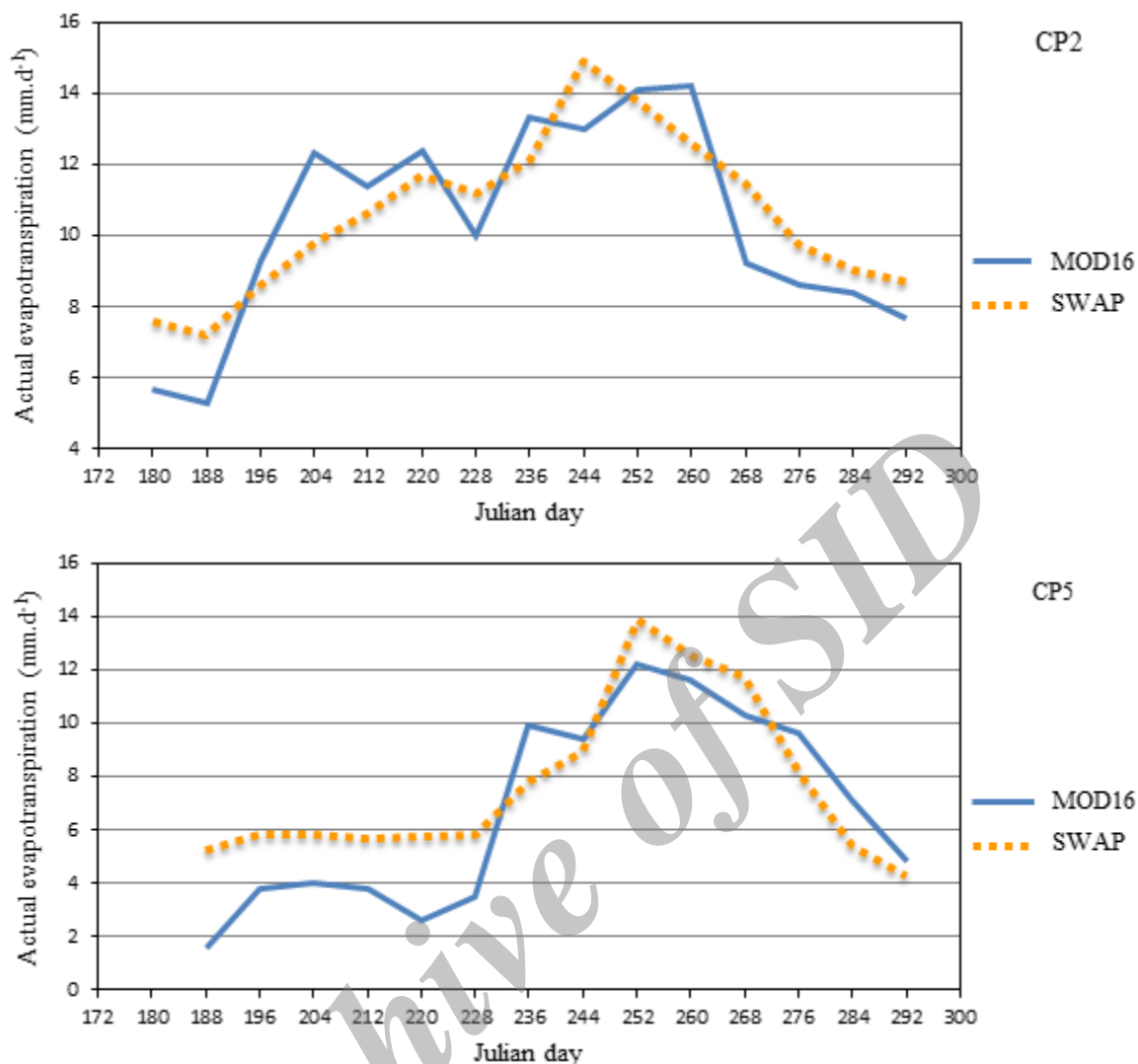


Fig. 3- Comparison between MOD16 actual evapotranspiration and the SWAP model results

شکل ۳- مقایسه تبخیر- تعرق واقعی MOD16 با نتایج مدل SWAP

کم برآوردی تبخیر- تعرق واقعی در طول دوره رشد، می تواند در شرایط عدم دسترسی به داده های هواشناسی و یا به منظور اجتناب از واسنجی مدل های پیچیده تری مانند SWAP، به عنوان منبعی قابل قبول برای برآورد تبخیر- تعرق واقعی مورد استفاده قرار گیرد.

پی نوشتها

- 1- Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)
- 2- Surface Energy Balance System
- 3- Eddy Covariance
- 4- Large Aperture Scintillometer
- 5- FAO Penman-Monteith
- 6- Leaf Area Index (LAI)
- 7- Root Mean Square Error

هر چند اندازه گیری این متغیر در مقیاس کوچک با دقت بالا امکان پذیر است اما ابزار و ادوات لازم برای اندازه گیری این متغیر، به سادگی در دسترس نیست و علاوه بر این، تعمیم مقادیر نقطه ای اندازه گیری شده به مقیاس های بزرگ چندان خالی از اشکال نیست. این محدودیت ها توجه به استفاده از سنجش از دور را افزایش داده و الگوریتم هایی برای برآورد تبخیر- تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره ای ارائه شده است. بدیهی است بایستی پیش از کاربرد عملی این الگوریتم ها، از صحت آنها اطمینان حاصل کرد. در مطالعه حاضر، تبخیر- تعرق واقعی حاصل از مدل واسنجی شده SWAP به عنوان مبنای ارزیابی تبخیر- تعرق واقعی MOD16 مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به نتایج پژوهش می توان گفت محصول MOD16 علی رغم خطایی معادل با ۱/۴۶ و ۱/۹۴ میلی متر در روز در دو مزرعه مورد بررسی و به طور میانگین

CropSyst and MACRO comparison in two contrasting soils cropped with maize in Northern Italy. *Agricultural Water Management* 97(7):1051–1062

Droogers P, Immerzeel WW, Lorite IJ (2010) Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agricultural Water Management* 97(9):1351–1359

Fallah M (2014) Estimation of soil moisture using the agrohydrological SWAP model and its comparison with field and satellite soil moisture data. M.Sc. Thesis, University of Guilan, Rasht, Iran (In Persian)

Ghilain N, Arboleda A, Gellens-Meulenberghs F (2011) Evapotranspiration modeling at large scale using near-real time MSG SEVIRI derived data. *Hydrology and Earth System Sciences* 15(3):771–786

Ghilain N, Arboleda A, Sepulcre-Canto G, Batelaan O, Ardo J, Gellens-Meulenberghs F (2012) Improving evapotranspiration in a land surface model using biophysical variables derived from MSG/SEVIRI satellite. *Hydrology and Earth System Sciences* 16(8):2567–2583

Ghilain N, De Roo F, Gellens-Meulenberghs F (2014) Evapotranspiration monitoring with Meteosat Second Generation satellites: Improvement opportunities from moderate spatial resolution satellites for vegetation. *International Journal of Remote Sensing* 35(7):2654–2670

Hassanli M, Ebrahimian H, Mohammadi E, Rahimi A, Shokouhi A (2016) Simulating maize yields when irrigating with saline water, using the AquaCrop, SALTMED, and SWAP models. *Agricultural Water Management* 176:91–99

Hu G, Jia L, Menenti M (2015) Comparison of MOD16 and LSA-SAF MSG evapotranspiration products over Europe for 2011. *Remote Sensing of Environment* 156:510–526

Jamieson PD, Porter JR, Wilson DR (1991) A test of the computer simulation model ARC WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research* 27:337–350

Kim HW, Hwang K, Mu Q, Lee SO, Choi M (2012) Validation of MODIS 16 global terrestrial evapotranspiration products in various climates and land cover types in Asia. *KSCE Journal of Civil Engineering* 16(2):229–238

Kroes JG, Wesseling JG, Van Dam JC (2000) Integrated modelling of the soil–water–atmosphere–plant system using the model SWAP 2.0: An overview of theory and an application. *Hydrological Processes* 14(11–12):1993–2002

8- Mean Absolute Error

9- Coefficient of Residual Mass

10- Modeling Efficiency

۵- مراجع

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome

Asadzadeh F, Kaki M, Shakiba S (2017) Trends analysis of reference evaporation in the synoptic sites of Kurdistan province using Spearman's test. *Iran-Water Resources Research* 13(1):216–222 (In Persian)

Badiheshin A, Noory H, Vazifedoust M (2015) Improving crop yield estimation through SWAP model using satellite data. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 45(4):379–388 (In Persian)

Baldocchi D, Falge E, Gu LH, Olson R, Hollinger D, et al. (2001) FLUXNET: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities. *Bulletin of the American Meteorological Society* 82:2415–2434

Bastiaanssen WGM, Ahmad MD, Chemin Y (2002) Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. *Water Resources Research*, 38(12):9/1–9/9

Bastiaanssen WGM, Pelgrum H, Wang J, Ma Y, Moreno JF, Roerink GJ, van der Wal T (1998a) A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology* 212–213:198–212

Bastiaanssen WGM, Pelgrum H, Wang J, Ma Y, Moreno JF, Roerink GJ, van Der Wal T (1998b) A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. *Journal of Hydrology* 212–213:213–229

Bennett SJ, Bishop TFA, Vervoort RW (2013) Using SWAP to quantify space and time related uncertainty in deep drainage model estimates: A case study from northern NSW, Australia. *Agricultural Water Management* 130:142–153

Boden TA, Krassovski M, Yang B (2013) The AmeriFlux data activity and data system: an evolving collection of data management techniques, tools, products and services. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 2:165–176

Bonfante A, Basilie A, Acutis M, De Mascellis R, Manna P, Perego A, Terribile F (2010) SWAP,

- (2016) Sensitivity analysis of calculated evapotranspiration using daily energy balance model and comparing it with SEBAL model. *Iran-Water Resources Research* 12(1):18–28 (In Persian)
- Shabani A, Sepaskhah AR, Bahrami M, Razzaghi F (2017) Combined application of artificial neural network and computational methods to estimate the reference evapotranspiration. *Iran-Water Resources Research* 13(1):152–162 (In Persian)
- Singh UK, Ren L, Kang S (2010) Simulation of soil water in space and time using an agro-hydrological model and remote sensing techniques. *Agricultural Water Management* 97(8):1210–1220
- Su Z (2002) The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences* 6(1):85–99
- Sun Z, Wei B, Su W, Shen W, Wang C, You D, Liu Z (2011) Evapotranspiration estimation based on the SEBAL model in the Nansi Lake Wetland of China. *Mathematical and Computer Modelling* 54(3–4):1086–1092
- Trezza R (2002) Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control, PhD Dissertation, Utah State University, 317p
- Valentini R, Matteucci G, Dolman AJ, Schulze ED, Rebmann C, et al. (2000) Respiration as the main determinant of 30 carbon balance in European forests. *Nature* 404:861–865
- van Genuchten MTh (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal* 44:892–898
- Velpuri NM, Senay GB, Singh RK, Bohms S, Verdin JP (2013) A comprehensive evaluation of two MODIS evapotranspiration products over the conterminous United States: Using point and gridded FLUXNET and water balance ET. *Remote Sensing of Environment* 139:35–49
- Zare Abyaneh H, Farokhi E, Vazifedoust M, Azhdari K (2011) Evaluation of the SWAP model to estimate the distribution pattern of soil moisture under drip irrigation management. *Journal of Water and Soil* 24(6):1197–1209 (In Persian)
- Kumar P, Sarangi A, Singh DK, Parihar SS, Sahoo RN (2015) Simulation of salt dynamics in the root zone and yield of wheat crop under irrigated saline regimes using SWAP model. *Agricultural Water Management* 148:72–83
- Liu SM, Xu ZW, Zhu ZL, Jia ZZ, Zhu MJ (2013) Measurements of evapotranspiration from eddy-covariance systems and large aperture scintillometers in the Hai River Basin, China. *Journal of Hydrology* 487:24–38
- Ma Y, Feng S, Song X (2015) Evaluation of optimal irrigation scheduling and groundwater recharge at representative sites in the North China Plain with SWAP model and field experiments. *Computers and Electronics in Agriculture* 116:125–136
- Mizoguchi Y, Hirata R, Kobayashi Y, Satoko Y (2008) Introduction to the site information on ASiaFlux website and overview of tower flux observation sites in Asia. *AsiaFlux Newsletter* 26:1–4
- Moradi F, Kamali Gh, Vazifedoust M (2016) Evaluation of potential evapotranspiration from MODIS Product using synoptic stations of Zanjan Province. *Journal of Climate Research* 1394(23):39–48 (In Persian)
- Mu Q, Heinsch FA, Zhao M, Running SW (2007) Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment* 111(4):519–536
- Mu Q, Zhao M, Running SW (2011) Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment* 115(8):1781–1800
- Mualem Y (1976) A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resources Research* 12:513–522
- Noory H, Van Der Zee SEATM, Liaghat AM, Parsinejad M, van Dam JC (2011) Distributed agro-hydrological modeling with SWAP to improve water and salt management of the Voshmgir Irrigation and Drainage Network in Northern Iran. *Agricultural Water Management* 98(6):1062–1070
- Ramezani Khojeen A, Kheirkhah Zarkesh MM, Daneshkar Arasteh P, Moridi A, Ali Mohammadi R