



## برآورد تبخیر تعرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: دشت ناز - ساری)

محمود رائینی سرجاز<sup>۱\*</sup>، هدایت پیری<sup>۲</sup>، محمد علی غلامی<sup>۳</sup>، سحر خزاعی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۹

### چکیده

تعیین تبخیر تعرق که یکی از بخش‌های اصلی چرخه هیدرولوژی می‌باشد. در مواردی همچون برنامه‌ریزی آبیاری، بیلان آب، طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری و پیش‌بینی عملکرد محصول ضروری است. سنجش از دور بر خلاف روش‌های رایج نقطه‌ای، تبخیر تعرق را در مقیاس‌های مختلف مکانی برآورد می‌کند. بنابراین هدف از این پژوهش برآورد تبخیر تعرق واقعی در منطقه دشت ناز ساری با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و به‌کارگیری الگوریتم تراز انرژی سطح خشکی (سبال) است. برای ارزیابی یافته‌ها، تبخیر تعرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیت-فائو مقایسه شد. همبستگی نیرومند و معنی‌داری میان این دو روش ( $R^2 = 0.93$ ) دیده شد. خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع ( $RMSE = 1/14$ ) و کمی تفاضل مطلق بین مدل سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو ( $MAE = 0/96$ ) بیان‌گر این است که میان داده‌های برآوردی از روش الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو همخوانی خوبی وجود دارد. از این رو، این پژوهش نشان داد که تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال توانایی این را دارند تا مقدار تبخیر تعرق واقعی را در منطقه دشت ناز ساری به خوبی برآورد کند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم سبال، پنمن-مانتیت-فائو، تبخیر تعرق، سنجش از دور-ایران

### مقدمه

گیاهی است، که بسیار متغیر است (Allen et al., 1998). سنجش از دور قابلیت برآورد مقدار تبخیر تعرق را دارد و بر خلاف روش‌های رایج که نقطه‌ای عمل می‌کنند توزیع مکانی آن را مورد بررسی قرار دهد و همچنین از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. الگوریتم تراز انرژی سطح خشکی (سبال)<sup>۵</sup> یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های برآورد تبخیر تعرق، با استفاده از داده‌های سنجش از دور است. سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، تبخیر تعرق را با کم‌ترین داده‌های زمینی برآورد می‌کند (Bastiaanssen et al., 1998). مقایسه نتایج تبخیر تعرق حاصل از روش سبال با نتایج لایسیمتر در دو منطقه در آیداهو نشان داد که برآورد تبخیر تعرق از روش سبال برای محصولات کشاورزی در آب و هوای نیمه‌خشک به خوبی منطبق با داده‌های لایسیمتری است (Tasumi et al., 2003). مقدار تبخیر تعرق واقعی با استفاده از روش سبال و تصاویر مودیس<sup>۶</sup> در یک مزرعه آزمایشی برآورد شد. نتایج نشان داد که با استفاده از تصاویر مودیس و

تبخیر تعرق از جمله پارامترهای آب و هواشناسی مهم در چرخه هیدرولوژی است و پیوند دهنده سه جزء زیست‌کره، آب‌کره و نیوار است (Su et al., 2006). شرایط آب و هواشناسی سطح زمین و پوشش‌های آن، توده آب‌های سطحی و مقادیر دریافتی انرژی خورشیدی، دارای پیچیدگی و پویایی است که درک کامل آن در گرو مدل‌های منطقه‌ای و گاه مدل‌سازی بسیار پیچیده است (Bastiaanssen et al., 2002). شدت تبخیر تعرق تابع عواملی مانند دما، تابش خورشیدی، رطوبت، باد و پوشش

<sup>۱</sup>استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(\*نویسنده مسئول: [raeini@yahoo.com](mailto:raeini@yahoo.com))

DOI: 10.22125/agmj.2018.147414.1033

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۳</sup>دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۴</sup>دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

<sup>۵</sup> Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

<sup>۶</sup> MODIS

الگوریتم سبال می‌توان برآورد خوبی از تبخیر تعرق در مناطق همگن و هموار ارائه نمود (Mobasheri et al., 2005). Koloskov et al., (2007) از پارامتری به عنوان طول مومین ابوخف که از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه می‌شود، برای محاسبه تبخیر تعرق روزانه استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیان‌گر این است که روش سبال مقدار تبخیر تعرق را بیشتر از روش پنمن برآورد می‌کند. کارایی سنجنده مودیس و الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر تعرق در منطقه ساوانا بررسی شد که نتایج نشان داد مودیس با ضریب تبیین ۷۱٪ و میزان خطای ۲ میلی‌متر در روز عملکرد خوبی برای برآورد منطقه‌ای تبخیر تعرق دارد (Opoku et al., 2008). همچنین با استفاده از الگوریتم سبال، تبخیر تعرق منطقه فلومن در دشت ابرو<sup>۱</sup> بررسی شد که در این مطالعه انحراف ۰/۳ میلی‌متر در روز در مقابل اندازه‌گیری‌های لایسیمیتری وجود داشته است (Ramos et al., 2009). پژوهشی در ملایر برای مقایسه مقادیر برآورد شده تبخیر تعرق واقعی از روش سبال و رابطه پنمن-مانتیت-فائو انجام شد که نتایج نشان داد اختلاف بسیار کمی بین مقادیر آن‌ها وجود دارد (Nouri et al., 2017). همچنین پژوهشی در جنوب غرب پارانا در برزیل که منطقه‌ای تشکیل شده از زمین‌های کشاورزی، گیاهان بومی و مناطق شهری است نشان داد که اختلاف ناچیزی در حدود ۱ میلی‌متر در روز بین مقادیر برآورد شده تبخیر تعرق روش سبال و فائو-پنمن-مانتیت وجود دارد (Silva et al., 2018). هدف از این پژوهش برآورد تبخیر تعرق واقعی در منطقه دشت ناز ساری با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و به‌کارگیری الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال) است. برای ارزیابی نتایج، تبخیر تعرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیت-فائو مقایسه شد.

Figure 1- Properties of used images

جدول ۱- مشخصات تصویرهای مورد استفاده

Image number	Time catch (hr, local time)	Date catch	Date catch
1	10:33:54	16/04/92	07/07/2013
2	10:33:53	01/05/92	07/23/2013
3	10:33:56	17/05/92	08/08/2013
4	10:33:58	02/06/92	08/24/2013
5	10:33:56	18/06/92	09/09/2013
6	10:33:48	03/07/92	09/25/2013
7	10:33:48	19/07/92	10/11/2013
8	10:33:20	09/10/92	12/30/2013
9	10:33:40	25/10/92	01/15/2014
10	10:31:32	17/02/93	05/07/2014

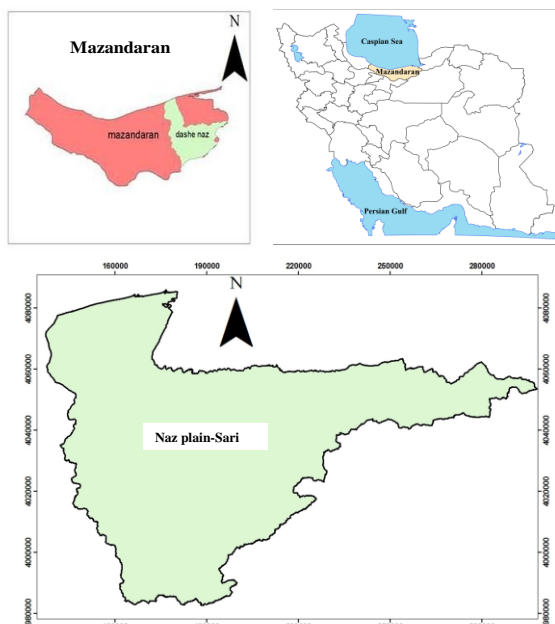


Figure 1- Location of Naz plain-Sari  
شکل ۱- موقعیت منطقه دشت ناز ساری

مواد و روش‌ها  
منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده  
منطقه مطالعاتی حوضه آبریز تجن واقع در منطقه دشت ناز ساری در بازه عرض جغرافیایی ۵۶' ۳۵° تا ۵۱' ۳۶° شمالی و بازه طول جغرافیایی ۰۹' ۵۴° تا ۵۶' ۵۲° شرقی می‌باشد (شکل ۱). داده‌های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال، از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک دشت ناز گرفته شده است. در این پژوهش از تصاویر سنجنده

<sup>2</sup>Operational Land Imager

<sup>3</sup>LANDSAT

<sup>4</sup>Digital Number

<sup>1</sup> The Flumen District into the Ebro valley of N. E. Spain

روش‌ها

الگوریتم سبال

الگوریتم سبال، مقدار تبخیر تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، کم‌ترین داده‌های زمینی و بر اساس معادله بیلان انرژی طبق معادله ۱ محاسبه می‌کند Bastiaanssen (et al., 1998).

$$\lambda ET_{inst} = R_n - G - H \quad (1)$$

که  $\lambda ET_{inst}$  شار گرمای نهان تبخیر ( $Wm^{-2}$ )،  $R_n$ ،  $G$  و  $H$  میزان تابش خالص خورشیدی، شار گرمای خاک و شار گرمای محسوس ( $Wm^{-2}$ ) می‌باشند. مقدار تابش خالص از توان چهارم شار تابشی در سطح زمین به دست می‌آید (معادله ۲)، که عبارت است از طول موج کوتاه ورودی  $R_{S\downarrow}$ ، بازتابش امواج کوتاه خروجی ( $R_{L\uparrow}$ )، تشعشعات طول موج بلند ورودی از نیوار ( $R_{L\downarrow}$ ) Bastiaanssen et al., 1998).

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

که  $\alpha$  آلبدو سطح،  $\epsilon_0$  گسیلندگی سطح به دست آمده از طریق نمایه سطح برگ (LAI)<sup>۱</sup> می‌باشد. در الگوریتم سبال دو نوع گسیلندگی وجود دارد که به ترتیب برای محاسبه دمای سطح و تشعشعات موج بلند گسیل یافته از سطح استفاده می‌شود و برای شرایطی که LAI بزرگ‌تر از صفر باشد از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند (Allen et al., 2005).

$$\epsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033LAI, LAI < 3 \quad (3)$$

$$\epsilon_0 = 0.95 + 0.01 LAI, LAI < 3 \quad (4)$$

برای  $LAI \geq 3$ ، مقادیر  $\epsilon_{NB}$  و  $\epsilon_0$  برابر ۰/۹۸ است. نمایه سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌شود.

$$LAI = -\left(\frac{\ln(0.69 - SAVI)}{0.91}\right) \quad (5)$$

در مناطق خشک و نیمه‌خشک تنک بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود اثرات بازتاب خاک زمینه، اثر بازتاب پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد و بر آن چیره شود. SAVI<sup>۲</sup> تصحیح شده نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)<sup>۳</sup> است که اثرات خاک زمینه و رطوبت خاک را در نمایه NDVI کاهش می‌دهد و از معادله ۶ محاسبه می‌شود (Weligepolage, 2005).

$$SAVI = \frac{(1 + L)(\rho_5 - \rho_4)}{(\rho_5 + \rho_4 + L)} \quad (6)$$

که در آن،  $\rho_4$  و  $\rho_5$  به ترتیب بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک و  $L$  فاکتور تصحیح اثر خاک است که به طور متوسط مقدار آن ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (Weligepolage, 2005). نمایه گیاهی NDVI، مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین را مشخص می‌کند که مقدار آن بین (۱،-۱) در نوسان است و از معادله ۷ محاسبه می‌شود (Bastiaanssen et al., 1998).

$$NDVI = \frac{(\rho_5 - \rho_4)}{(\rho_5 + \rho_4)} \quad (7)$$

آلبیدو به صورت نسبت تابش الکترومغناطیس خورشیدی انعکاس یافته از خاک و گیاه، بر تابش ورودی طبق معادله ۸ تعریف شده است (Jen-Hwua et al., 2001).

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path-radiance}}{I_{sw}^2} \quad (8)$$

که در آن،  $\alpha_{toa}$  آلبدوی بالای نیوار،  $\alpha_{path-radiance}$  آلبدو ناشی از تابش مسیر و  $L_{sw}^2$  شفافیت نیوار است. تابش ورودی امواج کوتاه ( $R_{S\downarrow}$ )، که از معادله ۹ به دست می‌آید، شار تابش خورشیدی مستقیم رسیده به سطح زمین است.

$$R_{S\downarrow} = G_{sc} \cdot \cos\theta \cdot d_r \cdot I_{sw} \quad (9)$$

که در آن،  $G_{sc}$  ثابت خورشیدی ( $1367 Wm^{-2}$ ) و  $\theta$  زاویه ارتفاعی خورشید است.  $d_r$  معکوس مربع فاصله نسبی زمین تا خورشید و شفافیت اتمسفری است که از معادله ۱۰ به دست می‌آید (Allen et al., 1998).

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{DOY \cdot 2\pi}{365}\right) \quad (10)$$

که در آن، DOY شماره روز میلادی است. دمای سطحی ( $T_s$ ) با استفاده از معکوس رابطه پلانک و بر اساس معادله ۱۱ به دست می‌آید (Markham and Barker, 1986).

$$T_s = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}\right) \quad (11)$$

که در آن،  $L_\lambda$  میزان رادیانس در بالای نیوار،  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ هستند. در سبال از دو پیکسل شاخص، تحت عنوان پیکسل سرد و گرم استفاده می‌شود، که پیکسل سرد از مزارع کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده و پیکسل گرم از مزارع بدون پوشش انتخاب می‌شود. تابش امواج بلند خروجی ( $R_{L\uparrow}$ )، با استفاده از معادله استفان-بولتزمن طبق معادله ۱۲ محاسبه می‌شود.

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \delta \cdot T_s^4 \quad (12)$$

که در آن،  $\epsilon_0$  گسیلمندی سطحی،  $\delta$  ثابت استفان-بولتزمن و  $T_s$  دمای سطحی حسب کلون است. تابش بلند

<sup>۱</sup> Leaf Area Index

<sup>۲</sup> Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>۳</sup> Normalized Difference Vegetation Index

برای ارزیابی الگوریتم سبال مقایسه میانگین با روش مرجع با آماره  $t$  با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد.

$$ET_0 = \frac{0.408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{\bar{T} + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (19)$$

که  $ET_0$  تبخیر تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm day}^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص در سطح تبخیر تعرق ( $\text{MJd}^{-1}\text{m}^{-2}$ )،  $G$  شار حرارتی خاک ( $\text{MJd}^{-1}\text{m}^{-2}$ )،  $\bar{T}$  متوسط دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $e_s$  و  $e_a$  فشار بخار اشباع و واقعی ( $\text{kPa}$ )،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار در برابر دما ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری ( $\text{kPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$ )،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\text{ms}^{-1}$ ) و  $K_p$  ضریب تشت (بدون بعد) است.

### نتایج و بحث

#### نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)

در این پژوهش برای هر ۱۰ تصویر گرفته شده نمایه NDVI محاسبه شد (جدول ۲). بر این اساس میزان NDVI در اوایل تابستان (تیرماه) بیشترین مقدار خود را دارد و دلیل آن وجود هم‌زمان محصولات پاییزه، بهاره و مراتع می‌باشد و با سپری شدن تابستان به دلیل برداشت محصولات پاییزه و از بین رفتن مراتع، میانگین NDVI کاهش یافته و حداقل آن مربوط به پایان دی‌ماه است که میزان پوشش گیاهی در سطح زمین به کمترین مقدار خود می‌رسد که با نتایج Karimi et al., (2013) هم‌خوانی دارد.

Table 2- NDVI values of study area

جدول ۲- مقادیر NDVI در منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
92/02/17	0.17	0.38	0.67	0.03
92/04/16	0.18	0.33	0.62	0.07
92/05/01	0.12	0.27	0.61	0.01
92/05/17	0.10	0.28	0.59	-0.05
92/06/02	0.08	0.30	0.62	0.07
92/06/18	0.11	0.24	0.57	-0.13
92/07/03	0.18	0.24	0.57	0.01
92/07/17	0.11	0.22	0.55	0.03
92/10/09	0.08	0.09	0.56	-0.19
92/10/25	0.26	0.28	0.50	-0.14

#### آلبیدو و دمای سطحی

داده‌های مربوط به متوسط آلبیدوی سطحی منطقه مطالعاتی در جدول ۳ ذکر شده است. محدوده آلبیدوی منطقه از (۰/۳ تا ۰/۱) و در دامنه قابل قبول برای مزارع کشاورزی و مراتع قرار دارد (Horiguchi, 1992). طبق جدول ۴ بیشترین دمای سطح ( $32.4/3^{\circ}\text{K}$ ) مربوط به تیرماه است که هم‌زمان با انقلاب تابستانی می‌باشد. در این زمان از سال با توجه به این که ارتفاع زاویه تابش خورشیدی

امواج ورودی ( $R_{Ld}$ )، شار تابش حرارتی از نیوار به سمت پایین است و از معادله ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$R_{Ld} = 0.85(-\ln I_{sw})^{0.09} \cdot \delta \cdot T_{cold}^4 \quad (13)$$

شار گرمای خاک ( $G$ )، مقدار گرمای ذخیره شده در داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است (معادله ۱۴) (Waters et al., 2002).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038 + 0.007\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (14)$$

شار گرمای محسوس ( $H$ )، مقدار هدر رفت گرما به هوا از طریق هدایت مولکولی و همرفت در اثر اختلاف دما بین سطح و هوای نزدیک به سطح زمین است (معادله ۱۵) (Bastiaanssen et al., 1998).

$$H = \left( \frac{\rho C_p dT}{r_{ah}} \right) \quad (15)$$

که  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $1.004 \text{ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ )،  $dT$  اختلاف دمای بین دوار ارتفاع ( $Z_2$  و  $Z_1$ )،  $\rho$  چگالی هوا ( $\text{kgm}^{-3}$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آئرودینامیکی برای انتقال گرما ( $\text{ms}^{-1}$ ) است. تبخیر تعرق زمان تصویر ( $ET_{inst}$ ) و نسبت تبخیر تعرق مرجع ( $ET_{r,F}$ ) از معادلات ۱۶ و ۱۷ به دست می‌آیند (Allen et al., 2002).

$$ET_{inst} = (3600 \frac{\lambda ET}{\lambda}) \quad (16)$$

$$ET_{r,F} = \left( \frac{ET_{inst}}{ET_r} \right) \quad (17)$$

که  $ET_{inst}$  تبخیر تعرق لحظه‌ای ( $\text{mm hr}^{-1}$ ) و  $\lambda$  گرمای نهان بخار آب ( $\text{JKg}^{-1}$ ) است. کسر تبخیر تعرق مرجع یا  $ET_{r,F}$  به صورت نسبت ( $ET_{inst}$ ) به تبخیر تعرق مرجع ( $ET_r$ ) محاسبه شده از داده‌های هواشناسی تعریف می‌شود. در این معادله  $ET_{r,F}$  مشابه ضریب گیاهی ( $K_c$ ) می‌باشد. غالباً مقدار تبخیر تعرق روزانه ( $ET_{24}$ ) کاربرد بیشتری نسبت به مقادیر ( $ET_{inst}$ ) دارد و از معادله ۱۸ محاسبه می‌شود (Timmermans et al., 2003).

$$ET_{24} = ET_{r,F} * ET_{r-24} \quad (18)$$

که  $ET_{r-24}$  مجموع  $ET_r$  طی ۲۴ ساعت برای روز تصویر است و از مجموع مقادیر ساعتی روز گذر ماهواره به دست می‌آید.

#### روش مرجع پنمن-مانتیث-فائو

فائو روش پنمن-مانتیث-فائو را به عنوان یک روش استاندارد در تخمین تبخیر تعرق مرجع انتخاب کرده است (Khorami et al., 2013). بنابراین جهت صحت‌سنجی و برآورد دقت الگوریتم سبال به علت نبود لایسیمتر در منطقه مطالعاتی، تبخیر تعرق واقعی محاسبه شده از این الگوریتم، با مقادیر تبخیر تعرق برآورد شده از روش پنمن-مانتیث-فائو (معادله ۱۹) مقایسه شد (Allen et al., 1998). همچنین

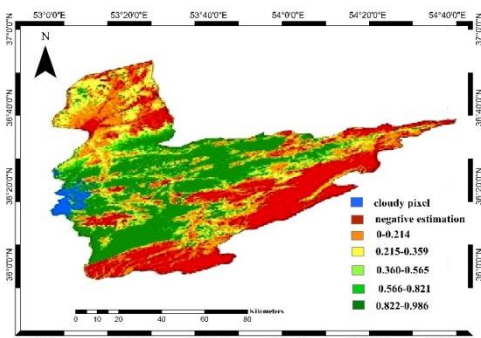


Figure 2- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/7/7

شکل ۲- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۳/۴/۱۶

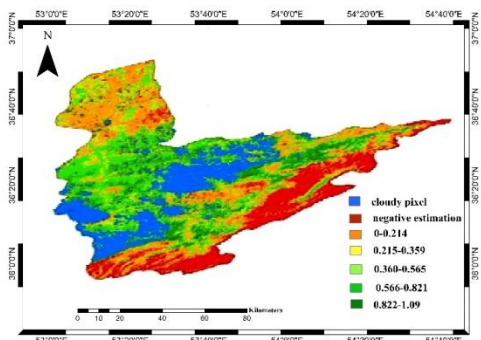


Figure3- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/23/7

شکل ۳- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۵/۱

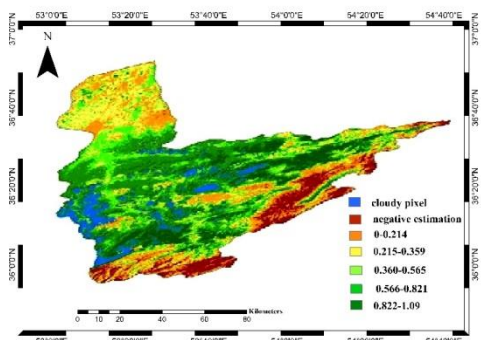


Figure4- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/8/8

شکل ۴- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۵/۱۷

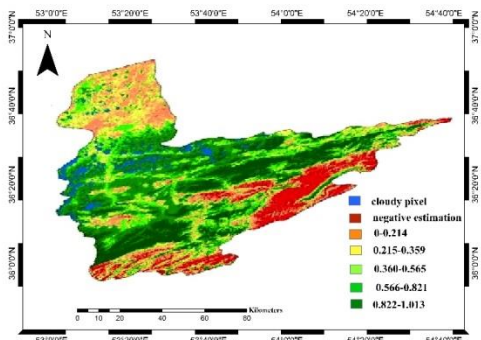


Figure 5- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/24/8

شکل ۵- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۰۶/۰۲

به بالاترین مقدار خود می‌رسد، انرژی دریافتی در واحد سطح نیز افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود می‌رسد و به تبع آن دمای سطح نیز افزایش می‌یابد. با توجه به این که بیشینه دما نیز در این ماه اتفاق می‌افتد، بالا بودن دمای سطح زمین می‌تواند ناشی از هماهنگی با رژیم دمایی منطقه مورد مطالعه باشد.

Table 3- Albedo values of study area

جدول ۳- مقادیر آلبیدوی منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
93/02/17	0.39	0.38	0.93	0.11
93/04/16	0.28	0.33	0.69	0.19
92/05/01	0.15	0.27	0.76	0.08
92/06/02	0.10	0.28	0.80	0.14
92/06/18	0.18	0.24	0.75	0.04
92/07/03	0.14	0.24	0.75	0.23
92/07/19	0.17	0.22	0.71	0.14
92/10/09	0.11	0.09	0.62	0.15
92/10/25	0.08	0.08	0.58	0.13

Table4- Surface temperature values (°K) of study area

جدول ۴- مقادیر دمای سطح زمین (°K) منطقه مورد مطالعه

Date	SD	Mean	Max	Min
93/02/17	9.24	306.49	314.65	298.34
93/04/16	8.15	316.14	324.29	307.99
92/05/01	7.51	313.65	321.80	305.50
92/06/02	4.43	309.67	317.82	301.52
92/06/18	8.53	310.85	319.00	302.70
92/07/03	5.61	311.06	319.21	302.91
92/07/19	7.37	307.35	315.50	299.20
92/10/09	6.29	300.10	308.25	291.95
92/10/25	4.18	289.95	298.10	281.80

### برآورد تبخیر تعرق

پس از محاسبه پارامترهای اصلی معادله تراز انرژی شامل شار تابش خالص خورشیدی، شار گرمای انباشت شده در خاک و شار گرمای محسوس، شار گرمای نهان تبخیر تعرق لحظه‌ای برآورد شد. سپس با استفاده از معادله‌های ۱۷ و ۱۸ تبخیر تعرق واقعی در مقیاس ساعتی و روزانه محاسبه گردید. از عوامل موثر بر مقدار تبخیر تعرق می‌توان به زمان یا فصل سال، حجم توده گیاهی، دما و ساعت آفتابی اشاره کرد، به طوری که بیشینه میزان تبخیر تعرق هم‌زمان با فصل گرم سال و رسیدن گیاه به بیشینه سبزیگی رخ می‌دهد. این روند افزایش تبخیر تعرق به موازات افزایش دما، ساعات آفتابی و نیز سبزیگی و پوشش گیاهی، به خوبی در نقشه‌های تبخیر تعرق برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال قابل مشاهده است (شکل‌های ۲ تا ۱۱).

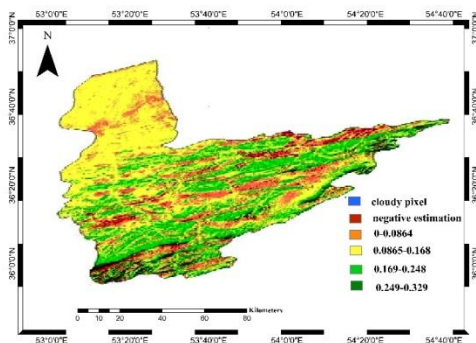


Figure 10- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2014/15/1

شکل ۱۰- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۱۰/۲۵

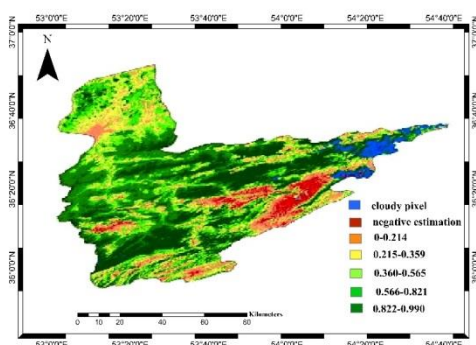


Figure 11- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2014/7/5

شکل ۱۱- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۳/۰۲/۱۷

بیشینه تفاوت تبخیر تعرق واقعی روزانه بین مقادیر برآورد شده با روش پنمن-مانتیث-فائو و مدل سبال ۲/۱ میلی‌متر در روز بوده که مربوط به تاریخ ۹۲/۰۵/۱۷ می‌باشد. به طور کلی با توجه به مقادیر برآورد شده روزانه تبخیر تعرق واقعی و نقشه‌های آن، بیشترین اختلاف تبخیر تعرق بین دو روش مربوط به روزهایی است که میزان پوشش ابر در آسمان بالا بوده است. همچنین میزان اختلاف در فصل گرم بیش از فصل سرد است که علت این امر ناشی از تابش طولانی‌تر (ساعت آفتابی بیشتر) انرژی‌های ورودی قوی‌تر (به دلیل نزدیک شدن زاویه تابش به حالت عمود) و نیز شرایط پوشش گیاهی انبوه و متنوع می‌باشد. بر خلاف آن در فصل سرد سال به علت پایین بودن سبزیگی و پوشش گیاهی، اختلاف بین مناطق دارای پوشش و فاقد پوشش گیاهی کمتر بوده و تبع آن نیز میزان اختلاف تبخیر تعرق در این فصل کمتر می‌باشد. مقایسه آماری بین تبخیر تعرق برآورد شده با الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیث-فائو نیز انجام گرفت. همبستگی قوی بین این دو روش ( $R^2=0.93$ )، خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع ( $RMSE=1/14$ ) و کم بودن تفاضل مطلق بین مدل سبال

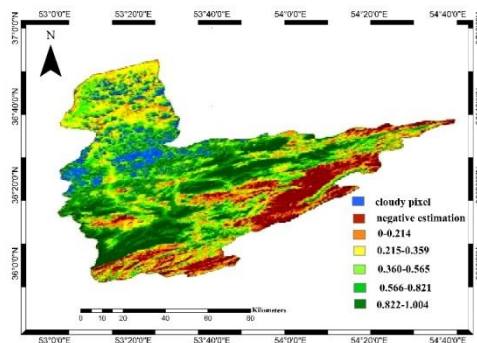


Figure 6- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/9/9

شکل ۶- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۶/۱۸

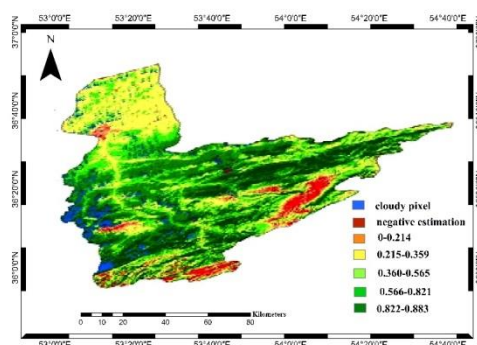


Figure 7- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/25/9

شکل ۷- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۷/۳

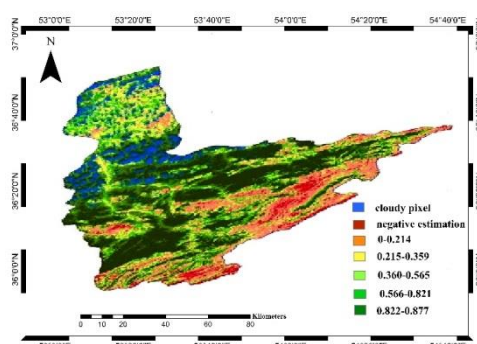


Figure 8- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/11/10

شکل ۸- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۷/۱۹

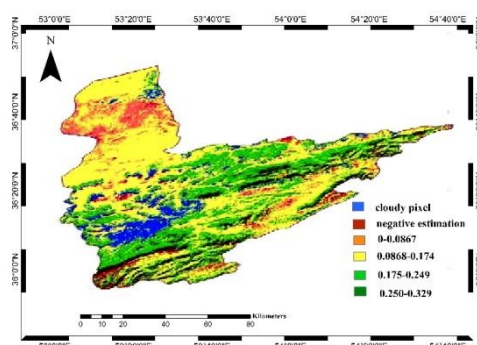


Figure 9- Hourly evapotranspiration values of Sari Naz plain on 2013/30/12

شکل ۹- تبخیر تعرق ساعتی دشت ناز ساری مورخ ۹۲/۱۰/۹

دارد. همچنین برای ارزیابی الگوریتم سبال آزمون مقایسه میانگین (t-test) انجام گرفت (جدول ۵). نتایج نشان داد در سطح اطمینان ۹۵ درصد فرض صفر مبنی بر عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو مدل، قابل قبول است. بنابراین تفاوت معنی‌داری از نظر آماری بین برآوردهای تبخیرتغرق از دو روش سبال و روش مرجع وجود ندارد.

و روش پنمن-مانتیث-فانو (MAE=۰/۹۶) بیان‌گر این است که بین مقادیر برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیث-فانو تطابق مناسبی وجود دارد. این نتیجه با یافته‌های (Sanaeinejad et al., 2011) در حوضه آبریز مشهد، (Mobasheri et al., 2005) در مزرعه ارتش استان گلستان و (Ramos et al., 2009) همخوانی

**Table 5- Actual evapotranspiration (mm day<sup>-1</sup>) estimated by SEBAL model and FAO-Penman Monteith equation**  
**جدول ۵- مقادیر تبخیرتغرق واقعی (mm day<sup>-1</sup>) برآورد شده از الگوریتم سبال و معادله پنمن مانتیث-فانو**

Date	SEBAL	FAO-Penman-Monteith	Squared difference	Absolute difference	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	t-student	P_value
93/02/17	8.678	8.333	0.119	0.344					
93/04/16	7.051	5.875	1.383	1.176					
92/05/01	4.448	3.355	1.195	1.093					
92/06/02	6.214	4.112	4.378	2.092					
92/06/18	6.432	5.516	0.839	0.916					
92/07/03	5.268	6.000	0.535	0.732					
92/07/19	5.749	6.500	0.565	0.751					
92/10/09	9.035	8.591	0.198	0.444					
92/10/25	1.353	2.470	1.247	1.117					
93/02/17	1.437	2.360	0.852	0.923					
Mean	5.56	5.31			0.96	1.14	0.83	0.23	0.82

شد. همبستگی قوی بین این دو روش، خطای کم برآورد الگوریتم سبال در مقایسه با روش مرجع بیان‌گر این است که بین مقادیر برآورد شده به وسیله الگوریتم سبال و روش پنمن-مانتیث-فانو تطابق مناسبی وجود دارد. بنابراین این پژوهش نشان داد که تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال توانایی این را دارد تا مقدار تبخیرتغرق واقعی را در منطقه دشت ناز ساری به خوبی برآورد کند.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش تبخیرتغرق واقعی با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و الگوریتم سبال برای منطقه دشت ناز ساری برآورد گردید. برای ارزیابی نتایج، تبخیرتغرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیث-فانو مقایسه شد. برای ارزیابی نتایج، تبخیرتغرق برآورد شده از الگوریتم سبال با روش مرجع پنمن-مانتیث-فانو مقایسه

## منابع

- Allen R. G., Rase, L. S., smith M. 1998. Crop Evaporation Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. FAO. Rome, Italy. 301 p.
- Allen, R. G., Bastiaanssen W. G. M., Wright, J. L., Morse, A., Tasumi M. Trezza, R. 2002. Evapotranspiration from Satellite Images for Water Management and Hydrologic Balances, Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada: 1-12.
- Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R., Bastiaanssen, W., Morse, T., Kramber, W., Wright, J. 2005. METRIC: High Resolution Satellite Quantification of Evapotranspiration. Part Two- Energy Balance, University of Idaho, Kimberly, Idaho.
- Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslang, A. A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, (212-213): 198-212.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgurm, h., Davids, G., Thoreson, B. P., Allen, R. G. 2002. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 85-93.
- Bastiaanssen, W. G. M., Noordman, E. J. M., Pelgurm, h., Davids, G., Thoreson, B. P., Allen, R. G. 2002. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 85-93.
- Horiguchi, I. 1992. Agricultural Meteorology.

- Buneidou, Tokyo, Japan.  
[http://landsat7.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat7.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php).
- Jen-Hwua, C., Chun-E, K., Chih-Hung, T., Sun-Fu, S. 2001. Use of spectral information for wetland evapotranspiration assessment. *Agricultural Water management*, 55: 239-248.
- Karimi, H., Farhadi Bansouleh, B., Hesadi, H. 2013. Estimation of Regional Evapotranspiration Using LANDSAT TM Images and SEBAL Algorithm. *Iranian Journal of irrigation and drainage*, 4(6): 353-364. (In Farsi)
- Khorami, M., Shiasi, M., Ansari, H., Moradi, H. 2013. Evaluation of the Conformity of the Results of Different Estimates of Evapotranspiration by the FAO-Penman-Monteith Method. The 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman. (In Farsi)
- Koloskov, G., Mukhamejanov, K. H., Tanton, T. W. 2007. Monin-Obukhov length as a cornerstone of the SEBAL calculations of evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 335: 170-179.
- Markham, B. L., Barker, J. L. 1986. Landsat MSS and TM Post Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance and At-Satellite Temperatures. *EOSAT LANDSAT Technical Notes*, 1: 3-8.
- Mobasheri, M., Khavarian, H., Ziayian, P., Kamali, Gh. 2005. Actual Evapotranspiration Estimation Using MODIS Images and SEBAL Algorithm. *Geomatical congress*, Tehran. (In Farsi)
- Nouri, H., Faramarzi, M., Sobhani, B., Sadeghi, S. H. 2017. Estimation of Evapotranspiration based Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) using landsat 8 and Modis images. *Journal of Applied Ecology and Environmental Research*, 15(4): 1971-1982.
- Opoku-Duah, S., Donoghue, D. N. M., Burt, T. P. 2008. Intercomparison of evapotranspiration over the Savannah Volta Basin in West Africa using remote sensing data. *Journal of Sensors*, 8(4): 2736-2761.
- Ramos, J. G., Cratchley, C. R., Kay, J. A., Casterad, M. A., Martinez-cob, A. Dominguez, R. 2009. Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro valley of N. E. Spain. *Agricultural Water Management*, 96: 638-652.
- Sanaeinejad, S. H., Noori, S., Heshemini, S. M. 2011. Estimation of Evapotranspiration using Satellite image data in Mashhad area. *Journal of Water and Soil*, 3(25): 540-547. (In Farsi)
- Silva, B. B., Mercante, E., Boas, M., Wrublaok, S., Oldoni, L. 2018. Satellite-based ET estimation using Landsat 8 images and SEBAL Model. *Journal of Revista Ciencia Agronomic*, 49(2): 221-227.
- Su, H., Wood, E. F., Wojcik, R., McCabe, M. 2006. Sensitivity Analysis of Regional Scale Evapotranspiration Predictions to the Forcing Data, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract H31A-02.
- Tasumi, M., Trezza, R., Allen, R. G., Wright, J. L. 2003. U.S. Validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite. *ICID Workshop on Remote Sensing of ET for large Regions*, 1-14.
- Timmermans, W. J., Gieske, A. S., Wolski, P., Arneth, A., Parodi, G. N. 2003. Determination of water and heat fluxes with MODIS imagery Maun, Botswana.
- Waters, R., Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R., Bastianssen, W. 2002. SEBAL, Surface Energy Balance Algorithms for Land. Idaho Implementation. *Advanced Training and User's manual*, version 1.0.
- Weligepolage, K. 2005. Estimation of Spatial and Temporal distribution of Evapotranspiration by satellite remote sensing: A case study in hupselsebeek, the Netherlands. M. Sc. Thesis, ITC University.



## Estimating actual evapotranspiration using OLI images and SEBAL algorithm (Case study: Dasht-e Naz, Sari)

M. Raeini-Sarjaz<sup>1\*</sup>, H. Piri<sup>2</sup>, M.A. Gholami<sup>3</sup>, S. Khazaei<sup>4</sup>

Received: 30/08/2016

Accepted: 31/10/2017

### Abstract

Estimation of evapotranspiration is one of the main components of the hydrological cycle, and is essential for irrigation scheduling, water balance, irrigation system design and management and crop yields simulation. Unlike conventional methods remote sensing estimates evapotranspiration in different spatial scales. Therefore, the aim of this study is to estimate evapotranspiration using OLI sensor images and SEBAL algorithm in the Dasht-e-Naz area, Sari, Iran. To evaluate the results, evapotranspiration estimated by the reference method, Penman-Monteith-FAO, was compared with SEBAL algorithm. Strong and significant correlation was obtained between these two methods ( $R^2=0.93$ ), Low error of estimation by SEBAL compared with reference method (RMSE=1.14) and low absolute difference between the SEBAL and Penman-Monteith-FAO (MAE=0.96) indicates that there is a good match between estimated values by SEBAL algorithm and Penman-Monteith-FAO standard method. This study showed that OLI sensor images and SEBAL algorithm could satisfactorily estimate actual evapotranspiration in the Dasht-e-Naz area, Sari.

**Keywords:** SEBAL Algorithm, Penman-Monteith-FAO, Evapotranspiration, Remote Sensing, Iran



<sup>1</sup> Professor of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

(\*Corresponding Author's Email Address: [Raeini@yahoo.com](mailto:Raeini@yahoo.com))

DOI: 10.22125/agmj.2018.147414.1033

<sup>2</sup> M.Sc. Graduate of Agrometeorology, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran

<sup>4</sup> PhD candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Iran