



## کد مقاله: Dem2-01-517

مدیریت منابع آب در خشکسالیها با استفاده از محاسبه تبخیر و تعرق واقعی توسط الگوریتم SEBAL

( مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد، استان یزد )

سمانه پورمحمدی<sup>1</sup>، محمد تقی دستورانی<sup>2</sup>، سید علی محمد چراغی<sup>3</sup>، محمد حسین مختاری<sup>4</sup>

پست الکترونیکی: [s.poormohammadi@stu.yazduni.ac.ir](mailto:s.poormohammadi@stu.yazduni.ac.ir)

### چکیده

پارامتر تبخیر و تعرق در مطالعات خشکسالی اهمیت فوق العاده‌ای داشته و به عنوان یکی از مهمترین مولفه‌های پیش‌بینی و پایش خشکسالی مطرح است. بدلیل ضرورت و اهمیتی که محاسبه این پارامتر در مطالعات خشکسالی دارد، در تحقیق حاضر روشی جهت محاسبه تبخیر و تعرق به کمک تصاویر ماهواره ای مودیس معرفی و ارائه شده است. این روش که به الگوریتم سبال معروف است، بر اساس باقیمانده انرژی موجود در معادله توازن انرژی تعریف شده و توسط آن می‌توان تبخیر و تعرق واقعی را به صورت پیکسل به پیکسل و در هر مقیاس کاری اعم از حوزه آبخیز، زیرحوزه، دشت و حتی مزرعه نیز برآورد نمود. در این تحقیق از الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی در حوزه آبخیز خشک و کوهستانی منشاد در استان یزد استفاده شده و نقشه‌های مربوطه برای دو زمان مختلف در سال آبی 86-1385 ترسیم شده است.

### مقدمه

ایران از نظر اقلیمی در ناحیه خشک و نیمه خشک جهان واقع شده است. حدود 13 درصد از مساحت کشور دارای آب و هوای کوهستانی و سرد، 14 درصد دارای آب و هوای معتدل و حدود 73 درصد از مساحت دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک است (پورمحمدی و همکاران 1387). بنابراین حفاظت از منابع آب کشور و مدیریت آنها وظیفه مهمی است که به دوش کارشناسان متخصص می‌باشد. در این میان یکی از راههای هدر رفت منابع آب تبخیر و تعرق می‌باشد که فرایندی بسیار پیچیده میباشد. با بررسی تبخیر و تعرق مناطق خشک می‌تواند در زمینه کشت، عملیات آبخیزداری و کلا مدیریت منابع آب بهتر و اصولی تر عمل کرد. در زمینه برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم سبال تحقیقات مختلفی در دنیا انجام شده است که به نمونه ای از آنها اشاره می‌شود. در مقاله ای که توسط باستین سن و همکارانش در سال 2005 ارائه شده است بیان می‌دارد که سبال تاکنون در بستر از 30 کشور به طور کاربردی استفاده شده است و طی 10 سال 26 تحقیق در دست انجام بوده که 17 تای آن به پایان رسیده است. وی در این تحقیق به مطالعه الگوریتم سبال در دومقیاس مزرعه ای و حوزه پرداخته و نتایج این تحقیق بیان می‌دارد که به طور روزانه دقت این روش برای مزرعه 85٪ و در پایه فصلی تا 95٪ می‌باشد و در مقیاس حوزه دقت این الگوریتم تا 96٪ هم میرسد. در این تحقیق از الگوریتم سبال جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در دو شرایط خاک خشک و پوشش گیاهی استفاده نموده است. (باستین سن و همکاران 2005) در تحقیقی دیگر که توسط والنیتین و همکاران (2007) انجام شد از سنسورها و مدل های چندگانه جهت مطالعه بیلان آب و بیلان انرژی بر روی گندم زمستانه در شمالشرق آلمان انجام دادند. برای آنالیز بیلان انرژی از نسبتبویون استفاده شد و رطوبت پروفیل خاک در اعماق مختلف اندازه گیری شد. به این نتیجه رسیدند که میزا نتبخیر و تعرق بارطوبت خاک همبستگی مناسبی برای گندم زمستانه ندارد. در

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد، 2-عضو هیئت علمی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد  
<sup>3</sup>-استادیار پژوهشی مرکز ملی تحقیقات شوری، 4-مریبی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.



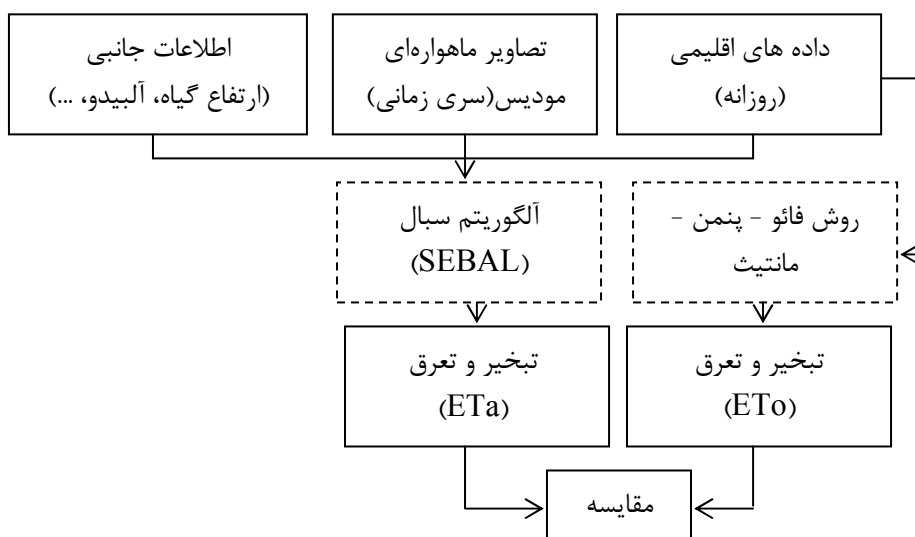
تحقیق که توسط روماس و همکاران (2008) بر روی دره ابرو در اسپانیا صورت گرفت تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده از مدل سبال در طی 4 سال باتبخیر و تعرق واقعی اندازه گیری شده توسط معادله پنمن مانیتث مقایسه شد. به این منظور از دو گیاه مرجع چمن و ذرت استفاده شد و خطای مربوط به مدل سبال در مورد ذرت 1 میلیمتر در روز و برای گیاه چمن 0/3 میلیمتر در روز بود. هدف از این مقاله بکاربردن الگوریتم سبال جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در حوزه منشاد جهت یکی از راهکارهای ضروری برای مدیریت منابع آب در خشکسالی ها می باشد.

### مواد و روشها

**معرفی منطقه مطالعاتی** حوزه منشاد و از نظر تقسیم استانی جز استان یزد و از حوزه های آبخیز میانکوه می باشد. مساحت این حوزه 61 کیلومتر مربع می باشد. حداقل ارتفاع حوزه منشاد 1845 و حداکثر ارتفاع آن 3420 می باشد. در حوزه منشاد 32 آبراهه درجه 1 و 12 آبراهه درجه 2 و 15 آبراهه درجه 3 واقع شده اند. شیب متوسط وزنی حوزه 32.36 درجه می باشد. دمای متوسط سالانه در این حوزه 11 درجه سانتی گراد و بارش متوسط آن 368.35 می باشد. گرمترین ماه سال در این حوزه شهریور ماه با دمای 24.48 درجه و سردترین آن بهمن با 0.84 درجه سانتیگراد تعیین شده است.

### -روش تحقیق

پارامتر تبخیر و تعرق در مطالعات خشکسالی اهمیت فوق العاده ای داشته و به عنوان یکی از مهمترین مولفه های پیش بینی و پایش خشکسالی مطرح است. اهمیت این پارامتر به حدی است که حتی یکی از شاخصهای پایش خشکسالی (RDI) نیز مستقیماً بر اساس مقدار تبخیر و تعرق قابل محاسبه است. (پورمحمدی و همکاران 1387) بدلیل ضرورتی که محاسبه این پارامتر در مطالعات خشکسالی داشته در تحقیق حاضر نیز به معرفی و ارائه روشی جهت محاسبه تبخیر و تعرق پرداخته شده است. در شکل شماره 1 به اختصار مراحل مختلف انجام کار نشان داده شده است.



شکل 2- مراحل مختلف انجام تحقیق



همانطوری که ملاحظه می‌گردد، از دو روش جهت محاسبه تبخیر و تعرق استفاده شده است که در روش فائو پنمن مانیتیت به کمک داده های اقلیمی و در روش آلگوریتم سبال به کمک اطلاعات سنجش از دور (تصاویر ماهواره ای مودیس) اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق گردیده است. فرمول کلی مورد استفاده در الگوریتم سبال در زیر بیان شده است

$$LE = R_n - H - G \quad (1)$$

که در این فرمول LE شار گرمای نهان بر حسب ( $Wm^{-2}$ ) است که به راحتی قابل تبدیل به ET میباشد،  $R_n$  تابش خالص خورشیدی است ( $Wm^{-2}$ )، H شار گرمای محسوس ( $Wm^{-2}$ ) و G شار گرمای زمین یا خاک ( $Wm^{-2}$ ) می‌باشد.

$$R_n = (1 - \alpha) R_s + (e L_{in} - L_{out}) \quad (2)$$

که در آن  $\alpha$  آلبیدوی سطحی،  $R_s$  تابش خورشیدی ( $Wm^{-2}$ )، e بازتابش سطح زمین (انتشار)،  $L_{out}$  تابش ورودی و خروجی به زمین به صورت امواج با طول موج بلند می‌باشد ( $Wm^{-2}$ )، مقدار  $\alpha$  با اختلاط بازتابشهای طیفی حاصله از شش باند با طول موج کوتاه در ماهواره لندست بدست می‌آید، و  $L_{in}$  و  $L_{out}$  به عنوان تابعی از دمای سطحی در نظر گرفته میشوند که از تصویر ماهواره ای قابل استخراج است. مقدار e توسط شاخصهای گیاهی ایجاد شده از دو باند با طول موج کوتاه بدست می‌آید. مقادیر پتانسیل  $R_s$  برای هر پیکسل دارای شیب مشخص با استفاده از منحنی های تئوری آسمان صاف قابل تعیین می‌باشند (آلن وهمکاران<sup>2</sup>، 1997). شار گرمایی خاک یا G ( $Wm^{-2}$ ) نیز به صورت تجربی و با استفاده از معادله باستیانسن (2000) قابل تخمین است که این معادله بر اساس آلبیدو ( $\alpha$ )، دمای سطحی زمین و یک شاخص گیاهی با نام NDVI قابل محاسبه می‌باشد:

$$G = \left[ \frac{T_s - 273.16}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (-0.98NDVI^4) \right] R_n \quad (3)$$

که در این معادله  $T_s$  دمای سطحی زمین بر حسب کلوین می‌باشد. شاخص NDVI نیز به کمک باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک حاصل می‌شود که فرمول آن به صورت زیر خواهد بود:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (4)$$

مقدار شار گرمای محسوس یا H ( $Wm^{-2}$ ) از سرعت باد و دمای سطحی زمین و با بکارگیری یک "کالیبراسیون درونی" منحصر به فرد متشکل از اختلاف دمای سطح زمین و دمای هوای مجاور (dT) حاصل می‌شود. این روش توسط فرمول باستیانسن و همکارانش (1998 و 2003) عنوان گردیده است:

$$H = \frac{\rho_{air} C_p (a + b.T_s)}{r_{ah}} \quad (5)$$

که در این معادله  $\rho_{air}$  چگالی هوا ( $kg/m^3$ ) است که تابعی از فشار اتمسفریک می‌باشد.  $C_p$  ظرفیت گرمای ویژه هوا ( $Jkg^{-1} K^{-1}$ )،  $r_{ah}$  مقاومت آئرودینامیکی در مقابل انتقال گرماست ( $s m^{-1}$ )، مقدار  $T_s$  نیز دمای سطحی زمین بر حسب کلوین است و a و b ضرایب تجربی است که برای هر تصویر قابل محاسبه است. جزء  $a+bT_s$  در معادله بیانگر اختلاف دمای سطح زمین با هوای مجاور آن (dT) است که با محاسبه درجه حرارت فاصله بین نزدیک سطح زمین و ارتفاع حدود 2 متری از سطح زمین حاصل می‌شود از آنجایی که شار گرمای نهان (LE) در زمان اخذ

<sup>2</sup> -Allen et. al.



تصویر توسط معادله 1 قابل تخمین است، مقداری با عنوان جز تبخیر (EF) نیز در مدل متداول سبال به صورت زیر محاسبه خواهد شد:

$$EF = \frac{LE}{R_n - G} \quad (6)$$

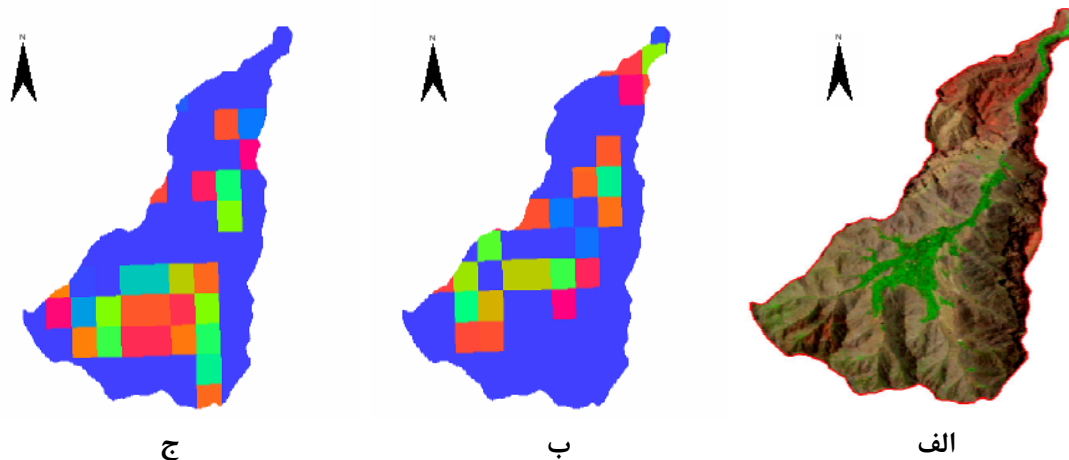
اما در مدل سبال پروژه آیداهو به جای مقدار EF، جزئی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع (یا به عبارتی  $ET_r F$ ) که بیانگر نسبت بین ET هر پیکسل به  $ET_r$  که توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا تعریف شده، مورد محاسبه و بکارگیری قرار گرفته است. این مقدار که همان ضریب گیاهی یا  $K_c$  محسوب می‌گردد به صورت زیر خواهد بود:

$$ET_r F = K_c = \frac{ET}{ET_r} \quad (7)$$

که  $ET_r$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع یونجه است که توسط آمار هواشناسی و به روش پنمن-مونتیت استاندارد شده توسط ASCE به صورت ساعتی محاسبه شده است. پس از اینکه طبق مراحل توضیح داده شده با استفاده از تصویر مودیس مربوط به 5 آبانماه 1358 و 13 اردیبهشت 1386 تبخیر و تعرق واقعی محاسبه گردید، توسط روش فائو - پنمن - مانتیت نیز تبخیر و تعرق پتانسیل در این دو روز محاسبه و با تبخیر و تعرق واقعی بدست آمده از مدل سبال مقایسه شد.

### نتایج و بحث

شکل شماره 2 نقشه های مربوط به تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم سبال است که به کمک تصاویر ماهواره‌ای مودیس بدست آمده است. از جمله مزایای محاسبه تبخیر و تعرق به کمک این روش (یا سایر روشهای سنجش از دور) نسبت به روشهای تجربی این است که توزیع مکانی و نحوه تغییرات تبخیر و تعرق در منطقه مطالعاتی به خوبی قابل بررسی است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، مناطقی که دارای پوشش گیاهی و یا رودخانه فصلی بوده‌اند (شکل 2-الف) تبخیر و تعرق نیز وجود داشته و در نقشه‌های مربوط به دو روز مورد مطالعه (شکل 2-ب و ج) اعداد معنی‌داری ثبت گردیده‌اند. در سایر نقاط حوزه خصوصاً نقاط جنوبی آن که مناطق کوهستانی و صخره ای می باشند، اعداد نزدیک به صفر و حتی صفر ثبت شده اند که بدلیل عدم وجود پوشش گیاهی مناسب در چنین نقاطی است. البته دلایل دیگری از جمله سایه داربودن یا برف گیر بودن این مناطق در بعضی از روزهای سال را نمی توان نادیده گرفت. این دلایل خود می تواند یکی از منابع خطای اجرای الگوریتم سبال در نقاط کوهستانی باشد. به هر حال برآود پیکسل به یکسل و نقطه به نقطه تبخیر و تعرق واقعی در حوزه کارایی اساسی الگوریتم سبال می باشد که برآورد آن با استفاده از روشهای تجربی کاری سخت و با دقت کمتری می باشد.



شکل 2- تصویر ماهواره‌ای از منطقه مطالعاتی (الف) و نقشه‌های تبخیر و تعرق مربوط به روزهای 5 آبانماه 1385 (ب) و 13 اردیبهشت 1386 (ج)

در جدول شماره 1 نیز مشخصات اقلیمی مربوط به روزهای 5 آبان و 13 اردیبهشت و همچنین تبخیر و تعرق محاسباتی از دو روش فائو - پنمن - مانتیث (ETO) و الگوریتم سبال (ETa) در این دو روز از سال آبی 85-86 نشان داده و مقایسه شده است.

جدول 1- ویژگیهای اقلیمی و مقادیر تبخیر و تعرق محاسباتی در دو روز مختلف از سال آبی 85-86 در حوزه منشاد استان یزد

| پارامتر           | 5 آبان ماه 1386<br>(روز 300 ژولایوسی) | 13 اردیبهشت ماه 1387<br>(روز 123 ژولایوسی) |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| حداقل دما (oC)    | 8/5                                   | 11/4                                       |
| حداکثر دما (oC)   | 19/8                                  | 21/3                                       |
| ساعات آفتابی (hr) | 8/18                                  | 8/35                                       |
| میانگین رطوبت (%) | 39/8                                  | 37/08                                      |
| سرعت باد (m/s)    | 6                                     | 6  |
| ETO(mm)           | 4/6                                   | 6/1  |
| ETa(mm)           | 2/01                                  | 3/23                                       |

همان طور که در جدول فوق نیز عنوان گردیده است، میزان تبخیر و تعرق واقعی برآورده شده با استفاده از الگوریتم سبال تقریباً دو برابر تبخیر و تعرق پتانسیل برآورد شده از روش پنمن مانتیث می باشد. که این مورد به دلیل مخلوط بودن پوشش گیاهی منطقه از باغات ، زمین های زراعی و گیاهان مرتعی و مناطق مسکونی منطقه به نظر می رسد چراکه مقادیر ETa بیان شده در جدول میانگین تبخیر و تعرق واقعی از کل حوزه با کاربری های متفاوت می باشد.

#### نتیجه گیری

الگوریتم سبال روشی کارا و مناسب جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی به صورت نقطه ای در هر منطقه ای ( مناطق کشاورزی، حوزه های آبخیز، مناطق کوهستانی و اراضی دشتی ) میباشد. هر چند پیچیدگی فرمول های آن و نیاز به



داده‌های اقلیمی و تصاویر ماهواره ای در سری های زمانی ازدشواری های کاربرد این مدل می باشد ولی استفاده از این الگوریتم مشکل برآورد تبخیر و تعرق به صورت گسترده و دقیق را جهت برنامه ریزی هر چه بیشتر منابع آب را در کشور فراهم می کند. که این خود تلاشی در جهت مقابله با خشکسالیها می باشد.

## منابع

پورمحمدی سمانه ، محمد حسن رحیمیان ، 1387، بررسی نقش الگوریتم SEBAL در برنامه ریزیهای آبیاری و اصلاح قوانین مربوط به آب ، همایش فناوریهای نوین در کشاورزی و منابع طبیعی  
پورمحمدی سمانه ، محمد تقی دستورانی، سیدعلی محمد چراغی، محمد حسین مختاری، 1388، بررسی اهمیت و نقش الگوریتم SEBAL در استفاده بهینه از منابع آب حوزه‌های آبخیز، همایش علوم آبخیزداری گرگان  
پورمحمدی سمانه ، محمد حسین مبین ، محمد حسن رحیمیان ، 1387، بررسی روند خشکسالی و پارامترهای اقلیمی موثر بر آن با استفاده از شاخص RDI ، در منطقه زابل، همایش بین المللی بحران آب زابل، دانشگاه زابل  
پورمحمدی سمانه ، محمد حسین مبین ، محمد حسن رحیمیان ، 1387، روند یابی خشکسالی و پارامترهای اقلیمی موثر بر آن با استفاده از شاخص RDI در ایستگاه یزد، همایش مقابله با بلایای طبیعی ، دانشگاه تهران

Allen, R. G., and Wright, J. L. (1997). Translating wind measurements from weather stations to agricultural crops. *J. Hydrologic Eng.*, 2(1),

Bastiaanssen W. G. M.; Noordman E. J. M.; Pelgrum H.; Davids G.; Thoreson B. P. and Allen R. G. (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. *Journal of irrigation and drainage engineering*.

Bastiaanssen W. G. M.; Ahmad M.D. and Chemin Y. (2002). Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin, *water resources research*, Vol. 38, No. 12, 1273.

W.G.M.Bastiaanssen, M.Menenti, R.A.Feddes, A.A.M.Holtslag, (1998) A remote Sensing Surface energy balance algorithm for land (SEBAL), *Journal of Hydrology* 212-213 .

W.G.M.Bastiaanssen, E.J.M.Noordman , H.Pelgurm, G.Davids , B.P.Thoreson , R.G.Allen , SEBAL Model With Remotely Sensed Data to improve Water-Resources Management under Actual Field Condition, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* p .85-93.

J.G. Ramosa , C.R. Cratchley b, J.A. Kay b, M.A. Casterad c, A. Martí'nez-Cob d, R. Domí'nguez, 2008, Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of N.E. Spain, *gr i c u l t u r a l w a t e r m a n a g e m e n t*, AGWAT-2701; No of Pages 15

Valentijn R.N. Pauwels a, Wim Timmermans b, Alexander Loew c 2007 و Comparison of the estimated water and energy budgets of a large winter wheat field during

AgriSAR 2006 by multiple sensors and models, *Journal of Hydrology* (2008) 349, 425– 440