نشریه علمی و پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۵، شماره ۷۵، فصل بهار سال ۱۴۰۰، صفحات ۱۰۰-۹۱

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵

# بررسی عملکرد مدل سبال کوهستانی در برآورد تبخیروتعرق واقعی مطالعه موردی: شهرستانهای شرق دریاچه ارومیه

**زینب جوانشیر** [۱]
**خلیل ولیزاده کامران** [۲]
**علی اکبر رسولی** [۳]
**هاشم رستم زاده** [٤]

## چکیده

پدیده تبخیر- تعرق واقعی یکی از مولفه های اصلی تعیین بیلان آبی هر منطقه بوده و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در منطقه می باشد.. این پژوهش با هدف تعیین تبخیر – تعرق واقعی گیاه مرجع در شهرستانهای شرق دریاچه ارومیه، از ۴ تصویر ماهواره لندست ۸ در طول فصول زراعی در تاریخهای ۵ شهریور ۱۳۹۲، ۲۳ مرداد، ۱۴ شهریور ۱۳۹۵ و ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ به ترتیب مربوط به سالهای ۲۰۱۷، ۲۰۱۶، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۳ استفاده کرده است. همچنین داده‌های هواشناسی مورد نیاز، بر اساس معادله بیلان انرژی سطح (سبال )به کارگرفته شده است. نتایج نشان داد، که مقدار تبخیر- تعرق واقعی محاسبه شده از مدل سبال برای گیاه مرجع در مرحله ابتدایی رشد، مرحله توسعه، مرحله میانی و پایانی رشد بترتیب حداکثر۱۸/۶۶، ۲۳/۹۹، ۱۴/۹۶ و۱۶/۳۰ میلیمتر در روز است. نتایج حاصل حاکی از آن بود که مدل سبال قادر است پاسخهای معتبری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید و می تواند به عنوان روشی کارآمد و سودمند در سازماندهی منابع آب و بهینه سازی مصرف در تأمین نیاز آبی گیاهان از اهمیت ویژهای برخوردار باشد.

**واژگان کلیدی:** تبخیر - تعرق واقعی، سنجش از دور، سبال، لندست ۸، شرق دریاچه ارومیه

## مقدمه

مدیریت آب همواره بر این تأکید دارد که باید ذخیره‌سازی آب در مخازن را کنار گذاشت و سیاست محدود کردن مصرف آب را در پیش گرفت. اطلاعات فضایی- مکانی در مورد تبخیر- تعرق[۵] به کاربران در فهم تخلیه و تهی شدن آب ناشی از تبخیر و برقراری رابطه بین کاربری زمین، تخصیص آب و مصرف آب کمک می‌کند (باستینسن[۶]، ۲۰۰۵: ۸۵). تبخیر و تعرق دومین عنصر از چرخه آب ( بعد از بارش) است و برآورد دقیق آن در مقیاس منطقه‌ای، برای طراحی راهکارهای مناسب مدیریت لازم است (شیائو[۷]، ۲۰۱۱ : ۲۴). تبخیر - تعرق تابع مقدار انرژی در دسترس پوشش گیاهی و تبادل آن است. به دلیل این وابستگی، با استفاده از اصل بقای انرژی قابل

[۱].دانشجوی دکتری گروه آب و هواشناسی ماهواره‌ای، واحد مرند، دانشگاه آزاد اسلامی، مرند

[۲].دانشیار گروه سنجش از دورو GIS، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز(نویسنده مسئول)

Email:valizadeh@tabrizu.ac.ir – Tel:09144123849

[۳]. استاد گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ر یزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

[۴].استادیار گروه آب و هواشناسی ، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز

1- Evapotranspiration
1- Bastiaanssen
2- Xiao et al

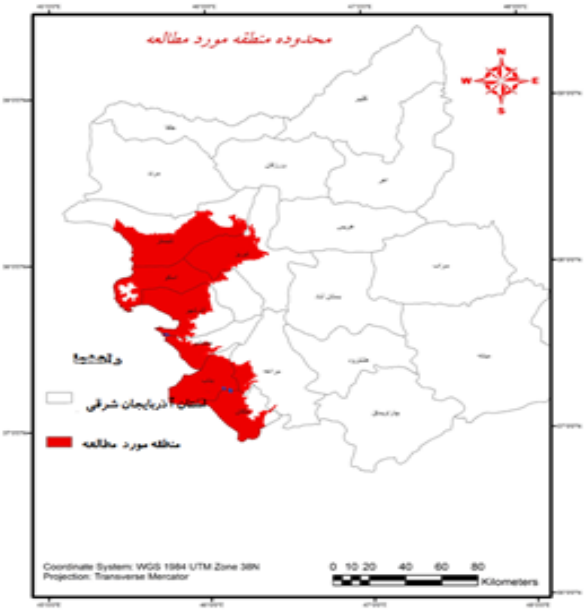
برآورد است (کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۷: ۱۲). با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور و بالا بودن هزینه جمع آوری اطلاعات زمینی، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای از مزیت‌های پایین بودن هزینه، امکان برداشت داده‌ها از تمامی سطوح منطقه در یک زمان، داشتن اطلاعات بهنگام، پایش افقی پارامترهای هواشناسی و زیست محیطی برخوردار است. توانایی علم سنجش از دور در اندازه‌گیری برخی از پارامترهای زمینی، تأثیر مهمی در برآورد تبخیر – تعرق واقعی، داشته است. این پارامترها شامل دمای سطحی، رطوبت سطح خاک، آلبیدوی سطحی، پوشش گیاهی، و تابش ورودی خورشیدی است (مباشری، ۱۳۸۵: ۲۴). تصاویر ماهواره‌ای دارای اطلاعاتی از یک سطح زمین در باندهای مختلف بویژه مرئی، مادون قرمز و مادون قرمز حرارتی است که از ترکیب و مدلسازی آنها می‌توان به برآورد تبخیر – تعرق واقعی دست یافت (ولیزاده‌کامران، ۱۳۹۰: ۳۳). مدل سبال[1] یکی از الگوریتم‌های سنجش از دور است که تبخیر – تعرق گیاه را بر اساس تعادل لحظه‌ای انرژی در سطح هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای محاسبه می‌نماید (کریمی، ۱۳۹۰: ۳۵۳). (آلن[2] و همکاران، ۲۰۰۱: ۱) در تحقیقی در مقیاس حوضه آبخیز رودخانه بیردر امریکا با استفاده از مدل سبال و تصاویر لندست به برآورد تبخیر – تعرق واقعی پرداختند. در این پژوهش نقشه‌های پهنه‌بندی ماهانه تبخیر – تعرق با کمک مدل سبال تهیه شد که توزیع مکانی تبخیر – تعرق را، بخوبی نشان داد. این محققان برای اعتبار سنجی داده‌های مدل سبال از اندازه‌گیری‌های زمینی لایسیمتری استفاده کردند. نتایج حاکی از وجود تفاوت‌های ماهانه با متوسط ۱۶± درصد و تفاوت‌های فصلی با متوسط ۴ ± درصد به علت خطاهای تصادفی، بود.(ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹۱: ۵۰)

(کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۳)، با استفاده از مدل سبال تبخیر – تعرق واقعی گیاه ذرت را در دشت ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از ۴ تصویر ماهواره لندست ۵ مورد بررسی قرار دادند و حداکثر درصد خطا بین تبخیر – تعرق محاسبه شده برای محصول ذرت با مدل سبال و مقادیر اندازه گیری شده در لایسیمتر را کمتر از ۱۰ درصد تعیین کرده‌اند. (سهیلی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵۱)، با استفاده از مدل سبال به محاسبه تبخیر– تعرق گروه دیگری از غلات (نیشکر) در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان در جنوب استان خوزستان پرداخته و با مقایسه برآوردهای حاصل نشان دادند، که نتایج مدل سبال در فصل رشد گیاه از همبستگی نسبتاً خوبی ($R^2 = 0.77$) با نتایج حاصل پنمن – مانتیث برخوردار است. نتایج تحقیقات انجام شده حاکی از آن است که با استفاده از تکنیک سنجش از دور، می توان تبخیر – تعرق واقعی گیاه را با دقت خوبی برآورد نمود.منطقه مورد مطالعه شهرستانهای شرقی دریاچه ارومیه می باشد که دلیل مطالعه این بخش، تاثیر خشکسالی‌های اخیر بر روی این مناطق و کاهش آبهای سطحی و زیرزمینی می باشد که نیاز به مدیریت منابع آب در این مناطق را افزایش داده است.

## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مناطق شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. که درشمال غرب ایران واقع گردیده است .مساحت محدوده مورد مطالعه ۵۲۴۲/۵۶۴کیلومتر مربع و محیط منطقه ۱۳۷۸ کیلومتر می باشد..حداکثر ارتفاع منطقه ۱۶۳۱و حداقل آن ۱۲۳۶ متر از سطح دریا می باشد. منطقه مورد مطالعه شامل دشت‌های تبریز، شبستر، اسکو، آذرشهر، عجب شیر و بناب، ملکان.

[1] - Allen et al




**شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه**

## داده ها و روش‌ها:

**داده ها :** در این تحقیق از داده‌های زیر استفاده شده است که در جدول شماره یک نمایش داده شده است.

| | |
|---|---|
| تصویر لندست ۸ | برای سالهای۲۰۱۷-۲۰۱۶-۲۰۱۴-۲۰۱۳ |
| داده‌های هواشناسی | دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای نقطه شبنم، داده‌های تشت تبخیر، ساعات آفتابی و سرعت باد |
| نرم افزارها | Arc GIS 10.3 - ET REF ENVI 4.8 - Excel 2013- |

## روش تحقیق:

### پیش پردازش تصاویر (تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری)

درگام اول جهت تصحیحات رادیومتریک، مقدار رادیانس (درخشندگی) طیفی در باند حرارتی و در گام بعدی بازتابندگی در باندهای مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز طول موج کوتاه محاسبه شد. همانگونه که در مطالب فوق اشاره شد در مدل سبال تبخیر – تعرق واقعی از طریق تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی با استفاده از بیلان انرژی سطح محاسبه می‌شود. وقتی که تصویر ماهواره‌ای اطلاعاتی را برای زمان عبور خود فراهم می‌کند سبال شار تبخیر – تعرق لحظه‌ای را برای آن زمان محاسبه می‌کند(ولیزاده کامران، ۱۳۹۰: ۳۳) شار تبخیر – تعرق برای هر پیکسل در یک تصویر بعنوان " باقیمانده " معادله بیلان انرژی سطح به شرح زیر محاسبه می‌شود(آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۹).

$$\lambda ET = R_n - G - H \qquad (۱)$$

در رابطه فوق $\lambda ET$ تبخیروتعرق ($w/m^2$)، $R_n$ شار تابش خالص در سطح زمین ($w/m^2$)، G شار گرمای خاک ($w/m^2$) و H شارگرمای محسوس($w/m^2$) می‌باشد.

اولین مرحله به منظور حل معادله الگوریتم بیلان انرژی سطح زمین (سبال ) محاسبه شار تابش خالص است. در واقع شار تابش خالص در سطح ($R_n$) با استفاده از تمامی شارهای تابشی فرودی و خروجی از سطح بدست می‌آید. طبق معادله (۲) می‌توان آن را محاسبه نمود( آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴).

$$R_n = (1-\alpha)R_{s\downarrow} + R_{l\downarrow} - R_{l\uparrow} - (1-\varepsilon_0)R_{l\downarrow} \quad (۲)$$

در این معادله $\alpha$ آلبیدوی سطحی، $R_{s\downarrow}$ تابش موج کوتاه فرودی ($w/m^2$)، $R_{l\downarrow}$ تابش موج بلند فرودی ($w/m^2$)، $R_{l\uparrow}$ تابش موج بلند خروجی ($w/m^2$) و $\varepsilon_0$ گسیلمندی سطحی عریض باند می‌باشد. اجزای معادله (۲) طبق معادلات ذیل قابل محاسبه هستند.

تابش فرودی موج کوتاه $R_{s\downarrow}$، شار تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده است که واقعاً به زمین می‌رسد. با فرض شرایط آسمان صاف، می‌توان آنرا بصورت زیر برای زمان تصویر محاسبه کرد ( آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos\theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad (۳)$$

در معادله فوق Gsc ثابت خورشیدی ($1367\ ^{w}/_{m^2}$)، $\cos\theta$ کسینوس زاویه (زاویه تابش یا ارتفاع خورشیدی که بر حسب درجه می‌باشد مقدار آن بین ۰ تا ۹۰ درجه و در ساعات روز متفاوت است) فرودی خورشید، dr معکوس مربع[1] فاصله نسبی زمین تا خورشید و τsw ضریب شفافیت اتمسفری می‌باشد.

تابش موج بلند خروجی[2] ($R_{l\uparrow}$)، این تابش با استفاده از معادله استفان– بولتزمن محاسبه می شود( آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۹).

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 * \sigma * T_s^4 \quad (۴)$$

در معادله فوق $\varepsilon_0$ گسیلمندی سطحی باند پهن (بدون بعد)، σ ثابت استفان بولتزمن ($5.67\times10^{-8} W/m^2/K^2$)، Ts دمای سطح برحسب درجه( $K$) است.

تابش موج بلند فرودی ($R_{L\downarrow}$)، شار تابش حرارتی از اتمسفر بسمت پایین است ($w/m^2$) که با استفاده از رابطه استفان – بولتزمن محاسبه می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۳).

$$R_{l\downarrow} = 0.85 * (-\ln\tau_{sw})^{0.09} * \sigma * T_{cold}^4 \quad (۵)$$

$T_{cold}$ معادل، دمای سطحی پیکسل سرد است و بر حسب کلوین می‌باشد.

شار گرمای خاک، میزان انتقال گرما در خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است. محاسبه مستقیم مقدار شار گرمای خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مشکل است. بنابراین با استفاده از معادله (۲) در روش سبال ابتدا مقدار $R_n$ را محاسبه و سپس از نسبت $^{G}/_{R_n}$ شار گرمای خاک (G) بصورت ذیل محاسبه می‌شود(آلن و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۰۱۵).

$$\frac{G}{R_n} = \frac{(T_S - 273.15)}{\alpha(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1-0.98NDVI^4)} \quad (۶)$$

درمعادله فوق (NDVI) شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد. مقدار G با ضرب کردن نسبت فوق در $R_n$ بدست می‌آید.

[1]-inverse squared

[2]- Outgoing Longwave Radiation

کسب اطلاعات درباره‌ی وضعیت پوشش گیاهی از قبیل میزان و پراکنش آنها، از اهمیت زیادی برخوردار است. NDVI شاخصی است که به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی حساسیت دارد و در حالت سلامت، پوشش گیاهی امواج باند نزدیک به مادون قرمز را به خوبی منعکس می‌کنند و از رابطه زیر بدست می‌آید (آلن وهمکاران، ۲۰۰۲: ۱۹).

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (۷)$$

R انعکاس در باند قرمز و IR انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک می‌باشند. مقادیر تغییرات بین ۱- و ۱+ می‌باشد. سطوح دارای پوشش گیاهی دارای NDVI بین صفر و یک و همچنین آب و ابر دارای NDVI کمتر از صفر هستند و بدون بعد می‌باشد.

شار گرمای محسوس تابعی از گرادیان گرما، زبری سطح و سرعت باد می‌باشد که با استفاده از معادله (۱۲)محاسبه می‌گردد (آلن و همکاران، ۲۰۰۲: ۲۵).

$$H = \frac{\rho \times C_p \times dT}{r_{ah}} \quad (۸)$$

$\rho$ چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)، $C_p$ گرمای ویژه هوا (۱۰۰۴ژول بر کیلوگرم بر کلوین)، $dT$ اختلاف دما بین $T_2$ و $T_1$ بین دو ارتفاع $Z_2$ و $Z_1$ بر حسب کلوین و $r_{ah}$ مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال گرما (ثانیه بر متر) می‌باشد. برای ساده‌تر کردن محاسبات، از دو پیکسل سرد و گرم (که می‌تواند مقادیر قابل اعتماد برای H را پیش بینی کرده و با استفاده از آن $dT$ برآورد شود) و سرعت باد در ارتفاع معین استفاده می‌کنیم. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل (معمولاً یونجه) و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم هم از اراضی کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک انتخاب می‌شود .انتخاب این دو پیکسل از تصویر $T_s$ (دمای سطحی زمین)صورت می‌گیرد. بایستی سعی شود برای انتخاب پیکسل سرد(مرطوب) از نقاط بسیار سرد پرهیز شود بلکه نقاط انتخاب شده از مناطق با پوشش انبوه گیاهی باشد. برای بهترین نتیجه، پیکسل سرد بایستی دارای آلبیدوی سطحی بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۴که مربوط به گیاه مرجع یونجه است، باشد. سعی شود تا حد امکان انتخاب پیکسل سرد و گرم به ایستگاه هواشناسی نزدیک باشد تا پارامترهای این ایستگاه و شرایط جوی برای منطقه پیکسل نیز معتبر باشد.

شار گرمای نهان ($\lambda ET$)، میزان تلفات گرما از سطح بعلت تبخیر – تعرق را نشان می‌دهد که برای هر پیکسل با توجه به رابطه (۱) محاسبه می‌شود. شار گرمای نهان، مقداری است که توسط تصاویر ماهواره‌ای بصورت لحظه‌ای به دست می‌آید. بنابراین مقدار عددی $\lambda$ باید محاسبه شود تا با تقسیم عدد مربوط در هر پیکسل مقدار ET لحظه‌ای به دست آید. مقدار تبخیر – تعرق واقعی در لحظه گذر ماهواره، تبخیر – تعرق لحظه‌ای[1] ($ET_{inst}$) بر حسب میلی‌متر بر ساعت با استفاده از معادله (۱۳)دست می‌آید(آلن وهمکاران، ۲۰۰۲: ۳۴ ).

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (۹)$$

$ET_{inst}$تبخیر – تعرق لحظه‌ای($mm/hr$)، $\lambda$ گرمای نهان بخار آب یا میزان گرمای جذب شده موقعیکه آب بخار می‌شود ($j/kg$) و عدد ۳۶۰۰ برای تبدیل زمان از ثانیه به ساعت است. مقدار $\lambda$ از معادله زیر قابل محاسبه است (آلن و همکاران،۲۰۱۱: ۴۰۲۲).

1– Instantaneous ET

$$\lambda = [2.501 - 0.00236(T_s - 273)] \times 10^6 \quad (۱۰)$$

کسر ET مرجع ($\mathbf{ET_rF}$) بصورت نسبت ET لحظه‌ای($ET_{inst}$) محاسبه شده برای هر پیکسل محاسبه شده از داده‌های هواشناسی طبق معادله (۱۵) تعریف می‌شود (آلن و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۰۲۲).

$$\mathbf{ET_rF} = \frac{\mathbf{ET_{inst}}}{\mathbf{ET_r}} \quad (۱۱)$$

$ET_r$ تبخیر و تعرق مرجع در زمان تصویر است که با استفاده از نرم افزار REF-ET بر حسب ($mm/hr$) بدست می‌آید.

**برآورد تبخیر - تعرق روزانه ($\mathbf{ET_{24}}$)**

مقادیر روزانه ET ($ET_{24}$) کاربرد بیشتری نسبت به مقادیر ET لحظه‌ای دارند. سبال $ET_{24}$ را با فرض اینکه $\mathbf{ET_rF}$ لحظه‌ای بصورت میانگین ۲۴ ساعته است، و در طول ۲۴ ساعت شبانه روز تقریبا ثابت است، محاسبه می‌کند. $ET_{24}$ را می‌توان بصورت زیر محاسبه نمود (آلن و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۰۲۲).

$$ET_{24} = ET_rF \times ET_{r\ 24} \quad (۱۲)$$

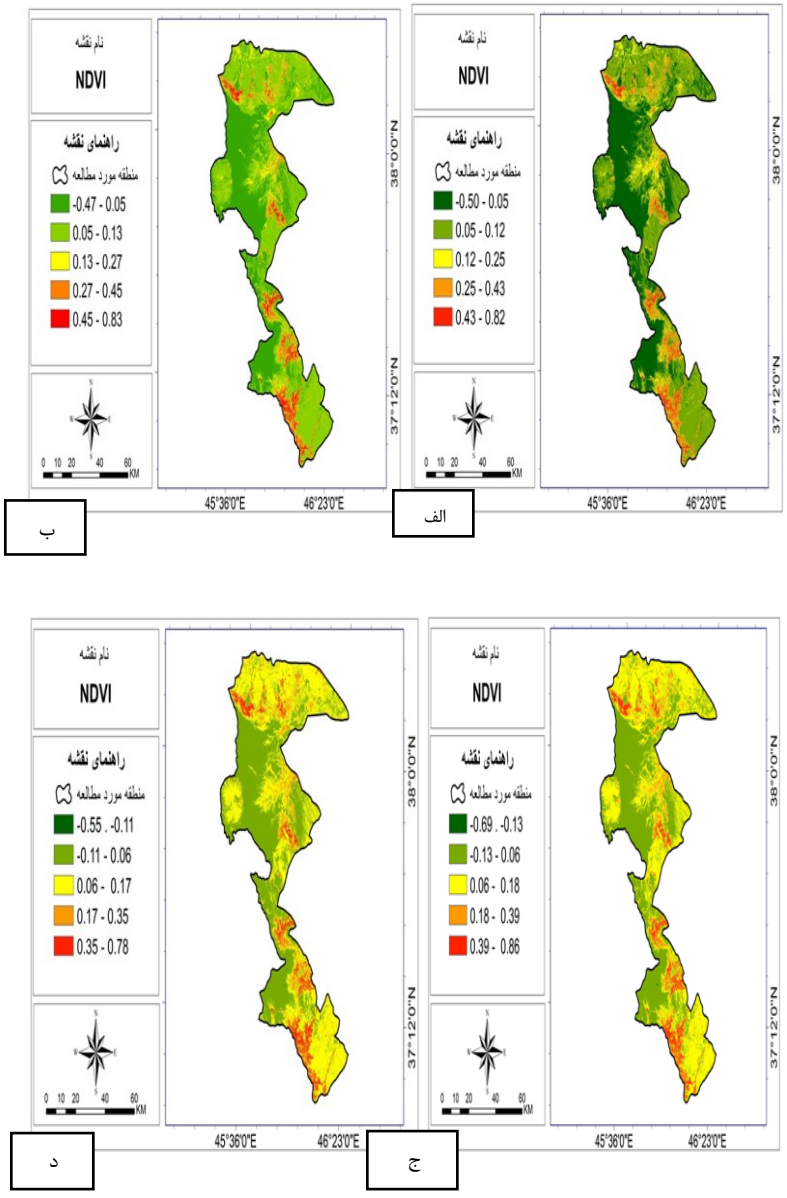
$\mathbf{ET_{r_24}}$، مجموع $\mathbf{ET_r}$ در طی ۲۴ ساعت برای همان روز تصویر می‌باشد که با جمع کردن مقادیر ساعتی $\mathbf{ET_r}$ با یکدیگر در روز گذر ماهواره بدست می‌آید. برای ارزیابی تبخیر – تعرق حاصل از اطلاعات ماهواره‌ای با روش‌های معمول محاسباتی از جمله روش (فائو-پنمن-مانتیث و روش تشتک تبخیر) مقادیر تبخیر – تعرق به دست آمده از مدل سبال با روش‌های پنمن – مانتیث و روش تشتک تبخیر مقایسه شد. روش پنمن مانتیث دارای نسخه‌های متعددی است که از بین آنها روش فائو – پنمن – مانتیث بعنوان یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین $ET_0$ مورد استفاده متخصصان قرار گرفته است (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۲۲) برای سنجش اعتبار این مدل‌ها از شاخص-های آماری از جمله ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق استفاده شد.

**بحث و بررسی :**

سبال یک مدل پردازش تصویر است که تبخیر – تعرق و دیگر تبدیلات انرژی در سطح زمین را با استفاده از داده‌های رقومی که توسط ماهواره‌های سنجش از دوری که تابش‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک، و مادون قرمز حرارتی را اندازه می‌گیرند، به دست می دهد. (ولیزاده کامران، ۱۳۹۰، ۳۳) و از دمای سطحی، انعکاس سطحی و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی( NDVI ) و روابط درونی آنها جهت برآورد شارهای سطحی برای انواع پوشش‌های سطحی زمین استفاده می‌کند (مباشری، ۱۳۸۵: ۳۹). شاخص پوشش گیاهی بر روی تصاویر ماهواره ای روزهای منتخب اعمال شد و نتایج حاصل از آن در اشکال ( الف، ب، ج، د ) و جدول ۳ ارائه شده است.( شاخص پوشش گیاهی یا Soil Adjusted Vegetation Index ( SAVI) از شاخص SAVI برای محاسبه پوشش گیاهی سطح زمین استفاده می شود که اثر خاک را در آن تعدیل کرده است. این شاخص تفاوت کمی با شاخص NDVI دارد).

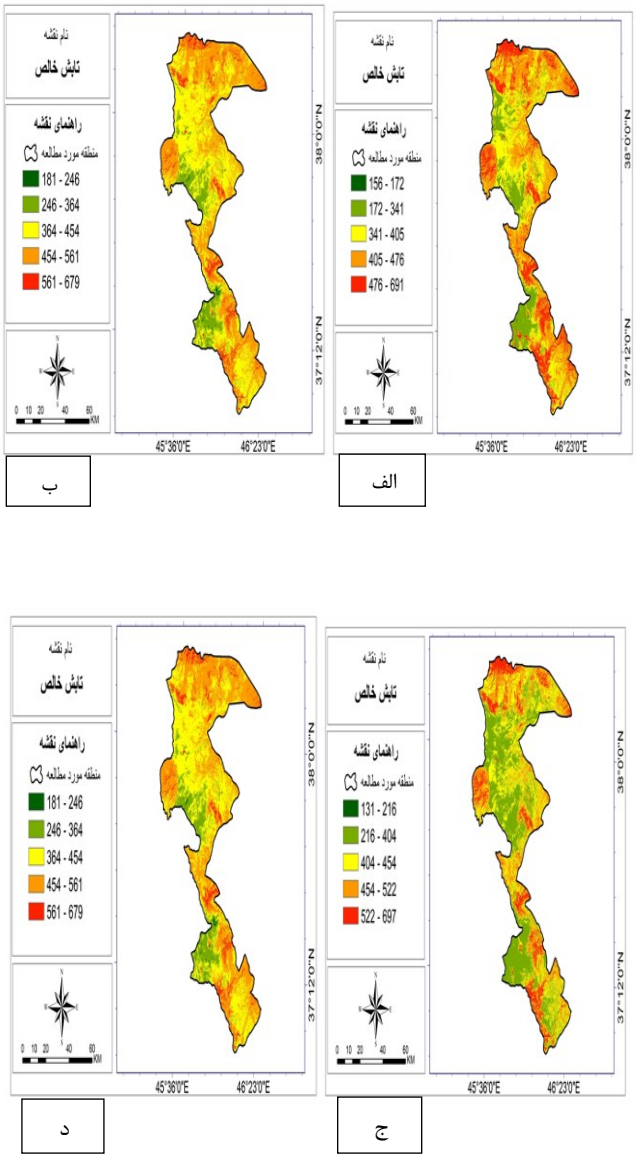
**جدول(۱). مقادیر استخراجی شاخص‌های پوشش گیاهی برای پیکسل‌های سرد و گرم**

| تاریخ تصویر | نوع پیکسل | نوع شاخص | |
|---|---|---|---|
| | | NDVI | SAVI |
| ۵ شهریور ۱۳۹۲ | پیکسل سرد | ۰/۷۶۲ | ۰/۴۳۲ |
| | پیکسل گرم | ۰/۱۰۹ | ۰/۰۶۵ |
| ۲۳ مرداد ۱۳۹۳ | پیکسل سرد | ۰/۸۳۶ | ۰/۶۳۹ |
| | پیکسل گرم | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۹۱ |
| ۱۴ شهریور ۱۳۹۵ | پیکسل سرد | ۰/۷۰۸ | ۰/۴۸۵ |
| | پیکسل گرم | ۰/۰۹۴ | ۰/۰۸۵ |
| ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ | پیکسل سرد | ۰/۸۶۱ | ۰/۶۶۷ |
| | پیکسل گرم | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۴۵ |




**شکل (۲). نقشه پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی، الف:۵ شهریور ماه، ب: ۲۳ مرداد ماه، ج: ۱٤شهریور ماه، د: ۳۱مرداد ماه**

نوع و وضعیت سطح زمین در دوره‌های غیر رشد و رشد گیاهان، دامنه تغییرات تبخیر– تعرق گیاه را تعیین می‌کند. تغییرات تابش خالص در منطقه مطالعاتی در ۵ کلاس طبقه‌بندی و نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳ مناطقی که دارای پوشش گیاهی انبوه هستند و یا مزارعی که در مرحله توسعه رشد هستند بدلیل استفاده از تابش خالص جهت تبخیر – تعرق و فتوسنتز نسبت به سایر نقاط، تابش خالص را بیشتری نشان می‌دهند.




**شکل(۳). نقشه تابش خالص سطحی در منطقه مطالعاتی، الف:۵شهریور ماه، ب: ۲۳ مرداد ماه، ج: ۱٤ شهریورماه، د: ۳۱مرداد ماه**

**جدول (۲). مقادیر تابش خالص استخراجی از الگوریتم سبال برای پیکسل‌های سرد و گرم**

| تاریخ تصویر | پیکسل سرد | پیکسل گرم |
|---|---|---|
| ۵ شهریور ۱۳۹۲ | ۵۴۶/۶۱ | ۳۵۴/۰۵ |
| ۲۳ مرداد ۱۳۹۳ | ۵۸۳/۵۵ | ۲۳۱/۴۷ |
| ۱۴ شهریور ۱۳۹۵ | ۵۸۶/۳۵ | ۲۷۵/۸۱ |
| ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ | ۵۵۷/۲۲ | ۲۵۳/۱۷ |

**- تبخیر و تعرق روزانه**

در این بخش با استفاده از مقادیر بدست آمده از شار گرمای نهان و شار گرمای تبخیر، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق لحظه ای برای هر پیکسل محاسبه گردید. سپس با استفاده از نرم افزار Ref_ET مجموع تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته محاسبه شده و میزان تبخیر – تعرق

روزانه برای کل تصویر بدست آمد. جدول ۳ مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده در روش سبال و مقایسه آن با روشهای پمن مانتیث و تشت تبخیر را نشان می دهد.

**جدول ۳- مقایسه مقادیر تبخیر – تعرق روزانه الگوریتم سبال با روش فائو –پنمن مانتیث و تشت تبخیر**

| تاریخ تصویر | الگوریتم سبال | | فائوپنمن مانتیث | تشت تبخیر |
|---|---|---|---|---|
| | حداکثر | میانگین منطقه | | |
| ۵ شهریور ۱۳۹۲ | ۱۸/۶۶ | ۳/۰۵ | ۱۱/۶۴ | ۱۱/۸۷ |
| ۲۳ مرداد ۱۳۹۳ | ۲۳/۹۹ | ۵/۶۴ | ۱۳/۲۲ | ۱۳/۷۶ |
| ۱۴ شهریور ۱۳۹۵ | ۱۴/۹۶ | ۳/۵۴ | ۱۱/۰۸ | ۹/۹۰ |
| ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ | ۱۶/۳۰ | ۳ | ۱۰/۷۵ | ۱۱/۷۳ |

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان می دهد، طبق جدول شماره ۳ بین مقادیر تخمین زده شده بوسیله الگوریتم سنجش از دور( سبال )و روش فائو- پنمن- مانتیث و روش تشتک تبخیر تطابق خوبی وجود دارد. میزان تفاوت بین مقادیر سبال و روش فائو-پنمن-مانتیث در گیاه مرجع کمتر از 4/21 میلیمتر در روز است که بیشترین تفاوت مربوط به تاریخ 22 مهر ماه می باشد که در مجموع مقادیر سبال و روش پنمن-مانتیث دارای میانگین تفاضل مطلق 4/28 میلیمتر در روز می باشد. در تحقیقاتی که در گذشته بعمل آمده بین مقادیر تبخیر -تعرق گیاه مرجع اندازه گیری شده بوسیله SEBAL و لایسیمتر ( کریمی، ۱۳۹۲ : 112)میانگین تفاضل مطلق را 4/52 میلیمتر در روز را بدست آورد. همچنین( سهیلی فر و همکاران، ۱۳۹۱، 222 ) نیز بین مقادیر اندازه گیری شده بوسیله سبال و روش پنمن- مانتیث برای گیاه نیشکر RMSE 4/22 را به دست آوردند که با نتایج این مطالعه با مقدار 4/25 میلیمتر در روز همخوانی دارد. از نتایج این پژوهش می توان دریافت که با استفاده از مدل سبال می توان تبخیر – تعرق واقعی و نیاز آبی گیاهان زراعی و حتی باغی و مرتعی را در سطوح وسیعی محاسبه نمود که این دلیلی بر مناسب بودن این مدل برای تخمین تبخیر- تعرق واقعی در سطوح مختلف مزرعه و شبکه‌های آبیاری می باشد. از این رو سنجش از دور با بهره گیری از الگوریتمهای متعدد با ارائه تخمینی از میزان ET با حداقل استفاده از دادههای زمینی، دارای پتانسیلی بسیار بالا برای اصلاح مدیریت منابع آبیاری در مناطق بسیار وسیع می باشد

با استفاده از فن آوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می توان نتایج قابل قبولی را در برآورد میزان تبخیر- تعرق واقعی به ویژه در مناطق بزرگ بدست آورد. چنانچه پارامترهای معادلات توازن انرژی و پنمن – مانتیث از تصاویر ماهواره ای و به صورت فضایی(مکانی)محاسبه شوند، با یک ضریب گیاهی مناسب دو روش نتایج مشابهی در برآورد میزان تبخیر- تعرق خواهند داشت. با استفاده از این روش می توان ضریب گیاهی را که یکی از فاکتورهای مهم در محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان می باشد بطور دقیق تعیین نمود.

## منابع


- بابامیری، امید. دین پژوه، یعقوب.۱۳۹۶. تبخیر و تعرق پتانسیل؛ نیاز آبی؛ کرمانشاه؛ روش ترکیبی فائو- پنمن – مانتیث. *مقاله پژوهشی*. مقاله ۲۱، دوره ۲۷، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶، صفحه ۲۶۷-۲۷۹
- رورده، همت الله. یوسفی، یدالله. معصوم پور سماکوش، جعفر. فیضی، وحید. ۱۳۹۳. تغییرپذیری زمانی – مکانی بارش های حدی در ایران. *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. سال ۵۲، پیاپی ۴۵، شماره۲.
- سهیلی‌فر زهرا، میرلطفی سیدمجید، ناصری عبدعلی، عصاری مصطفی، برآورد تبخیر – تعرق واقعی نیشکر با استفاده از داده‌های سنجش از دور در اراضی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک‌خان. *نشریه دانش آب و خاک*، جلد ۲۳، شماره ۱، ۱۳۹۲، ص ۱۵۱ تا ۱۶۳.
- صادقیان، طاهره.تقوایی، منصور.فلاحشمسی، سیدرشید.مسعودی، بررسی تاثیر عوامل اقلیمی بر تراکم و درصد تاج پوشش درختچه استبرق Calotropis procera Lمطالعه موردی- مراتع جنوبی استان فارس. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. سال ۵۲، شماره۲
- علیزاده، امین، (۱۳۸۵). ***طراحی سیستم‌های آبیاری (جلد اول)، طراحی سیستم‌های آبیاری سطحی***. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع). صفحات: ۴۵۲.
- کریمی، علیرضا، (۱۳۹۰). ارزیابی الگوریتم‌های سنجش از دور(SEBAL و SEBS) جهت محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایاننامه ارشد، دانشکده پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی.
- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، (۱۳۸۷). ***تبخیر – تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان)***. شماره انتشار ۱۲۲.
- مباشری، محمدرضا، (۱۳۸۵). برآورد میزان تبخیر - تعرق در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷سنجنده +ETM طرح‌های پژوهشی. *سازمان آب و برق خوزستان*. معاونت مطالعات پایه و طرحهای جامع منابع آب.
- ولیزاده‌کامران، خلیل، (۱۳۹۰). برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تکنیکهای پردازش تصویر ماهواره‌ای و GIS. رساله‌ی دکتری، دانشگاه تبریز.
- یزدانپناه، حجت اله.مهدی مومنی، مهدی. حسینقلی نژاد دزفولی، حجت.موحدی، سعید. سلیمانی تبار، مریم. ۱۳۹۳. مقایسه شاخصهای پوشش گیاهی سنجش از دور در پایش خشکسالی (مطالعه موردی مراتع نیمه شمال استان خوزستان). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*. سال ۵۲، پیاپی۴۵، شماره۲.
- Allen, R.G, Bastiaanssen ,W.G.M, Tasumi M, Mors A (2001). Evapotranspiration on the Watershed Scale Using the SEBAL Model and landsat images.Paper number:01-2224.An ASAE meeting Presentation.
- Allen R.G, Bastiaanssen W.G.M, Tasumi M, Trezza R, Waters R, (2002). Surface Energy Balance Algorithms for Land(SEBAL); Advanced Training and Users Manual.
- 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, 0733-9437.131:1(85)
- Ramos, J.G, Cratchley, C.R, Kay, J.A, Casterd, M.A, Martinez-cob, A. and Dominguez, R, (2009). Evaluation of Satellite evapotranspiratin eatimates Using ground – meteorological data available for the Flumen District in to the Ebro Valley of N.E Spain. Agricultural Water Mangement, 96(2009) 638-652
- Xiao-chun, ZHANG, jing-wei WU, Hua-yi WU, Yong LI ،(2011). Simplified SEBAL method for estimating vast areal evapotranspiration with MODIS data.4(1): 24-35