

## برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد

سید حسین ثنایی نژاد<sup>۱</sup> - سمیرا نوری<sup>۲\*</sup> - سید مجید هاشمی نیا<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۱۳

### چکیده

برآورد تبخیر و تعرق در مواردی از قبیل برنامه ریزی آبیاری، توازن هیدرولوژیکی، طراحی و مدیریت سیستم های آبیاری و پیش بینی میزان عملکرد محصول ضروری است. بنابراین محققین بسیاری تلاش کرده اند تا مقادیر تبخیر و تعرق را در مقیاس های مختلف زمانی و مکانی به دست آورند. سنجش از دور از جمله تکنیک های جدیدی است که می تواند بدین منظور استفاده شود. از این رو در این تحقیق سعی شده است تا توزیع مکانی تبخیر و تعرق واقعی روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در روزهای ۱۴ خرداد، ۱۰ تیر و ۴ مرداد سال ۱۳۸۸ و به کارگیری الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال) با احتساب اثرات توپوگرافی به دست آید. نتایج نشان داد که تصاویر سنجنده مودیس و الگوریتم سبال قادر هستند مقدار تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس روزانه در زیر حوضه آبریز مشهد به خوبی برآورد نمایند. براساس نتایج به دست آمده، نواحی با پوشش گیاهی متراکم و دمای پایین دارای مقادیر بالای تبخیر و تعرق بوده و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم از مقدار تبخیر و تعرق کمی برخوردارند.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق، سبال، سنجش از دور، مودیس

### مقدمه

اقتصادی مقرون به صرفه باشد (۱).  
الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (سبال)<sup>۵</sup> یکی از مهم ترین و پرکاربردترین روش های باقیمانده انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده های سنجش از دور می باشد. سبال روشی است که بر پایه روابط تجربی و فیزیکی، میزان تبخیر و تعرق را با حداقل داده های زمینی برآورد می نماید (۸).

تاسومی و همکاران (۱۳) طی یک بررسی، نتایج ET حاصل از روش سبال را با نتایج لایسیمتری در دو منطقه در آیداهو مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعات ایشان نشان داد که برآوردهای ET حاصل از روش سبال با نتایج اندازه گیری شده توسط لایسیمتر برای محصولات کشاورزی در اقلیم های نیمه خشک به خوبی منطبق است.

مباشری و همکاران (۳) نیز مقادیر تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از روش سبال و تصاویر مودیس در مزرعه نمونه ارتش واقع در دشت گرگان برآورد کردند. آن ها با مقایسه نتایج حاصل از تصاویر ماهواره ای و مقادیر ارائه شده در منابع، بیان کردند که استفاده از

تبخیر و تعرق (ET)<sup>۴</sup> یکی از عوامل مهم در چرخه هیدرولوژی و از جمله عوامل تعیین کننده معادلات انرژی در سطح زمین و توازن آب می باشد و برآورد آن در زمینه های مختلف علمی همچون هیدرولوژی، کشاورزی، مدیریت جنگل و مرتع و مدیریت منابع آب مورد نیاز است.

اغلب روش هایی که تاکنون ارائه شده است از اندازه گیری های نقطه ای برای تخمین ET استفاده می کنند، لذا فقط مناسب مناطق محلی بوده و به خاطر طبیعت پویا و تغییرات منطقه ای ET قابل تعمیم به حوضه های بزرگ نمی باشند. سنجش از دور این قابلیت را دارد تا مقدار ET را تخمین زده و حتی توزیع مکانی آن را مورد بررسی قرار دهد، زیرا تنها روشی است که می تواند پارامترهای معروفی نظیر دمای سطحی، ضریب آلبیدو و شاخص پوشش گیاهی را به صورت منطبق یا سازگار با محیط فراهم کرده و همچنین از لحاظ

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانشیار، دانشجوی کارشناسی ارشد و مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\* - نویسنده مسئول: (Email: noori.samira@gmail.com)

5- Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL)

4- Evapotranspiration

خشک می باشد (۲). داده های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال، از مجموعه داده های ایستگاه های هواشناسی سینوپتیک مشهد و گلمکان بوده که به ترتیب واقع در  $۱۶^{\circ}$  عرض شمالی،  $۳۸^{\circ}$   $۵۹^{\circ}$  طول شرقی و  $۲۹^{\circ}$   $۳۶^{\circ}$  عرض شمالی،  $۱۷^{\circ}$   $۵۹^{\circ}$  طول شرقی هستند. در این تحقیق از تصاویر سنجنده مودیس مستقر بر روی ماهواره ترا استفاده شد. تصاویر مذکور مربوط به روزهای ۱۴ خرداد (ساعت ۱۱:۳۵ صبح)، ۱۰ تیر (ساعت ۱۰:۴۵ صبح) و ۴ مرداد (ساعت ۱۰:۴۰ صبح) سال ۱۳۸۸ بوده که از سایت مربوط به محصولات مودیس تهیه گردیده است (۱۰).

### الگوریتم توازن انرژی سطح برای خشکی (سبال)

مدل سبال، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره ای و حداقل داده های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می نماید. از آنجا که تصاویر ماهواره ای تنها می توانند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند لذا سبال می تواند مقدار شار تبخیر و تعرق لحظه ای را در زمان تصویر، برآورد نماید. شار تبخیر و تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطح محاسبه می شود.

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

در معادله فوق،  $\lambda E$  شار گرمای نهان ( $W/m^2$ )،  $R_n$  شار تابش خالص در سطح زمین ( $W/m^2$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $W/m^2$ ) و  $H$  شار گرمای محسوس ( $W/m^2$ ) می باشد.

### تابش خالص $R_n$

مقدار تابش خالص از توازن چهار شار تابشی در سطح زمین به دست می آید که عبارتند از تابش طول موج کوتاه ورودی ( $R_{S\downarrow}$ ) که بخشی از این انرژی تابشی توسط سطوح مختلف منعکس می شود ( $R_{S\uparrow}$ )، تابش طول موج بلند ورودی از اتمسفر ( $R_{L\uparrow}$ ) و تابش طول موج بلند گسیل شده از سطح ( $R_{L\downarrow}$ ). بنابراین تابش خالص لحظه ای در واحد سطح به صورت ذیل به دست می آید:

$$R_n = (1 - \alpha)R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon)R_{L\downarrow} \quad (۲)$$

که در آن،  $R_{S\downarrow}$  تابش موج کوتاه ورودی ( $W/m^2$ )،  $R_{L\downarrow}$  تابش موج بلند ورودی ( $W/m^2$ )،  $R_{L\uparrow}$  تابش موج بلند خروجی ( $W/m^2$ )،  $\alpha$  آلبیدوی سطحی و  $\varepsilon_0$  توان تشعشعی سطحی باند پهن می باشد.

تابش موج کوتاه ورودی ( $R_{S\downarrow}$ ) در واقع، شار تابش خورشیدی است که به صورت تابش مستقیم و پراکنده به سطح زمین می رسد و مقدار آن برای زمان تصویر و شرایط آسمان صاف و بدون ابر، به صورت ذیل محاسبه می شود (۴):

$$R_{S\downarrow} = G_{SC} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{SW} \quad (۳)$$

که در آن  $G_{SC}$  ثابت خورشیدی ( $1367 W/m^2$ )،  $\cos \theta$  کسینوس

تصاویر مودیس و الگوریتم سبال می تواند برآورد خوبی از ET در مناطق همگن و هموار ارائه نماید.

طی مطالعه ای دیگر، کارایی استفاده از سنجنده مودیس جهت برآورد ET در منطقه ساوانا واقع در غرب آفریقا مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از روش سبال، تصاویر مودیس و AATSR استفاده شد. نتایج نشان داد که هر دو سنجنده از قابلیت خوبی برای برآورد ET در مناطق بزرگ و ناهمگن برخوردارند. نتایج حاصل با ET به دست آمده از تصاویر سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست مقایسه شد که طی این مقایسه، مودیس با ضریب تبیین  $0.71$  و میزان خطای  $2$  میلیمتر در روز نسبت به سنجنده AATSR عملکرد بهتری از خود نشان داد (۱۱).

تاکنون مطالعات زیادی انجام شده که همه نشان دهنده ی کارایی روش سبال در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه ای و حوضه های بزرگ می باشد (۶، ۷، ۹ و ۱۲).

هدف از این مطالعه به دست آوردن برآوردهای مقرون به صرفه تر و دقیق تر تبخیر و تعرق واقعی و چگونگی توزیع مکانی آن در زیر حوضه آبریز مشهد می باشد. همچنین سعی بر این است تا جهت برآورد دقیق تر شارهای گرمایی سطح، شرایط توپوگرافی منطقه نیز در برآورد تبخیر و تعرق واقعی لحاظ شود. سنجنده مورد استفاده در این بررسی، سنجنده مودیس می باشد که به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین و در نتیجه مشکل بودن کار با آن، در مقایسه با تصاویر سنجنده هایی چون لندست  $TM^1$ ، لندست  $ETM^+$  و آستر<sup>۲</sup>، در ایران به ندرت از تصاویر آن جهت به دست آوردن نقشه های تبخیر و تعرق استفاده شده است. اما رایگان بودن تصاویر سنجنده مذکور و البته دوره تکرار روزانه آن سبب گردیده استفاده از تصاویر آن در مقیاس منطقه ای مفید و مقرون به صرفه باشد. بنابراین بررسی کارایی سنجنده مودیس در برآورد تبخیر و تعرق منطقه ای، نیز طی این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

### مواد و روش ها

#### منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

زیر حوضه آبریز مشهد، محدوده مورد مطالعه تحقیق حاضر با وسعتی حدود  $۹۹۰۹$  کیلومتر مربع بین عرض های جغرافیایی  $۳۵^{\circ}$  تا  $۳۷^{\circ}$  شمالی و طول های جغرافیایی  $۲۲^{\circ}$  تا  $۷۸^{\circ}$  شرقی واقع شده است. این زیر حوضه یکی از زیر حوضه های حوضه آبریز قره قوم می باشد که طبق گزارش سازمان هواشناسی خراسان رضوی، بر اساس روش دومارتن دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه

1- LANDSAT  
2- ASTER

پوشیده از برف فرض می شوند و نسبت  $G/R_n$  برای این مناطق نیز  $0/5$  لحاظ می گردد.

### شار گرمای محسوس (H)

در روش سیال جهت برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می شوند. یکی از این پیکسل ها که پیکسل سرد نامیده می شود مربوط به منطقه ای کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده است، دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی معادل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می باشد. بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می شود. در روش سیال طبق معادله ی ۱ و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل مذکور، شار گرمای محسوس در این دو پیکسل محاسبه شده و سپس مقدار شار گرمای محسوس سایر پیکسل ها تخمین زده می شود. مقدار شار گرمای محسوس به صورت ذیل برآورد می شود.

$$H = \frac{\rho \times c_p \times dT}{r_{ah}} \quad (8)$$

که در آن،  $\rho$  چگالی هوا ( $\text{kg/m}^3$ )،  $C_p$  گرمای ویژه هوا ( $\text{J/kg/K}$ )،  $dT$  اختلاف دمای هوای نزدیک سطح ( $\text{K}$ ) و  $r_{ah}$  مقاومت آئروودینامیک برای انتقال گرماس (s/m).

پس از آنکه مقدار شار گرمای محسوس براساس شرایط جوی تصحیح گردید مقدار لحظه ای شار گرمای نهان تبخیر مطابق با فرمول ۱ برای هر پیکسل محاسبه می گردد و سپس با استفاده از معادله ی ۹ مقدار لحظه ای تبخیر و تعرق واقعی ( $ET_{inst}$ ) برآورد می شود (۴).

$$ET_{inst} = 3600 \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (9)$$

$\lambda$  در معادله فوق گرمای نهان تبخیر ( $\text{J/kg}$ ) می باشد.

### برآورد تبخیر و تعرق روزانه

از آنجا که مقادیر  $ET$  روزانه نسبت به مقادیر لحظه ای کاربردی تر است نیاز است مقادیر لحظه ای به دست آمده توسط ماهواره در زمان گذر، به مقادیر روزانه تبدیل شود. در روش سیال مقدار  $ET_{24}$  ساخته با استفاده از کسر تبخیر ( $ET_{Tr}$ ) و تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_r$ ) محاسبه می شود. مقدار  $ET_r$  بر اساس داده های ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو ۵۶ محاسبه گردید.

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (10)$$

زاویه ورودی خورشید،  $d$  معکوس مربع فاصله زمین تا خورشید و  $T_{sw}$  ضریب شفافیت اتمسفر می باشد. مقدار  $\cos\theta$  در مناطق ناهموار و کوهستانی بر اساس معادله ای که توسط دافی و بکمن (۱۹۹۱) ارائه شده است قابل محاسبه است (۴).

تابش موج بلند خروجی، شار تابش حرارتی گسیل شده از سطح زمین به اتمسفر می باشد که فرمول آن به صورت ذیل است (۴):

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \times \sigma \times T_s^4 \quad (4)$$

در معادله فوق،  $\varepsilon$  توان تشعشعی سطحی باند پهن،  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ ) و  $T_s$  دمای سطح زمین می باشد. تابش طول موج بلند ورودی، شار تابش حرارتی از اتمسفر به زمین می باشد که با استفاده از معادله استفان-بولتزمن قابل محاسبه است (۴):

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad (5)$$

در معادله فوق  $\varepsilon_a$  توان تشعشعی اتمسفر (بدون بعد)،  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن ( $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2/\text{K}^4$ ) و  $T_a$  دمای هوای نزدیک سطح ( $\text{K}$ ) می باشد.

### شار گرمای خاک (G)

در روش سیال ابتدا نسبت  $G/R_n$  در نیمه روز، با استفاده از معادله تجربی ارائه شده توسط باستیانسن (۲۰۰۰) به صورت ذیل محاسبه شد (۴):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2) (1 - 0.98NDVI^4) \quad (6)$$

در معادله فوق،  $T_s$  دمای سطحی ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $\alpha$  آلبیدوی سطحی و  $NDVI$  شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می باشد. مقدار  $G$  با ضرب کردن نسبت فوق در  $R_n$  به دست می آید. مقادیر  $NDVI$  با استفاده از فرمول  $\gamma$  قابل استخراج می باشد.

$$NDVI = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (7)$$

که در آن  $\rho_1$  انعکاس طیفی باند ۱ مودیس (باند مادون قرمز نزدیک) و  $\rho_2$  انعکاس طیفی باند ۲ مودیس (باند قرمز) می باشد.  $NDVI$  شاخصی است که مقدار و شرایط پوشش گیاهی را نشان می دهد. مقادیر آن بین  $-1$  و  $+1$  تغییر می کند، به طوری که مقدار آن برای سطح خاک عریان صفر، برای سطوح کاملاً پوشیده از گیاه ۱ است و برای سطوح آبی و ابرها مقدار آن معمولاً کمتر از صفر است.

چنانچه مقدار  $NDVI$  کمتر از صفر باشد، سطح مذکور آب تلقی شده و نسبت  $G/R_n$  برای آن برابر با  $0/5$  در نظر گرفته می شود. مناطق دارای مقدار  $T_s$  کمتر از  $4^{\circ}\text{C}$  و  $\alpha$  بیشتر از  $0/45$  باشد، مناطق

مودیس می توان به جای استفاده از ضریب ۱/۰۵، نسبت تبخیر و تعرق پیکسل سرد به تبخیر و تعرق مرجع را تابعی از شاخص NDVI در نظر گرفت. به دلیل آنکه در منطقه مورد مطالعه، پیکسلی با ابعاد 1km که کاملاً پوشیده از گیاه باشد وجود ندارد بنابراین با استفاده از شاخص NDVI، ضرایب جدید تعیین شد.

از آنجا که اطلاعاتی در زمینه مقدار NDVI معادل پوشش گیاهی کامل در منطقه وجود نداشت با توجه به مقادیری که سوبرینو و همکاران (۲۰۰۱) پیشنهاد نموده اند، مقدار ۰/۵ به عنوان NDVI با پوشش گیاهی کامل و ۰/۲ نیز به عنوان خاک فاقد پوشش گیاهی در نظر گرفته شد (۱۴) و مقادیر ضریب گیاهی با روش درون‌یابی خطی برای سه روز مورد مطالعه به دست آمد. مقدار این ضرایب در جدول ۱ آمده است.

همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود میزان تبخیر و تعرق مرجع در روز ۱۰ تیر از سایر روزها بیشتر است و کمترین مقدار تبخیر و تعرق مرجع نیز مربوط به روز ۱۴ خرداد می باشد.

در شکل ۲ مقادیر میانگین تبخیر و تعرق روزانه در زیر حوضه مشهد که از تصاویر ماهواره ای به دست آمده، نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نمایان است مقدار تبخیر و تعرق واقعی روزانه در روز ۱۴ خرداد از سایر روزها بیشتر است و روز ۴ مرداد کمترین میزان تبخیر و تعرق را داراست.

در روش سبال جهت تبدیل مقادیر لحظه ای ET به مقادیر روزانه فرض می شود مقدار ET<sub>rF</sub> لحظه ای محاسبه شده از طریق معادله (۱۱) در طول ۲۴ ساعت شبانه روز تقریباً ثابت است بنابراین می توان مقدار روزانه ET واقعی را با استفاده از ET<sub>rF</sub> و تبخیر و تعرق مرجع ۲۴ ساعته در روز تصویر (ET<sub>r-24</sub>) محاسبه نمود.

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (11)$$

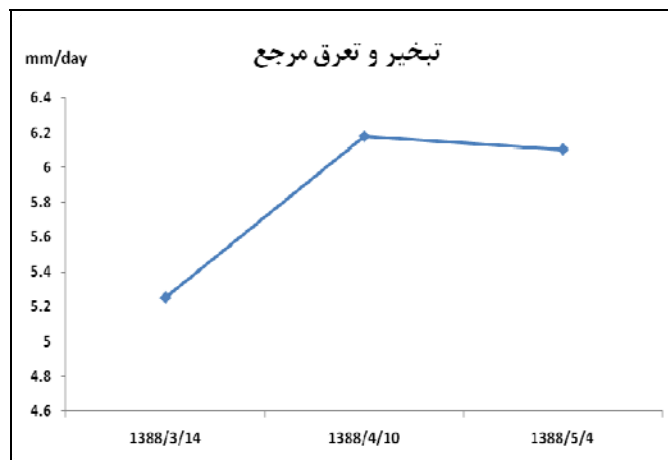
## نتایج و بحث

به منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی، در روش سبال نیاز است تا ابتدا مقدار شار گرمای محسوس را برای دو پیکسل سرد و گرم برآورد نمود و سپس مقادیر شار گرمای محسوس سایر پیکسل ها بر اساس مقادیر به دست آمده در این دو پیکسل تخمین زده می شوند. برای محاسبه شار گرمای محسوس در پیکسل سرد نیاز است تا ابتدا برآوردی از میزان تبخیر و تعرق در این پیکسل صورت گیرد. از آنجا که در روش سبال فرض می شود پیکسل دارای پوشش گیاهی کامل در منطقه وجود دارد، مقدار تبخیر و تعرق واقعی در این پیکسل ۱/۰۵ برابر مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>r</sub>) در نظر گرفته می شود.

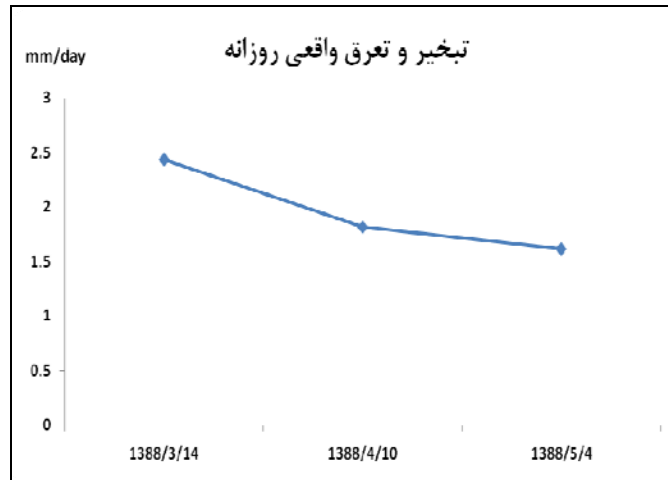
به دلیل آنکه قدرت تفکیک مکانی سنجنده مودیس 1km می باشد، بنابراین پیدا کردن چنین پیکسل سردی در اکثر مناطق امری مشکل می باشد. آن و همکاران (۵) پیشنهاد کردند در زمان های خارج از فصل رشد و یا در صورت استفاده از سنجنده هایی همچون

جدول ۱- مقادیر ضریب اصلاحی تبخیر و تعرق مرجع در پیکسل سرد در روزهای مورد مطالعه

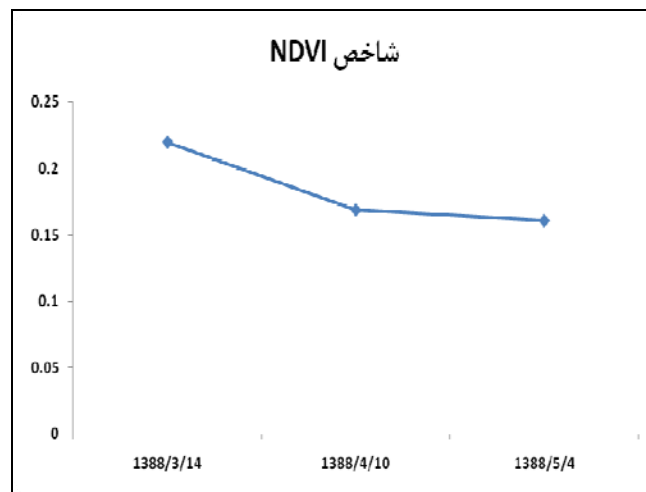
روزهای مورد مطالعه	۱۳۸۸/۳/۱۴	۱۳۸۸/۴/۱۰	۱۳۸۸/۵/۴
ضریب تصحیح ET <sub>r</sub> در پیکسل سرد	۰/۹۸۱	۰/۷۷۴	۰/۶۶۰



شکل ۱- مقدار میانگین تبخیر و تعرق مرجع (ET<sub>r</sub>) در روزهای مورد مطالعه در زیر حوضه آبریز مشهد



شکل ۲- مقدار میانگین تبخیر و تعرق واقعی در روزهای مورد مطالعه در زیر حوضه آبریز مشهد



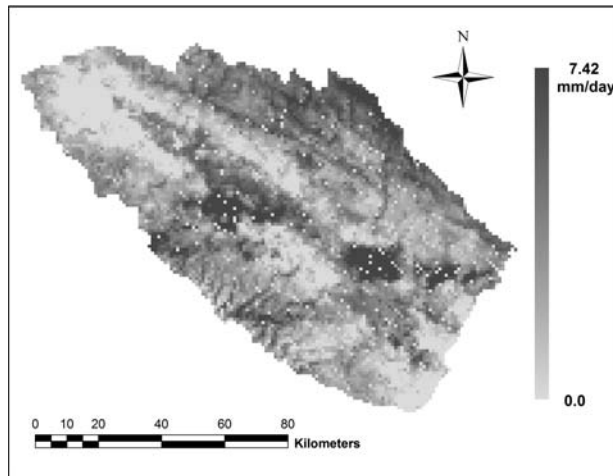
شکل ۳- مقدار میانگین شاخص NDVI در روزهای مورد مطالعه در زیر حوضه آبریز مشهد

کمترین مقدار را داراست. این بدین معنی است که در روز ۱۴ خرداد میزان پوشش گیاهی سطح زمین نسبت به سایر روزها بیشتر است و با وجود اینکه مقدار تبخیر و تعرق مرجع در این روز از سایر روزها کمتر است به دلیل وجود پوشش گیاهی بیشتر، مقدار تبخیر و تعرق افزایش یافته است. از طرفی بخشی از این افزایش در میزان تبخیر و تعرق واقعی، مربوط به زمین های مرطوب در این روز می باشد. دلیل افزایش تبخیر و تعرق واقعی در روز ۱۰ تیر نسبت به روز ۴ مرداد نیز بالاتر بودن نسبی مقدار پوشش گیاهی در روز ۱۰ تیر می باشد. در اشکال ۴ تا ۶ نقشه های توزیع تبخیر و تعرق واقعی روزانه برای زیر حوضه آبریز مشهد نشان داده شده است.

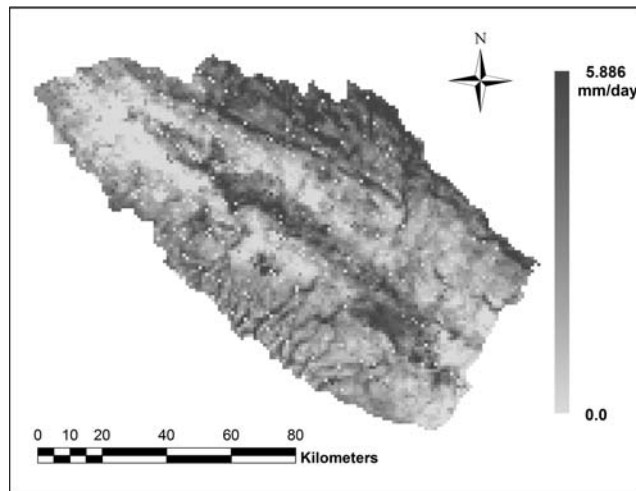
با توجه به شکل های ۱ و ۲ روز ۱۴ خرداد با داشتن کمترین میزان تبخیر و تعرق مرجع، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق واقعی را نشان داده است این در حالی است که در روز ۴ مرداد با وجود بالا بودن میزان تبخیر و تعرق مرجع، کمترین مقدار تبخیر و تعرق واقعی مشاهده می شود.

از آنجا که مقدار تبخیر و تعرق بر اساس مقدار آب در دسترس کنترل می شود بنابراین عدم هماهنگی بین مقادیر تبخیر و تعرق واقعی و تبخیر و تعرق مرجع را باید با توجه به این مسئله بررسی نمود. بدین منظور از مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شده است. مقادیر میانگین این شاخص در سطح زیر حوضه در شکل ۳ ارائه شده است.

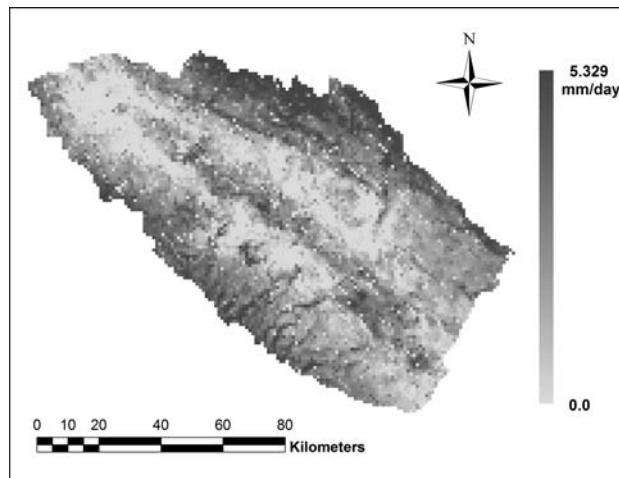
همانطور که در شکل ۳ پیداست، مقدار شاخص پوشش گیاهی NDVI در روز ۱۴ خرداد در بالاترین مقدار است و روز ۴ مرداد



شکل ۴- نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق روزانه در روز ۱۴ خرداد ۱۳۸۸ در زیر حوضه آبریز مشهد



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق روزانه در روز ۱۰ تیر ۱۳۸۸ در زیر حوضه آبریز مشهد



شکل ۶- نقشه توزیع مکانی تبخیر و تعرق روزانه در روز ۴ مرداد ۱۳۸۸ در زیر حوضه آبریز مشهد

تبخیر و تعرق در مقیاس منطقه ای می باشد، مقادیر تبخیر و تعرق واقعی با به کارگیری الگوریتم توازن انرژی سبال مخصوص مناطق ناهموار و کوهستانی در زیر حوضه آبریز مشهد به دست آید. الگوریتم سبال در اکثر نقاط دنیا با اقلیم های مختلف، به منظور برآورد تبخیر و تعرق و سایر شارهای گرمایی در سطح، با استفاده از داده های سنجش از دور مورد استفاده قرار گرفته و نتایج نسبتاً رضایت بخشی را ارائه کرده است. مقادیر به دست آمده تبخیر و تعرق در محدوده قابل قبولی بوده و منطقی می باشند. با استفاده از روش سبال در مناطق ناهموار و کوهستانی منطقه عمومی مشهد که دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک است می توان نتیجه گرفت که روش مذکور جهت برآورد تبخیر و تعرق واقعی در این منطقه مناسب است. اگر چه استفاده از نتایج این مدل برای تعیین نیاز آبی گیاهان در سطح مزرعه نیازمند کنترل های ایستگاهی دقیقتری می باشد، اما این برآوردها که با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس حاصل شده است، می تواند مقادیر تبخیر و تعرق منطقه ای را به خوبی برآورد نماید.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود برخی از بخش های منطقه دارای تبخیر و تعرقی بیشتر از مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع است و احتمالاً مربوط به زمین هایی است که به علت بارندگی مرطوب شده اند. به خصوص آنکه مقدار بارش های پراکنده و رگباری در بهار سال ۱۳۸۸ نسبتاً زیاد بود و در میان روزهای بهاری این سال به ندرت روزهای فاقد ابر وجود داشت.

با توجه به اشکال ۴ تا ۶ همچنین می توان مشاهده نمود که مقادیر حداکثر تبخیر و تعرق نیز از روند میانگین تبخیر و تعرق واقعی در زیر حوضه پیروی می کند. با توجه به نتایج به دست آمده، نواحی دارای شاخص پوشش گیاهی بالا و دمای پایین نسبت به سایر نواحی که دارای شاخص پوشش گیاهی پایین و دمای بالا هستند از میزان تبخیر و تعرق بیشتری برخوردارند.

### نتیجه گیری

در تحقیق حاضر سعی شد تا با استفاده از تصاویر مودیس که به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین و دوره تکرار روزانه، مناسب برآورد

### منابع

- ۱- اصغرزاده ع.ح. ۱۳۸۳. تخمین تبخیر-تعرق گیاهان با استفاده از داده های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۲- سازمان هواشناسی خراسان رضوی. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت آب و هوایی استان خراسان رضوی.
- ۳- مباشری م.، خاوریان ح.، ضیائی پ. و کمالی غ. ۱۳۸۴. برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS و الگوریتم سبال. همایش ژئوماتیک ۸۴. تهران.
- 4- Allen R., Waters R., Tasumi M., Trezza R., and Bastiaanssen W. 2002. SEBAL, Surface energy balance algorithms for land, Idaho Implementation. Advanced Training and Users Manual, version 1.0.
- 5- Allen R., Tasumi M., and Trezza R. 2007. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133(4):380-394.
- 6- Almhab A., and Busu I. 2008. Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in aride mountains area. Second Asia International Conference on Modeling & Simulation.
- 7- Bastiaanssen W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hydrology, 229: 87-100.
- 8- Bastiaanssen W.G.M., Menenti M., Feddes R.A., and Holtslang A.A. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212-213: 198-212.
- 9- 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 condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131( 1): 85-93.
- 10- MODIS Products Page. <http://ladsweb.nacom.nasa.gov/data/search.html>, visited: 2009/09/20.
- 11- Opoku-Duah S., Donoghue D.N.M., and Burt T.P. 2008. Intercomparison of evapotranspiration over the Savannah Volta Basin in West Africa using remote sensing data. Journal of Sensors, 8: 2736-2761.
- 12- Singh R.K., Irmak A., Irmak S., and Martin D.L. 2008. Application of SEBAL model for mapping evapotranspiration and estimating surface energy fluxes in South-Central Nebraska. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 134(3): 273-283.
- 13- Tasumi M., Trezza R., Allen R.G., and 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, 17 Sept.
- 14- Zhao S., Qin Q., Yang Y., Xiong Y., and Qiu G. 2009. Comparison of two split-window methods for retrieving land surface temperature from MODIS data. Journal of Earth System Science, 118(4): 345-353.



## Estimation of Evapotranspiration Using Satellite Image Data in Mashhad area

S.H. Sanaei Nejad<sup>1</sup> - S. Noori<sup>2\*</sup> - S.M. Hashemina<sup>3</sup>

Received:15-9-2010

Accepted:4-7-2011

### Abstract

Evapotranspiration (ET) determination is a key factor for irrigation scheduling, water balance, irrigation system design and management and crop yields simulation. Therefore many scientists have tried to estimate evapotranspiration in different spatial and temporal scales. Remote sensing is a one of new technique in estimation of ET in regional scales. So, in this study it's tried to estimate spatial distribution daily actual ET for Mashhad's sub basin using MODIS image data related to 4<sup>th</sup> June, 1<sup>st</sup> July and 26<sup>th</sup> July 2009 and surface energy balance algorithm for land (SEBAL) taking into account topographic effects. The results showed that MODIS image data and SEBAL method were able to estimate actual daily ET in Mashhad sub-basin properly. Based on the results, areas which had dense vegetation and low temperatures had high ET rates, while in areas with sparse vegetation and high temperatures the ET rate was low.

**Keywords:** Evapotranspiration, MODIS, Remote sensing, SEBAL

---

1,2,3- Associate Professor, MSc Student and Lecture, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively  
(\* - Corresponding Author Email: noori.samira@gmail.com)