

بهینه کردن شاخص SAVI و برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8

مهدی مکاری^{1*}، بیژن قهرمان²، سیدحسین ثنائی نژاد³

تاریخ دریافت: 1394/1/25 تاریخ پذیرش: 1394/5/28

چکیده

برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مواردی از قبیل برنامه‌ریزی آبیاری، توازن هیدرولوژیکی، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری و پیش‌بینی میزان عملکرد محصول ضروری است. بنابراین پژوهش‌گران بسیاری تلاش کرده‌اند تا مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به دست آورند. سنجش از دور از جمله روش‌های جدیدی است که می‌تواند بدین منظور استفاده شود. از این رو در پژوهش حاضر با بهینه کردن شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (SAVI)، توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در بخشی از دشت مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست 8 در روزهای 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور سال 1392 و به‌کارگیری الگوریتم توازن انرژی سطح (سبال) محاسبه شد. نتایج نشان داد بین شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) و تبخیر-تعرق واقعی در روزهای مورد مطالعه، همبستگی وجود داشت. از طرفی دیگر با توجه به اینکه انحراف معیار شاخص SAVI برای ضریب $L=1$ (فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک) کم‌ترین مقدار خود را داشت، بنابراین می‌توان گفت که مقدار بهینه L برای منطقه مورد مطالعه یک می‌باشد. همچنین روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع مشابه تغییرات تبخیر-تعرق واقعی بود که این حاکی از آن است که پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه از لحاظ دسترسی به آب مشکلی نداشته است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، سبال، سنجش از دور، لندست 8

مقدمه

یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های باقیمانده انرژی برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. سبال روشی است که بر پایه روابط فیزیکی و تجربی، میزان تبخیر-تعرق واقعی را با حداقل داده‌های زمینی برآورد می‌نماید (Bastiaanssen et al, 1998).

تاسومی و همکاران نتایج تبخیر-تعرق به دست آمده از تصاویر لندست 7 با استفاده از الگوریتم سبال را با نتایج لایسیمتری در منطقه نیمه خشک آیداهو در فصل تابستان مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که برآوردهای تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم سبال با نتایج اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر برای محصولات کشاورزی در اقلیم‌های نیمه خشک به خوبی منطبق است (Tasumi et al, 2003). میاشری و همکاران (1384) نیز مقادیر تبخیر-تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر مودیس در تاریخ‌های 15 اردیبهشت و 17 خرداد سال 1382 در مزرعه نمونه ارتش در دشت گرگان واقع در استان گلستان برآورد کردند. وسعت این ناحیه 13875 هکتار بود. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از تصاویر مودیس و الگوریتم سبال می‌تواند برآورد خوبی از تبخیر-تعرق

تبخیر-تعرق یکی از عوامل مهم بیلان آب در چرخه هیدرولوژی و از جمله عوامل تعیین کننده معادلات انرژی در سطح زمین می‌باشد و برآورد آن در زمینه‌های مختلف علوم همچون هیدرولوژی، کشاورزی، مدیریت جنگل و مرتع و مدیریت منابع آب مورد نیاز است. در اغلب روش‌هایی که تاکنون برای تخمین تبخیر-تعرق ارائه شده است از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای استفاده شده، لذا فقط مناسب مناطق محلی بوده و قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشد (Teixeira et al, 2009). سنجش از دور این قابلیت را دارد تا مقدار تبخیر-تعرق واقعی را تخمین زده و حتی توزیع مکانی و زمانی آن را مورد بررسی قرار دهد (Franks and Beven, 1999). الگوریتم توازن انرژی سطح

- 1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - 3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
- (* - نویسنده مسئول: Email: mehdimokari@gmail.com)

شاخص NDVI، بایستی برای هر منطقه واسنجی شده و مقدار بهینه آن تعیین گردد.

راندیوکس و همکاران شاخص SAVI را برای بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز از 26 نمونه خاک شامل رس، شن ریز، پیت و سنگریزه بهینه کرده و مقدار 0/16 را برای فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک (L) پیشنهاد کردند (Rondeaux et al., 1996). هیوت در آزمایش‌های خود برای بهینه کردن SAVI، مقدار L را برای پوشش‌های گیاهی خیلی کم، متوسط و زیاد به ترتیب 1، 0/5 و 0/25 پیشنهاد کرد. نتایج او نشان داد که با افزایش پوشش گیاهی ضریب L کاهش و با کاهش آن مقدار این ضریب افزایش می‌یابد (Huete, 1988). نتایج مطالعات باچ نشان داد که مقدار ضریب L برای پوشش گیاهی ذرت به شاخص سطح برگ (LAI) وابسته است. او برای $LAI \leq 1$ مقدار ضریب L را 0/6، برای $LAI \leq 2.5$ مقدار ضریب L را 0/4 و برای $1 < LAI \leq 2.5$ مقدار ضریب L را 0/15 پیشنهاد کرد (Bausch, 1993).

با توجه به اینکه در مطالعات انجام شده برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم سبال از تصاویر ماهواره لندست 8 استفاده نشده است، لذا هدف از این پژوهش، بهینه کردن شاخص SAVI برای واسنجی کردن الگوریتم سبال، تخمین دقیق‌تر تبخیر-تعرق واقعی و چگونگی توزیع مکانی آن در بخشی از دشت مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8 - می‌باشد. علت انتخاب این ماهواره قدرت تفکیک مکانی بالا و رایگان بودن تصاویر آن بود. از طرفی ماهواره لندست 8 با داشتن دو باند حرارتی می‌تواند برآورد دقیق‌تری از دمای سطح زمین و در نتیجه تبخیر-تعرق داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

محدوده مورد مطالعه بخشی از دشت مشهد، با وسعتی حدود 1630 کیلومتر مربع است که بین عرض‌های جغرافیایی $36^{\circ}1$ تا $36^{\circ}28$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $59^{\circ}26$ تا $59^{\circ}48$ شرقی واقع شده است. طبق گزارش سازمان هواشناسی خراسان رضوی، این منطقه بر اساس روش دومارتن دارای شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک می‌باشد (سازمان هواشناسی خراسان رضوی، 1383). داده‌های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال (یعنی دمای هوا و سرعت باد) و همچنین داده‌های مورد نیاز برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع ساعتی به روش پنمن-مونتیت فائو 56 (یعنی سرعت باد، درجه حرارت خشک، رطوبت نسبی حداقل، رطوبت نسبی حداکثر، حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا، ساعت آفتابی و تشعشع) از مجموعه داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد که در $36^{\circ}16$ عرض

را در مناطق همگن و هموار ارائه نماید.

شهزاد و افتخار برآوردی از تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه - ای را با استفاده از داده‌های سنسجش از دور و اندازه گیری‌های زمینی برای مرکز پنجاب در پاکستان انجام دادند. آن‌ها از تصاویر ماهواره لندست 7 ETM+ و الگوریتم سبال برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی استفاده کردند. مساحت منطقه مورد مطالعه آن‌ها 192347 کیلومتر مربع و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بود. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از مدل سبال و تصاویر ماهواره لندست 7 برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی یک روش مناسب بوده و نتایج آن قابل قبول و رضایت-بخش می‌باشد (Shahzad and Iftikhar, 2008). حفیظ و همکاران برآورد تبخیر-تعرق واقعی را با استفاده از الگوریتم سبال برای سنجنده‌های لندست 7 ETM+ مودیس و آستر انجام دادند. منطقه مورد مطالعه آن‌ها لوزان مرکزی در فیلیپین با اقلیم گرمسیری بود. نتایج آن‌ها نشان داد که هر سه سنجنده برآوردهای خوبی از تبخیر-تعرق واقعی داشتند (Hafeez et al, 2002).

اپوکو و همکاران کارایی استفاده از سنجنده مودیس جهت برآورد ET در منطقه ساوانا واقع در غرب آفریقا را مورد بررسی قرار دادند. وسعت منطقه مورد مطالعه 5311 کیلومتر مربع و دارای اقلیم گرمسیری بود. آن‌ها در پژوهش خود از الگوریتم سبال، تصاویر مودیس و AATSR استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر دو سنجنده از قابلیت خوبی برای برآورد ET در مناطق بزرگ و ناهموار برخوردارند. نتایج حاصل، با ET به دست آمده از تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست 7 مقایسه شد که طی این مقایسه، مودیس نسبت به سنجنده AATSR عملکرد بهتری از خود نشان داد (Opoku et al, 2008). تاکنون مطالعات زیادی انجام شده که همه نشان‌دهنده کارایی الگوریتم سبال در برآورد تبخیر-تعرق واقعی برای تصاویر ماهواره لندست در مقیاس منطقه‌ای و حوضه‌های بزرگ می‌باشد (Bastiaanssen, 2000; Bastiaanssen et al, 2005; Gao et al, 2008; Singh et al, 2008; Almhah and Busu, 2008).

یکی از پارامترهای تأثیرگذار در الگوریتم سبال، شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) است که به عنوان یکی از پارامترهای ورودی به الگوریتم سبال از آن استفاده می‌شود. این شاخص وابستگی زیادی به پوشش گیاهی دارد و به صورت ترکیبی جبری از باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید (Leprieur et al, 1994; Bannari et al, 1995; Elvidge and Chen, 1995). در مناطقی که پوشش گیاهی کم است، این شاخص تحت تأثیر بازتاب طیفی منعکس شده از سطح خاک قرار می‌گیرد و برآورد آن با خطای زیادی انجام می‌شود. بنابراین در این مناطق بایستی NDVI نسبت به اثرات سطح خاک تعدیل شود. به این منظور از شاخص دیگری به نام شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (SAVI) استفاده می‌شود که برای به حداقل رساندن اثرات سطح خاک و رطوبت آن در

(Wm^{-2}) و H شار گرمای محسوس (Wm^{-2}) می‌باشد. از آن جایی که مقادیر ET روزانه نسبت به مقادیر لحظه‌ای آن کاربردی‌تر است، بنابراین مقادیر لحظه‌ای ET به دست آمده توسط ماهواره در زمان گذر، به مقادیر روزانه تبدیل شد. در الگوریتم سیال مقدار ET_{24} ساخته با استفاده از کسر تبخیر-تعرق $(ET_r F)$ و تبخیر-تعرق مرجع ساعتی در لحظه گرفته شدن تصویر (ET_r) ، بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن-مانتیت فائو 56 محاسبه گردید.

$$ET_r F = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (2)$$

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad (3)$$

که در آن ET_{r-24} مجموع تبخیر-تعرق در 24 ساعت شبانه روز، که بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی و با استفاده از روش پنمن - مانیتیت فائو 56 در روز گرفته شدن تصویر، محاسبه گردید.

آلبیدوی سطح

آلبیدوی سطح یکی از پارامترهای مؤثر در محاسبه تبخیر-تعرق واقعی در الگوریتم سیال است. برای به دست آوردن آلبیدوی سطح بایستی میانگین تابش ورودی خورشید در بالای جو $(ESUN_\lambda)$ برای هر باند و ضریب وزنی مربوط به آن (ω_λ) مشخص باشد. در جدول 1 مقادیر $ESUN_\lambda$ و ω_λ برای باندهای 1-7 و 9 ماهواره لندست 8 آورده شده است.

شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (SAVI)

شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Huete, 1988):

$$SAVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4 + L} (1 + L) \quad (4)$$

در رابطه فوق L فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک، ρ_4 انعکاس طیفی باند 4 و ρ_5 انعکاس طیفی باند 5 می‌باشد و مقدار این شاخص از صفر برای پوشش‌های گیاهی متراکم تا یک برای تراکم‌های کم‌تر، متغیر است.

شمالی و 38° 59 طول شرقی واقع شده است، در تاریخ‌های 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور ماه سال 1392 در بازه زمانی 3 ساعته، تهیه گردید. در این پژوهش از تصاویر ماهواره لندست 8 استفاده شد. تصاویر مذکور مربوط به روزهای 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور ماه سال 1392 بود که از سایت یواس جی اس تهیه گردید.

پردازش تصاویر ماهواره‌ای

مرحله اول از مراحل پردازش مقدماتی تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح رادیومتری است که شامل تبدیل داده‌های اولیه به مقادیر تابش و بازتابش می‌باشد. از آن جایی که برای تصاویر ماهواره لندست 8، این تصحیح انجام نشده است، لذا با استفاده از نرم افزارهای اکسل، Envi 4.7 و فایل فرا داده‌ای که همراه با تصاویر فراخوانی می‌شود، تصحیح رادیومتری بر روی تصاویر انجام شد. برای تصاویر ماهواره لندست 8 نیازی به تصحیح هندسی نیست. زیرا سنجنده‌ای که روی ماهواره نصب است، در هنگام تصویر برداری، تصحیح هندسی روی تصاویر را انجام می‌دهد. هم‌چنین در مورد تصحیح جوی پیشنهاد شده است برای تصاویری با offset صفر، نیازی به تصحیح جوی نیست (محمود زاده و ولی زاده، 1388). با مراجعه به فایل فراداده تصاویر مورد استفاده، مقادیر offset برابر صفر است و پیشنهاد بیان شده برای دشت مشهد نیز قابل اجراست.

الگوریتم توازن انرژی سطح (سیال)

الگوریتم سیال، مقدار تبخیر-تعرق واقعی را با استفاده تصاویر ماهواره‌ای و حداقل داده‌های زمینی مورد نیاز (یعنی دمای هوا و سرعت باد) و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌نماید. از آنجایی که تصاویر ماهواره‌ای تنها می‌توانند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند، سیال مقدار شار تبخیر-تعرق لحظه‌ای را در زمان تصویر، برآورد می‌نماید. شار تبخیر-تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده معادله توازن انرژی سطح محاسبه می‌شود (Allen et al, 2002).

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (1)$$

که در آن، λET شار گرمای نهان تبخیر (Wm^{-2}) ، R_n شار تابش خالص در سطح زمین (Wm^{-2}) ، G شار گرمای خاک

جدول 1- مقادیر میانگین تابش ورودی خورشید در بالای جو $(ESUN_\lambda)$ و ضریب وزنی (ω_λ) برای باندهای مختلف ماهواره لندست 8

باند 9	باند 7	باند 6	باند 5	باند 4	باند 3	باند 2	باند 1	
340/71	76/32	209/89	1090/92	1754/64	2057/30	2185/29	2153/02	میانگین تابش ورودی خورشید در بالای جو
								$(W.m^{-2}.\mu m^{-1})$
0/034	0/007	0/021	0/110	0/177	0/208	0/221	0/218	ضریب وزنی

فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک (L)

در این روش که توسط کوای و همکاران ارائه شد، ضریب L با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود (Qi et al, 1994):

$$L = 1 - 2\gamma NDVI \times WDWI \quad (5)$$

که در آن γ شیب خط برازش داده شده بر نمودار بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز (شیب خط خاک)، که بستگی به نوع خاک دارد (Baret et al, 1993) NDVI شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی و WDWI شاخص تفاضل وزن داده شده پوشش گیاهی است که از رابطه زیر به دست می‌آید

$$WDVI = \rho_{NIR} - \gamma \rho_{red} \quad (6)$$

که در آن، ρ_{NIR} بازتاب طیفی باند مادون قرمز نزدیک و ρ_{red} بازتاب طیفی باند قرمز است.

نتایج و بحث

با توجه به تغییرات شدید مقدار L و ارتباط آن با رطوبت و رنگ خاک (Huete, 1988)، برای برآورد صحیح مقادیر تبخیر-تعرق واقعی بایستی این پارامتر برای الگوریتم سیال واستجی شود. در روش اول، برای پیدا کردن این ضریب در دشت مشهد از چهار تصویر ماهواره لندست 8 با قدرت تفکیک مکانی 30 متر استفاده شد. در هر تصویر 4 منطقه که معرف خاک مرطوب بدون پوشش گیاهی (C_1)، خاک خشک بدون پوشش گیاهی (C_2)، خاک با پوشش گیاهی متراکم (C_3) و خاک با پوشش گیاهی کم (C_4) بودند، انتخاب شدند. سپس مقدار SAVI در هر تصویر به ازای مقادیر مختلف L (از صفر تا یک) در نقاط مشخص شده، با استفاده از رابطه 4 محاسبه شد. جدول 2 مقادیر SAVI به دست آمده برای مقادیر مختلف L برای انواع پوشش‌های سطح خاک در دشت مشهد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول 2 نشان داده شده است، به ازای L‌های کوچک‌تر، انحراف معیار SAVI بزرگ‌تر بوده و در L‌های بزرگ‌تر به

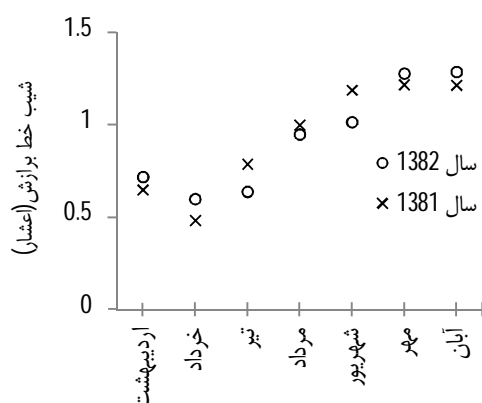
سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. این موضوع به این معنی است که در L‌های کوچک در منطقه، اثرات خاک، خود را بیش‌تر نشان می‌دهد. از طرفی دیگر با توجه به اینکه انحراف معیار SAVI در $L=1$ کم‌ترین مقدار خود را دارد، بنابراین می‌توان گفت که مقدار بهینه L برای منطقه مورد مطالعه، یک می‌باشد. کویانی و همکاران (1392) نیز مقدار ضریب L را برای اراضی پایین دست شبکه آبیاری دشت قزوین به دست آوردند. آن‌ها در مطالعه خود از تصاویر سنجنده مودیس و AVHRR برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سیال استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار بهینه برای ضریب L در اراضی دشت قزوین یک است که این نتیجه با مقدار ضریب L به دست آمده در این پژوهش همخوانی داشت.

در روش دوم (Qi et al, 1994) برای به دست آوردن ضریب L، همبستگی بین بازتاب طیفی باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز به دست آمد. در همین راستا پرویز و همکاران (1389) مطالعه‌ای را جهت محاسبه ضریب L در حوضه سفیدرود به مساحت 60494 کیلومتر مربع انجام دادند. آن‌ها در مطالعه خود از تصاویر سنجنده مودیس از ماهواره ترا در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان سال‌های 1381 و 1382 استفاده کردند. شکل 1 شیب خطوط برازش بر بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز را در مطالعه آن‌ها نشان می‌دهد.

نتایج آن‌ها نشان داد در ماه‌هایی که پوشش گیاهی رو به کاهش می‌رود (ماه‌های سرد)، مقادیر شیب خطوط افزایش پیدا می‌کند به طوری که شیب خطوط برازشی در این ماه‌ها می‌تواند بزرگ‌تر از یک هم شود. با افزایش شیب، میزان WDWI کاهش و در نتیجه مقدار L افزایش پیدا می‌کند. افزایش L دلیلی بر کاهش پوشش گیاهی می‌باشد. در این پژوهش نیز معادلات خطوط برازش بر نمودار بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز در تصاویر ماهواره لندست 8 برای روزهای 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور ماه سال 1392 به دست آمد. این معادلات در جدول 3 نشان داده شده است.

جدول 2- مقادیر SAVI به دست آمده به ازای مقادیر مختلف L (از صفر تا یک) برای انواع پوشش‌های سطح خاک در دشت مشهد

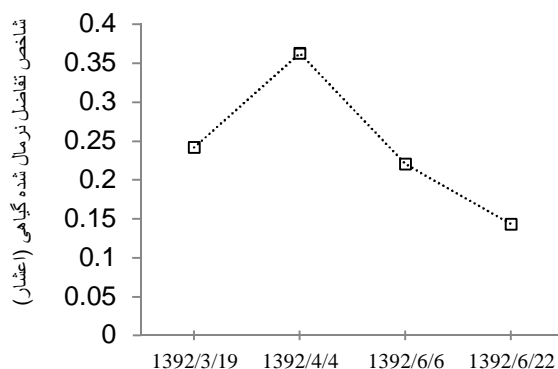
L												
	1	0/9	0/8	0/7	0/6	0/5	0/4	0/3	0/2	0/1	0	پوشش سطح خاک
	0/026	0/026	0/027	0/028	0/029	0/030	0/031	0/031	0/036	0/039	0/045	C_1
	0/064	0/065	0/066	0/067	0/069	0/071	0/073	0/072	0/079	0/084	0/090	C_2
	0/522	0/529	0/538	0/548	0/559	0/573	0/589	0/604	0/634	0/667	0/711	C_3
	0/219	0/217	0/221	0/226	0/230	0/237	0/244	0/265	0/265	0/280	0/301	C_4
	0/225	0/228	0/232	0/236	0/241	0/246	0/253	0/261	0/272	0/285	0/304	انحراف معیار



شکل 1- شیب خطوط برازش بر بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز سنجنده مودیس ترا در ماه‌های مختلف سال

جدول 3- معادلات خطوط برازش بر بازتاب طیفی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز ماهواره لندست 8

روز سال 1392	معادله خط برازش	میانگین ضریب L برای اراضی کشاورزی
19 خرداد	$\rho_{nir} = 0.986\rho_{red} - 0.0139$	0/812
4 تیر	$\rho_{nir} = 0.982\rho_{red} - 0.0081$	0/799
6 شهریور	$\rho_{nir} = 0.9906\rho_{red} - 0.019$	0/814
22 شهریور	$\rho_{nir} = 1.179\rho_{red} - 0.03$	0/839



شکل 2- میانگین شاخص پوشش گیاهی در روزهای مورد مطالعه در دشت مشهد

تغییرات آن بسیار کم است. این نشان می‌دهد که در این بازه زمانی تغییرات پوشش گیاهی زیاد نبوده است. از طرفی محاسبه ضریب L برای روزهای 4 تیر و 22 شهریور که به صورت یک تصویر رستر می‌باشد، نشان می‌دهد که مقدار ضریب L برای هر پیکسل از تصویر در روز 4 تیر کمتر از مقدار آن برای هر پیکسل نظیر در تصویر روز 22 شهریور است. این نشان می‌دهد که با کاهش پوشش گیاهی و افزایش شیب خط برازش، مقدار L افزایش می‌یابد (پرویز و همکاران، 1389). از آنجایی که در روش دوم (Qi et al, 1994) مقدار ضریب L به تفکیک روز و برای هر پیکسل از تصویر قابل محاسبه است، می‌توان گفت این روش برای سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی

در شکل 2 میانگین شاخص پوشش گیاهی در روزهای مورد مطالعه در دشت مشهد نشان داده شده است. با توجه به شکل 2 مشخص می‌شود که مقدار شاخص پوشش گیاهی در روز 4 تیر بیشترین مقدار و در روز 22 شهریور کمترین مقدار را دارد. از طرفی با توجه به شکل 2 و جدول 3 مشخص می‌شود که با افزایش پوشش گیاهی، شیب خطوط برازش کاهش و با کاهش پوشش گیاهی، شیب خطوط برازش افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعات پرویز و همکاران (1389) همخوانی داشت. از طرف دیگر با توجه به جدول 3 مشخص می‌شود که شیب خطوط برازش در تاریخ‌های 19 خرداد، 4 تیر و 6 شهریور ماه بسیار نزدیک به یک و

پوشش گیاهی و نوع خاک وابسته است، تغییرپذیری آن نیز افزایش می‌یابد (Rondeaux, 1996).
شکل 3 میانگین تبخیر-تعرق مرجع و واقعی در روزهای مورد مطالعه در دشت مشهد را نشان می‌دهد.

بالا (مثلاً ماهواره لندست 8) نسبت به روش اول دقیق‌تر است. برای سنجنده‌هایی نظیر مودیس که قدرت تفکیک مکانی آن‌ها پایین است (1000 متر)، استفاده از روش اول (کاویانی و همکاران، 1392) نتایج دقیق‌تری به دست می‌دهد. زیرا در این سنجنده‌ها تغییرپذیری پوشش گیاهی و نوع خاک در داخل هر پیکسل زیاد بوده و چون ضریب L به

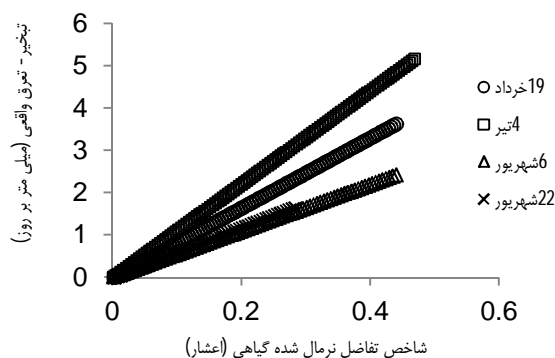


شکل 3- میانگین تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) و تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) در روزهای مورد مطالعه در دشت مشهد

تعرق مرجع، مربوط به مقدار آب قابل دسترس برای گیاه است. بنابراین برای تحلیل نتایج خود از شاخص پوشش گیاهی استفاده نمودند.

از طرفی با توجه به شکل‌های 2 و 3 مشخص می‌شود که با افزایش شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی تبخیر-تعرق افزایش و با کاهش آن، تبخیر-تعرق کاهش پیدا کرده است. به عبارت دیگر بین شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی و تبخیر-تعرق در شرایطی که تنش آبی وجود نداشته باشد و تغییر پارامترهای اقلیمی از جمله دمای هوا و تابش خورشیدی زیاد نباشد، رابطه مستقیم وجود دارد.

با توجه به شکل 3 مشاهده می‌شود که روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع با تبخیر-تعرق واقعی مشابه است. این نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه از لحاظ دسترسی به آب مشکلی نداشته است. زیرا در صورت یکسان نبودن دسترسی به آب برای پوشش‌های گیاهی، نتایج ممکن است متفاوت باشد یعنی روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع با تبخیر-تعرق واقعی مشابه نباشد. ثنایی نژاد و همکاران (1390) در طی مطالعات خود در دشت مشهد برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از سنجنده مودیس، نشان دادند که عدم هماهنگی بین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-

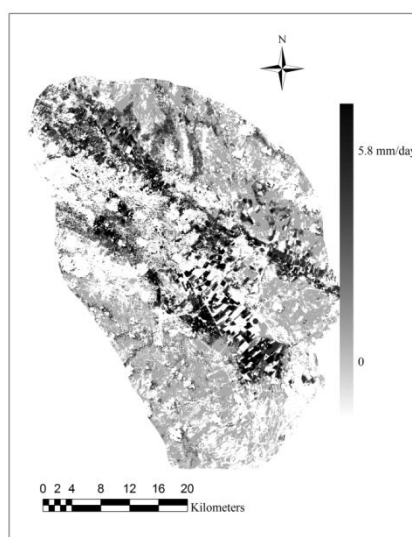


شکل 4- رابطه بین شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) برای روزهای مورد مطالعه

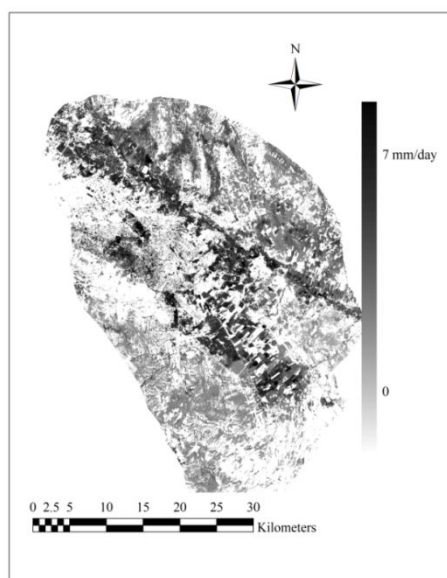
روزانه برای دشت مشهد نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشخص می‌شود که تبخیر-تعرق واقعی، در اراضی کشاورزی دارای پوشش گیاهی (نواحی تیره در تصویر)، بیش‌تر از تبخیر-تعرق واقعی در اراضی کشاورزی بدون پوشش گیاهی و مناطق شهری (نواحی روشن‌تر در تصویر) است. از طرفی نواحی شمالی و شمال شرقی دشت مشهد (نواحی روشن در تصویر) به دلیل کوهستانی بودن و داشتن پوشش گیاهی کم، تبخیر-تعرق کم‌تری نسبت به نواحی مرکزی و شمال غربی (نواحی تیره در تصویر) دارد. زیرا بیش‌تر اراضی کشاورزی در قسمت مرکزی و شمال غربی دشت مشهد قرار دارند.

سیورس و اتمان نیز رابطه خطی بین تبخیر-تعرق و شاخص پوشش گیاهی را در شرایطی که گیاه با تنش آبی مواجه نباشد، گزارش کردند (Seever sand Ottmann, 1994). هم‌چنین زیلاگی و همکاران در پژوهش‌های خود نشان دادند که بین شاخص پوشش گیاهی و مقدار تبخیر ماهانه رابطه خطی و مستقیم با ضریب همبستگی بالا ($r = 0/8$) وجود دارد (Szilagyi et al, 1998). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که بین تبخیر-تعرق واقعی روزانه و شاخص پوشش گیاهی رابطه خطی برقرار است. این نتایج برای روزهای مورد مطالعه در شکل 4 نشان داده شده است.

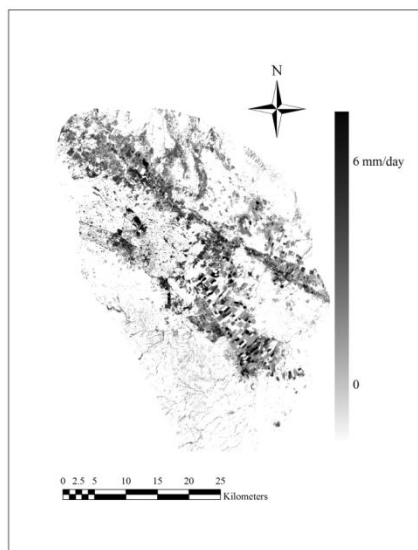
در شکل‌های 5 تا 8 نقشه‌های توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی



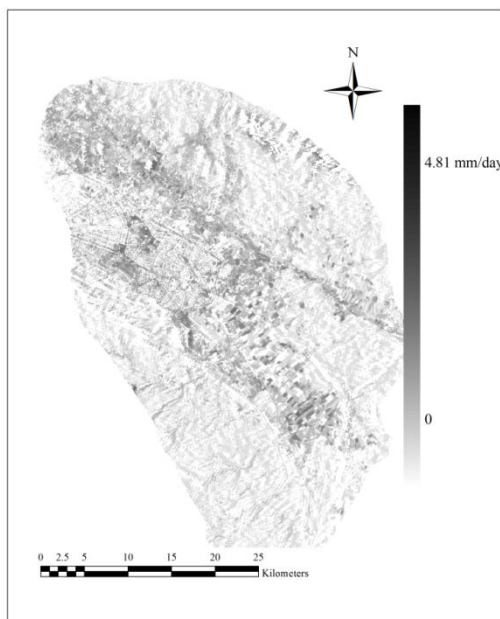
شکل 5- نقشه توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در روز 19 خرداد 1392 در دشت مشهد



شکل 6- نقشه توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در روز 4 تیر 1392 در دشت مشهد



شکل 7- نقشه توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در روز 6 شهریور 1392 در دشت مشهد



شکل 8- نقشه توزیع مکانی تبخیر-تعرق واقعی روزانه در روز 22 شهریور 1392 در دشت مشهد

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر با بهینه کردن شاخص SAVI و استفاده از الگوریتم سیبال، مقدار تبخیر-تعرق واقعی برای مناطق کشاورزی، در بخشی از دشت مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره لندست 8، محاسبه شد. برای این منظور شاخص SAVI با دو روش متفاوت بهینه شد. در روش اول کاویانی و همکاران (1392) مقدار ضریب L برای بهینه کردن شاخص SAVI استفاده کرد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین تبخیر-تعرق واقعی و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) رابطه خطی با ضریب

(1994) مقدار ضریب L برای بهینه کردن شاخص SAVI برای روزهای 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور به ترتیب 0/799، 0/812، 0/814 و 0/839 به دست آمد. با توجه به این که در روش دوم مقدار ضریب L برای هر پیکسل از تصویر محاسبه می شود، می توان برای سنجنده های با قدرت تفکیک مکانی بالا (مثلاً لندست 8) از این روش برای محاسبه ضریب L و بهینه کردن شاخص SAVI استفاده کرد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین تبخیر-تعرق واقعی و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) رابطه خطی با ضریب

energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*. 212-213: 198-212.

تعیین بالا ($R^2=1$) وجود دارد.

منابع

- 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.
- Bausch, W.C. 1993. Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. *Journal of Remote Sensing of Environment*. 46: 213-222.
- Elvidge, C.D and Chen, Z. 1995. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 54: 38-48.
- 1Franks, S.W and Beven, K. 1999. Conditioning a multiple patch SVAT model using uncertain time-space estimates of latent heat flux as inferred from remotely sensed data. *Journal of Water Resources Research*. 35.9: 2751-2761.
- 1Gao, Y., Long, D and Li, Z.L. 2008. Estimation of daily actual evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in North China. *International Journal of Remote Sensing*. 29:11. 3295-3315.
- 1Hafeez, M.M., Chemin, Y., Van De Giesen, N and Bouman, B.A.M. 2002. Field evapotranspiration estimation in central Luzan, Philippines, using different sensors: Landsat 7 ETM+, Terra Modis and Aster. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa*.
- 2Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Journal of Remote Sensing of Environment*. 25: 295-309.
- 2Leprieux, D., Verstraete, M.M and Pinty, B. 1994. Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve cover from AVHRR data. *Journal of Remote Sensing Reviews*, 10: 265-284.
- 2Opoku-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.
- 2 Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H and Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Journal of Remote Sensing of Environment*. 48: 119-126.
- 2Rondeaux, G., Steven, M and Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*. 55: 95-107.
- 2Singh, 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-
- ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی. همایش ملی ژئوماتیک. تهران. 19 تا 20 اردیبهشت. 9 صفحه.
- ثنایی نژاد، س.ح. نوری، س و هاشمی‌نیا، س.م. 1390. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 3. 25: 540-547.
- سازمان هواشناسی خراسان رضوی. 1383. بررسی وضعیت آب و هوایی استان خراسان رضوی.
- کاویانی، ع. سهرابی، ت و دانش کارآراسته، پ. 1392. تخمین بهره‌وری آب کشاورزی در دشت قزوین با استفاده از تصاویر MODIS و AVHRR و داده لایسیمتر. *مجله پژوهش آب ایران*. 13: 10-1.
- مباشری، م. خاوریان، ح. ضیائی‌ان، پ و کمالی، غ. ع. 1384. برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از تصاویر MODIS و الگوریتم سبال. همایش ژئوماتیک. تهران. 1 تا 2 اردیبهشت. 12 صفحه.
- محمود زاده، ح و ولیزاده، خ. 1388. کاربرد داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه‌ای و GIS برای ارزیابی کاهش مناطق زراعی در شهرستان اسکو. *مجله فضایی جغرافیایی*. 25: 24-9.
- 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*.
- Almhah, A and Busu, I. 2008. Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in arid mountains area. *Second Asia International Conference on Modeling & Simulation, Kuala Lumpur, Malaysia, 13-15 May*.
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F and Huete, A.R. 1995. A review of vegetation indices. *Journal of Remote Sensing Reviews*, 13: 95-120.
- Baret, F., Jacquemoud, S and Hanocq, J.F. 1993. The soil line concept in remote sensing. *Journal of Remote Sensing Reviews*, 7: 65-82.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229: 87-100.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A and Holtslang, A.A. 1998. A remote sensing surface

- Research Letters. 25.10:1753-1756.
- 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.
- Teixeira, A.H., Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D and Bos, M.G. 2009. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle Sao Francisco River basin, Brazil, Part A: calibration and validation. *Journal of Agriculture and Forest Meteorology*. 149: 462-476.
- 2 SeEVERS, P.M and OTTMANN, R.W. 1994. Evapotranspiration estimation using a normalized difference vegetation index transformation of satellite data. *Journal of Hydrological sciences*. 39.4:333-345.
- Shahzad, S and Iftikhar, A. 2008. Determination of daily regional scale actual evapotranspiration for Indus sub basin using Landsat ETM+. *Pakistan Journal of Meteorology*. 4.8.:49-58.
- Szilagyi, J., Rundquist, D.C., Gosselin, D.C and Parlange, M.B. 1998. NDVI relationship to monthly evaporation. *Journal of Geophysical*

Optimization of SAVI index and Estimation of ET_a Using Landsat8 Satellite Images

M.Mokari^{1*} - B.Ghahraman² - S.H.Sanaei nejad³

Received: Apr.14, 2015

Accepted: Aug.19, 2015

Abstract

Actual evapotranspiration (ET_a) estimation is a main factor for irrigation scheduling, hydrological balance, design and management of irrigation systems and crop yield prediction. Therefore many researchers have been tried to achieve ET_a in different spatial and temporal scales. Remote sensing is one of the newest methods that can be used for this purpose. Therefore, In present study, spatial distribution of daily ET_a at a part of Mashhad plain was estimated using Landsat 8 satellite images on 9 June, 25 June, 28 August and 13 September 2013. For this purpose, soil adjusted vegetation index (SAVI) was optimized for SEBAL algorithm. The results showed that there was a correlation between normalized difference vegetation index (NDVI) and ET_a in study events. Also, standard deviation of SAVI was the least for $L=1$ (correction factor of soil background effects). Therefore it can be concluded that optimum amount of L for study region is one. Also the trend of ET_r was similar to ET_a . It can be concluded that plant cover in agriculture lands had no limitation for accessible of water in study region.

Keywords: Evapotranspiration, SEBAL, Remote sensing, Landsat8

1 -PhD Student of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2 - Professor of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3 - Associate Professor of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(*-Corresponding Author Email: mehdimokari@gmail.com)