

ریز مقیاس کردن زمانی و مکانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر لندست و مودیس

مهدی مکاری^{1*}، بیژن قهرمان²، سیدحسین ثنائی نژاد³، امین علیزاده⁴

تاریخ دریافت: 1394/5/6 تاریخ پذیرش: 1394/9/18

چکیده

یک روش برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی خصوصاً در مناطق بزرگ، استفاده از روش سنجنش از دور می‌باشد. با توجه به این که برآورد تبخیر-تعرق واقعی با دقت تفکیک زمانی و مکانی بالا به طور همزمان برای بیش‌تر سنجنده‌ها از جمله مودیس و لندست ممکن نیست بایستی با استفاده از تکنیک‌های ریز مقیاس کردن، تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از سنجنده‌ای را به سنجنده‌ای دیگر ریز مقیاس نمود. هدف این مطالعه استفاده از فاکتور مقیاس‌های مختلف برای تمام پارامترهای ورودی به مدل سبال (ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) به طور همزمان، برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از سنجنده مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر به تصویر لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر و همچنین استفاده از روش ورودی - خروجی رگرسیون بین پارامترهای همسان و روش ورودی - خروجی تفریق برای ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر لندست از 16 روز به روزانه، در بخشی از دشت مشهد است. نتایج نشان داد که گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (E_0) و دمای سطح زمین سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس بهترین عملکرد را داشتند. شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس فصل تابستان و دمای سطح زمین سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس در فصل بهار عملکرد خوبی نداشتند. با توجه به یافته‌های این پژوهش می‌توان گفت که استفاده از گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (E_0) و دمای سطح زمین سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس، برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی و استفاده از روش رگرسیون - ورودی و رگرسیون - خروجی برای ریز مقیاس کردن زمانی آن در دشت مشهد نتایج مطلوبی به دست می‌دهد.

واژه های کلیدی: تبخیر-تعرق واقعی، ریز مقیاس کردن مکانی، فاکتور مقیاس، لندست، مودیس

مقدمه

تبخیر-تعرق واقعی یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل مهم برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری جهت بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب می‌باشد (Tukimat et al., 2012, Yang et al., 2006). روش‌هایی که برای تخمین نقطه‌ای ET بر اساس داده‌های هواشناسی (مانند نسبت بون و کواریانس توده‌های کوچک هوا) استفاده می‌شوند، به دلیل ناهمگونی سطح زمین و ماهیت پویای فرآیندهای انتقال گرما، نمی‌توانند توزیع مکانی مناسبی از ET را در مقیاس بزرگ فراهم کنند (Famiglietti and Wood., 1995., Courault et al., 2005.,

Shuttleworth., 2007, Teixeira et al., 2009). روشی مناسب برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی خصوصاً در مناطق بزرگ، استفاده از روش سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (Moran et al., 1995., Kustas and Norman, 1996., Moulin et al., 2012, Gokmen et al., 1998.). سنجنش از دور این قابلیت را دارد تا مقدار ET واقعی را تخمین زده و حتی توزیع مکانی و زمانی آن را مورد بررسی قرار دهد (Franks and Beven., 1999). در این روش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم توازن انرژی سطح (سبال) می‌توان نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی روزانه را برای منطقه تهیه نمود (Bastiaanssen et al., 1998., Bastiaanssen, 2000., Timmermans et al., 2007., Allen et al., 2011).

تاسومی و همکاران (2003) نتایج ET 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 ET حاصل از الگوریتم سبال با نتایج اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر برای محصولات کشاورزی در اقلیم‌های نیمه‌خشک به خوبی منطبق است. شهزاد و ایفتیخار

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

4- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول: (Email: mehdimokari@gmail.com)

سنجنده‌ها ناهماهنگی وجود دارد (Wu and Li., 2009) یعنی سنجنده‌ای مانند مودیس که دقت تفکیک زمانی بالا دارد، دارای دقت تفکیک مکانی پایین و بالعکس سنجنده‌ای مانند لندست 8 که دقت تفکیک مکانی بالا دارد، دارای دقت تفکیک زمانی پایین است. بنابراین برآورد تبخیر-تعرق واقعی با دقت تفکیک زمانی و مکانی بالا توسط سنجنده‌ای واحد، ممکن نمی‌باشد. برای اینکه بتوان تبخیر-تعرق را هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی با دقت تفکیک بالا برآورد کرد، بایستی از روش‌های ریز مقیاس کردن استفاده کرد (Ha et al., 2013).

کاھیل و همکاران با استفاده از یک مدل ترکیبی شامل موجک و ماشین بردار پشتیبان، تبخیر-تعرق واقعی را برای اراضی حوضه رودخانه سوپر در ایالت یوتا ریزمقیاس مکانی کردند. آن‌ها از تصاویر سنجنده مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر و سنجنده لندست TM با دقت تفکیک مکانی 30 متر به عنوان داده‌های ورودی به مدل خود استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ریزمقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر سنجنده مودیس به باند سیاه و سفید سنجنده لندست (از 1000 متر به 15 متر)، سازگاری خوبی با اندازه‌گیری‌های زمینی داشت (Kaheil et al., 2008). کامالری و همکاران (2013) مقادیر تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از تصاویر سنجنده مودیس را با استفاده از دمای سطح زمین سنجنده لندست و مدل آلکسی¹، ریز مقیاس مکانی کردند. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ریز مقیاس شده با اندازه‌گیری‌های زمینی نشان داد که مدل، دقت خوبی در ریز مقیاس کردن مکانی داشت.

با توجه به این که برآورد تبخیر-تعرق واقعی با دقت تفکیک زمانی و مکانی بالا به طور همزمان برای بیش‌تر سنجنده‌ها از جمله مودیس و لندست ممکن نیست لذا برای رفع این مشکل بایستی از تصاویر دو سنجنده که یکی دارای دقت تفکیک مکانی بالا و دیگری دارای دقت تفکیک زمانی بالا است، همزمان با هم استفاده کرد. برای این منظور می‌توان با استفاده از تکنیک‌های ریز مقیاس کردن، تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از سنجنده‌ای را به سنجنده‌ای دیگر ریز مقیاس نمود. هدف این مطالعه، استفاده از فاکتور مقیاس‌های مختلف برای تمام پارامترهای ورودی به الگوریتم سبال به طور همزمان برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از سنجنده مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر به تصویری با دقت تفکیک مکانی 30 متر و هم‌چنین استفاده از روش ورودی-خروجی رگرسیون بین پارامترهای همسان و روش ورودی-خروجی تقریبی برای ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر لندست از 16 روز به روزانه، در بخشی از دشت مشهد است.

برآوردی از تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و اندازه‌گیری‌های 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 الگوریتم سبال و تصاویر ماهواره لندست 7 برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی روشی 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 ترا 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 (2008) 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. 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 et al., 2005., Bastiaanssen, 2000., Almhah and Busu, 2008., Gao et al., 2008., Singh et al., 2008).

نقشه‌های تبخیر-تعرق واقعی به‌دست آمده از سنجنده‌ای مانند مودیس با دقت تفکیک زمانی بالا (یک روز) برای مناطق کشاورزی مفید است اما به خاطر اینکه اندازه پیکسل‌های سنجنده مودیس از اندازه مزارع کشاورزی در اغلب مناطق بزرگ‌تر است (دقت تفکیک مکانی پایین)، لذا برآورد تبخیر-تعرق واقعی با این سنجنده دارای خطا است (Braswell et al., 2003., Tasumi et al., 2006). علت این خطا تا حدود زیادی به وجود پیکسل‌هایی که دارای پوشش گیاهی مختلف هستند، مربوط می‌شود (Kustas et al., 2004). استفاده از سنجنده‌ای مانند لندست 8 که از دقت تفکیک مکانی بالایی برخوردار است، مقدار خطا در برآورد تبخیر-تعرق واقعی از مزارع کشاورزی را کاهش می‌دهد ولی به دلیل اینکه دقت تفکیک زمانی این سنجنده پایین است (16 روز)، لذا امکان استفاده از تصاویر آن برای همه‌ی روزها وجود ندارد. بنابراین همواره بین دقت تفکیک مکانی و زمانی

مواد و روش‌ها

تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در این مطالعه مربوط به تاریخ‌های 19 خرداد، 4 تیر، 6 و 22 شهریور ماه سال 1392 برای سنجنده لندست 8 و تاریخ‌های 19 خرداد تا 4 تیر و 6 تا 22 شهریور ماه سال 1392 برای سنجنده مودیس بود که به ترتیب از سایت‌های (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) و (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) دانلود شدند. در هنگام دانلود، سعی شد تا تصاویر بدون پوشش ابر انتخاب شوند. برای ریز مقیاس کردن مکانی ET از پنج فاکتور مقیاس استفاده شد.

استفاده از مفهوم فاکتور مقیاس برای ریز مقیاس کردن مکانی

پارامترهای ورودی الگوریتم سبال

در این روش مطابق رابطه 1، با ضرب کردن فاکتورهای مقیاس مختلف شامل گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0)، گسیلندگی سطحی در باند کم پهنای حرارتی ϵ_{NB} ، دمای سطح زمین برآورد شده از سنجنده لندست، دمای سطح زمین برآورد شده از سنجنده مودیس و شاخص پوشش گیاهی، در پارامترهای ورودی الگوریتم سبال یعنی ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، این پارامترها، از تصویر مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر به تصویری با دقت تفکیک مکانی 30 متر، ریز مقیاس مکانی می‌شوند. رابطه 1 به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\lambda_{MODIS,30} = \lambda_{MODIS,1000} \times \frac{L_{Landsat,30}}{L_{Landsat,30 \rightarrow 1000}} \quad (1)$$

که در آن

$\lambda_{MODIS,30}$ پارامتر ریز مقیاس شده (ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) از تصویر مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر به تصویری با دقت تفکیک مکانی 30 متر، $\lambda_{MODIS,1000}$ پارامتر برآورد شده (ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) از تصویر مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر، $\frac{L_{Landsat,30}}{L_{Landsat,30 \rightarrow 1000}}$ فاکتور مقیاس، انتشار سطح، دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی برآورد شده از تصویر لندست 8 با دقت تفکیک مکانی 30 متر، $L_{Landsat,30 \rightarrow 1000}$ انتشار سطح، دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی درشت مقیاس شده از تصویر لندست 8 با دقت تفکیک مکانی 30 متر به تصویر مودیس با دقت تفکیک مکانی 1000 متر است.

سپس با استفاده از پارامترهای ریز مقیاس شده و الگوریتم سبال، تبخیر-تعرق واقعی محاسبه می‌شود. در نهایت مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ریز مقیاس شده، با مقادیر واقعی آن که از تصویر لندست به دست می‌آید، مقایسه شدند.

ریز مقیاس سازی زمانی

روش رگرسیون ورودی/خروجی

در روش رگرسیون - ورودی بین پارامترهای ورودی مورد نیاز برای مدل سبال (ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین) در دو تصویر متوالی مودیس (تصویر روز اول و دوم)، یک رابطه رگرسیونی برقرار می‌شود. از همین رابطه رگرسیونی، برای به دست آوردن پارامترهای ورودی مورد نیاز در مدل سبال، برای تصویر شبیه‌سازی شده لندست در روز دوم استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی تصویر لندست روز سوم از روی تصویر لندست روز دوم، از رابطه رگرسیونی بین دو تصویر مودیس در روزهای دوم و سوم استفاده خواهد شد. به همین ترتیب عمل می‌شود تا آخرین تصویر شبیه‌سازی شده لندست در روز شانزدهم، نیز به دست آید. بعد از پیدا کردن پارامترهای ورودی شامل ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین برای هر تصویر شبیه‌سازی شده لندست، تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل سبال محاسبه می‌گردد. روش رگرسیون - خروجی مشابه روش رگرسیون - ورودی است با این تفاوت که در این روش از رابطه رگرسیونی بین تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از دو تصویر متوالی مودیس برای شبیه‌سازی تبخیر-تعرق واقعی تصویر لندست استفاده می‌شود.

روش تفریق ورودی/خروجی

در روش تفریق - ورودی ابتدا پارامترهای ورودی مورد نیاز در مدل سبال شامل ضریب آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین، از پیکسل‌های نظیر در دو تصویر متوالی مودیس (تصویر روز اول و دوم) از هم کم می‌شود، سپس مقدار به دست آمده از این تفریق، به تعداد پیکسل‌های نظیر در تصویر سنجنده لندست (تصویر روز اول) که تشکیل دهنده یک پیکسل مودیس است (هر پیکسل مودیس شامل 1111 پیکسل لندست است)، اضافه می‌شود. این عمل برای کلیه پیکسل‌های تصاویر مودیس و لندست انجام خواهد شد. به این ترتیب یک تصویر جدید از سنجنده لندست برای روز دوم شبیه‌سازی می‌شود. حال تصویر شبیه‌سازی شده لندست به عنوان تصویر پایه در نظر گرفته شده و همین عمل برای تک تک پیکسل‌های آن با استفاده از دو تصویر متوالی مودیس در روزهای دوم و سوم انجام می‌شود. اینکار تا زمانی انجام می‌شود که شانزدهمین تصویر برای سنجنده لندست شبیه‌سازی شود. در واقع با این کار خلا زمانی موجود بین دو تصویر متوالی لندست پر می‌شود.

روش تفریق - خروجی مشابه روش تفریق - ورودی است با این تفاوت که در این روش تفاضل تبخیر-تعرق واقعی بین دو تصویر متوالی مودیس، به پیکسل‌های نظیر در تصویر تبخیر-تعرق واقعی لندست اضافه می‌شوند.

جدول 1- پارامترهای آماری RMSE، MAE و d بین مقادیر واقعی و ریز مقیاس شده تبخیر-تعرق در روش‌های مختلف ریز مقیاس‌سازی مکانی برای روزهای جولای (160 خرداد)، 176 (4 تیر)، 240 (6 شهریور) و 256 (22 شهریورماه)

d				MAE				RMSE				فاکتور مقیاس‌های مختلف
256	240	176	160	256	240	176	160	256	240	176	160	
0/849	0/753	0/677	0/621	0/573	0/617	2/44	0/675	0/599	0/852	2/54	0/778	LST سنجنده لندست
0/901	0/893	0/93	0/728	0/426	0/575	0/982	0/415	0/522	0/713	0/993	0/539	LST سنجنده مودیس
0/849	0/763	0/796	0/628	0/457	0/611	1/73	0/53	0/586	0/724	1/82	0/71	گسیلندگی سطحی در باند کم پهنای حرارتی (ϵ_{NB})
0/916	0/929	0/952	0/834	0/41	0/4	0/664	0/359	0/443	0/464	0/73	0/441	گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0)
0/753	0/723	0/908	0/696	0/658	1/28	1/05	0/528	0/703	1/43	1/31	0/697	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

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 $28^{\circ} 36'$ 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. داده‌های زمینی مورد استفاده در الگوریتم سبال (دمای هوا و سرعت باد) و همچنین داده‌های مورد نیاز برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع ساعتی به روش پنمن-مونتیت فائو 56 از مجموعه داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد که در $36^{\circ} 16'$ عرض شمالی و $59^{\circ} 38'$ 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.

نتایج و بحث

در جدول 1 مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و شاخص سازگاری (d) برای تبخیر-تعرق واقعی و ریز مقیاس شده با روش‌های مختلف ارائه شده است. با توجه به جدول 1 مشخص می‌شود که استفاده از گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0) به عنوان فاکتور مقیاس کم‌ترین مقدار RMSE و MAE را در روزهای مورد مطالعه دارا است. از طرفی مقدار شاخص سازگاری برای ϵ_0 در روزهای مورد مطالعه بیش‌ترین مقدار را داشت. این نشان می‌دهد که استفاده از ϵ_0 به عنوان فاکتور مقیاس برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی نسبت به فاکتور مقیاس‌های دیگر عملکرد بهتری از خود نشان داده است. استفاده از دمای سطح زمین (LST) سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس نیز نتایج مطلوبی از خود نشان داد. بیش‌ترین مقدار RMSE و MAE در روزهای 19 خرداد و 4 تیرماه (فصل بهار)،

مربوط به دمای سطح زمین سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس، و در روزهای 6 و 22 شهریورماه (فصل تابستان)، مربوط به شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس بود. میانگین فاکتور مقیاس برای ϵ_0 ، 0/99 و برای شاخص پوشش گیاهی، 0/85 بود. نتایج این مطالعه نشان داد که هر چه فاکتور مقیاس به یک نزدیک‌تر باشد، ریز مقیاس کردن مکانی با دقت بالاتری انجام می‌شود. عملکرد ضعیف شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس در فصل تابستان به دلیل ناهمگونی و غیر یکنواخت بودن پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. زیرا تغییر پذیری پوشش گیاهی در پیکسل‌های تصویر لندست درشت مقیاس شده (1000×1000 متر) نسبت به پیکسل‌های همان تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا (30×30 متر) بیش‌تر است. با توجه به اینکه فاکتور مقیاس نسبت پیکسل‌های تصویر با دقت تفکیک مکانی بالا به پیکسل‌های همان تصویر با دقت تفکیک مکانی پایین است (تصویر درشت مقیاس شده)، لذا فاکتور مقیاس از عدد یک فاصله گرفته و ریز مقیاس‌سازی با دقت پایین‌تری انجام می‌شود. در فصل بهار که پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از یکنواختی بیش‌تری برخوردار است، شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس، عملکرد خوبی از خود نشان داد. اما دمای سطح زمین سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس در فصل بهار عملکرد خوبی نداشت. زیرا در این فصل به علت وجود پوشش گیاهی یکنواخت‌تر، دمای سطح زمین در پیکسل‌های 1000×1000 متر تغییرپذیری بیش‌تری نسبت به پیکسل‌های 30×30 متر دارد (Liu, et al., 2006) که این باعث می‌شود فاکتور مقیاس از یک بیش‌تر فاصله گرفته و دقت ریزمقیاس کردن کاهش پیدا کند. اما در فصل تابستان (روزهای 6 و 22 شهریور) به دلیل پوشش گیاهی کم‌تر در سطح زمین، تغییرپذیری دمای سطح زمین در پیکسل‌های 1000×1000 متر نسبت به پیکسل‌های 30×30 متر کم‌تر بوده و ریز مقیاس کردن با دقت بیش‌تری انجام می‌شود. زیرا در این حالت فاکتور مقیاس به یک نزدیک‌تر می‌شود.

سطح زمین می‌باشند، بنابراین ریز مقیاس شدن مکانی این پارامترها با دقت بالا، منجر به ریز مقیاس شدن مکانی دقیق‌تر تبخیر-تعرق واقعی می‌شود. استاتوپولو و کارتالیس نیز گزارش کردند که دمای سطح زمین سنجنده AVHRR که دقت تقییک مکانی پایینی دارد (1020 متر) و گسیلندگی سطحی سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس عملکرد مطلوبی در ریز مقیاس کردن مکانی دمای سطح زمین سنجنده AVHRR داشتند. این نتیجه مشابه نتیجه به دست آمده در این مطالعه بود.

جدول‌های 2، 3 و 4 نتایج ریزمقیاس‌سازی مکانی با استفاده از فاکتور مقیاس‌های مختلف را به ترتیب برای آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نشان می‌دهند. با توجه به این جدول‌ها مشخص می‌شود که پارامترهای آماری RMSE و MAE برای گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0) کم‌ترین مقدار و برای شاخص پوشش گیاهی بیش‌ترین مقدار را دارد. با توجه به این که پارامترهای ورودی به الگوریتم سبال برای محاسبه تبخیر-تعرق واقعی، آلبیدوی سطح، شاخص پوشش گیاهی و دمای

جدول 2- پارامترهای آماری RMSE، MAE و d بین مقادیر واقعی و ریز مقیاس شده آلبیدوی سطح در روش‌های مختلف ریز مقیاس‌سازی مکانی برای روزهای جولای 160 (19 خرداد)، 176 (4 تیر)، 240 (6 شهریور) و 256 (22 شهریورماه)

d				MAE				RMSE				فاکتور مقیاس‌های مختلف
256	240	176	160	256	240	176	160	256	240	176	160	
0/58	0/82	0/41	0/54	0/054	0/015	0/088	0/08	0/082	0/017	0/092	0/107	سنجنده لندست LST
0/76	0/83	0/46	0/86	0/033	0/013	0/078	0/018	0/04	0/015	0/08	0/02	سنجنده مودیس LST
0/67	0/82	0/41	0/73	0/047	0/015	0/088	0/024	0/063	0/017	0/092	0/027	گسیلندگی سطحی در باند کم پهنای حرارتی (ϵ_{NB})
0/76	0/83	0/52	0/89	0/033	0/013	0/07	0/016	0/04	0/015	0/079	0/018	(ϵ_0) گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع
0/57	0/64	0/46	0/74	0/085	0/058	0/078	0/024	0/104	0/071	0/081	0/027	(NDVI) شاخص پوشش گیاهی

جدول 3- پارامترهای آماری RMSE، MAE و d بین مقادیر واقعی و ریز مقیاس شده شاخص پوشش گیاهی در روش‌های مختلف ریز مقیاس‌سازی مکانی برای روزهای جولای 160 (19 خرداد)، 176 (4 تیر)، 240 (6 شهریور) و 256 (22 شهریورماه)

d				MAE				RMSE				فاکتور مقیاس‌های مختلف
256	240	176	160	256	240	176	160	256	240	176	160	
0/85	0/47	0/75	0/61	0/018	0/069	0/023	0/046	0/023	0/072	0/032	0/052	LST سنجنده لندست
0/88	0/5	0/89	0/71	0/013	0/064	0/01	0/024	0/016	0/066	0/014	0/032	LST سنجنده مودیس
0/86	0/5	0/85	0/64	0/015	0/064	0/015	0/043	0/022	0/071	0/019	0/048	گسیلندگی سطحی در باند کم پهنای حرارتی (ϵ_{NB})
0/88	0/63	0/94	0/96	0/011	0/063	0/008	0/014	0/015	0/066	0/011	0/019	گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0)
0/63	0/47	0/89	0/66	0/024	0/069	0/01	0/042	0/034	0/08	0/014	0/046	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

جدول 4- پارامترهای آماری RMSE، MAE و d بین مقادیر واقعی و ریز مقیاس شده دمای سطح زمین در روش‌های مختلف ریز مقیاس‌سازی مکانی برای روزهای جولای 160 (19 خرداد)، 176 (4 تیر)، 240 (6 شهریور) و 256 (22 شهریورماه)

d				MAE				RMSE				فاکتور مقیاس‌های مختلف
256	240	176	160	256	240	176	160	256	240	176	160	
0/277	0/594	0/29	0/786	8/04	3/59	8/01	2/65	8/12	3/89	8/08	4/92	LST سنجنده لندست
0/311	0/728	0/363	0/825	6/96	3/32	5/64	1/21	7	3/62	5/67	1/41	LST سنجنده مودیس
0/287	0/611	0/3	0/799	7/17	3/56	7/71	1/98	7/25	3/64	7/71	2/13	گسیلندگی سطحی در باند کم پهنای حرارتی (ϵ_{NB})
0/7	0/762	0/839	0/832	3/78	2/43	3/03	1/18	4/48	2/7	3/62	1/32	گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0)
0/276	0/591	0/36	0/807	8/09	4/98	5/89	1/64	8/15	5/39	5/91	1/76	شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

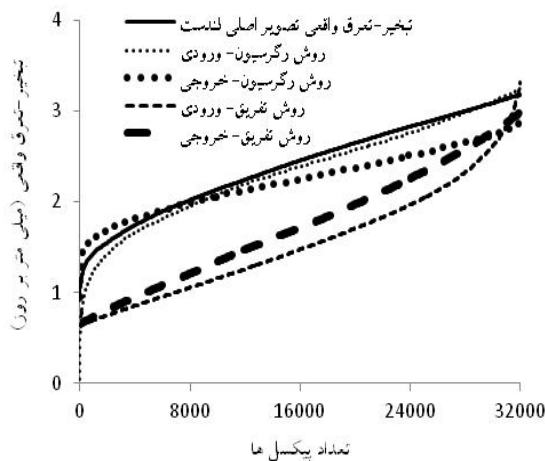
مهم در برآورد تبخیر-تعرق واقعی توسط الگوریتم سبال هستند، بنابراین ریز مقیاس شدن دقیق تر این دو پارامتر نقش مهمی در ریز مقیاس شدن دقیق تر تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده توسط الگوریتم سبال دارد. در شکل های 3 و 4 دمای سطح زمین و آلبیدوی سطحی به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر در مقابل دمای سطح زمین و آلبیدوی سطحی تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روزهای 4 تیر ماه و 22 شهریور ماه نشان داده شده است.

با توجه به شکل های 3 و 4 مشخص می شود که روش رگرسیون - ورودی در مقایسه با روش تفریق - ورودی، عملکرد بهتری در ریز مقیاس کردن زمانی دمای سطح زمین و آلبیدوی سطحی دارد که این می تواند دلیلی بر عملکرد بهتر روش رگرسیون - ورودی در ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی نسبت به روش تفریق - ورودی باشد.

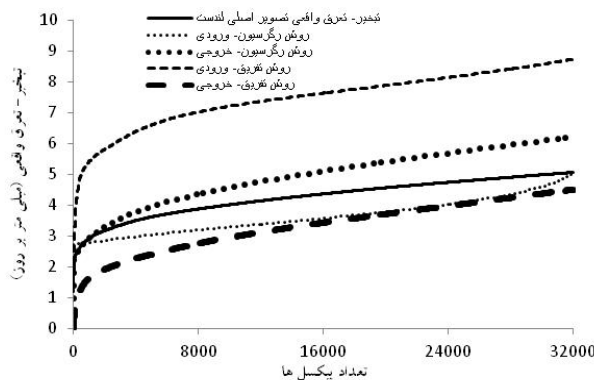
یک دلیل دیگر برای عملکرد ضعیف شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی می تواند به عملکرد ضعیف این فاکتور مقیاس در ریز مقیاس - کردن مکانی آلبیدوی سطحی، شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین مربوط شود (Stathopoulou and Cartalis., 2009).

در شکل های 1 و 2 تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر در مقابل تبخیر-تعرق واقعی تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روزهای 4 تیر ماه و 22 شهریور ماه نشان داده شده است.

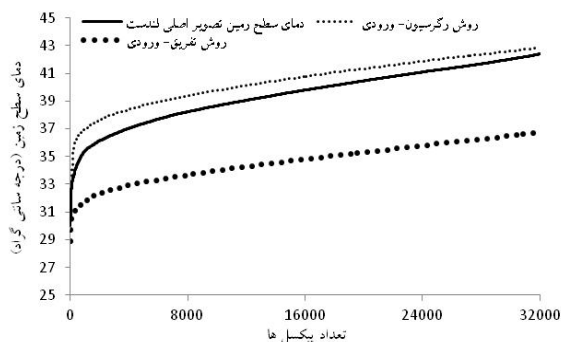
با توجه به این شکل ها نیز می توان عملکرد مطلوب روش رگرسیون - ورودی و عملکرد نامطلوب روش تفریق - ورودی را در ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی نتیجه گرفت. با توجه به اینکه دمای سطح زمین و آلبیدوی سطحی دو پارامتر



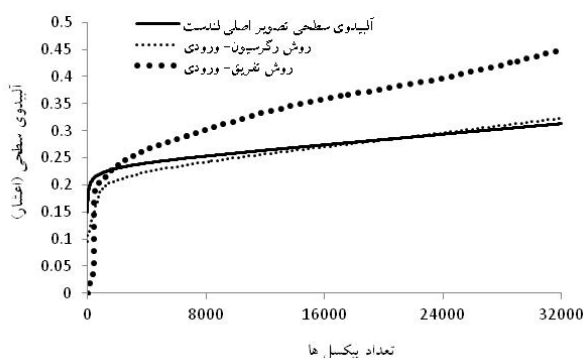
شکل 1- تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر (تبخیر-تعرق واقعی مشاهده شده) در مقابل تبخیر-تعرق واقعی تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روز 4 تیر ماه



شکل 2- تبخیر-تعرق واقعی به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر (تبخیر-تعرق واقعی مشاهده شده) در مقابل تبخیر-تعرق واقعی تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روز 22 شهریور ماه



شکل 3- دمای سطح زمین به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر (دمای سطح زمین مشاهده شده) در مقابل دمای سطح زمین تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روز 4 تیر ماه



شکل 4- آلبیدوی سطحی به دست آمده از تصویر اصلی لندست با دقت تفکیک مکانی 30 متر (آلبیدوی سطحی مشاهده شده) در مقابل آلبیدوی سطحی تصویر شبیه سازی شده لندست با روش های مختلف ریز مقیاس سازی زمانی برای روز 4 تیر ماه

مقیاس شده برای گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0) و دمای سطح زمین سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس و کمترین مقدار آن برای شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس در فصل تابستان و دمای سطح زمین سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس در فصل بهار مشاهده شد. همچنین روش رگرسیون- ورودی بهترین عملکرد را در ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر لندست 8 داشت. با توجه به یافته های این پژوهش می توان گفت که استفاده از گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0) و دمای سطح زمین سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس برای ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی و استفاده از روش رگرسیون- ورودی و رگرسیون- خروجی برای ریز مقیاس کردن زمانی آن در دشت مشهد نتایج مطلوبی به دست می دهد.

منابع

Allen, R., Irmak, A., Trezza, R., Hendrickx, M.H., Bastiaanssen, W and Kjaersgaard, J. 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. Journal of Hydrological Processes. 25:4011-4027.

هانگ و همکاران نیز گزارش کردند که روش رگرسیون- خروجی نسبت به روش تفریق- ورودی عملکرد بهتری در ریز مقیاس کردن زمانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر لندست با استفاده از تصاویر مودیس داشت. همچنین با توجه به جدول 6 مشخص می شود که شاخص سازگاری برای روش های رگرسیون- ورودی و رگرسیون- خروجی بیشترین مقدار را دارد. در حالیکه این شاخص برای روش تفریق- ورودی کمترین مقدار را دارد (Heng et al., 2011).

نتیجه گیری

در این مطالعه ریز مقیاس کردن مکانی تبخیر-تعرق واقعی تصاویر سنجنده مودیس با استفاده از تصاویر سنجنده لندست 8 و فاکتور مقیاس های مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که گسیلندگی سطحی در محدوده وسیع (ϵ_0) و دمای سطح زمین سنجنده مودیس به عنوان فاکتور مقیاس بهترین عملکرد را داشتند. شاخص پوشش گیاهی به عنوان فاکتور مقیاس در فصل تابستان و دمای سطح زمین سنجنده لندست به عنوان فاکتور مقیاس در فصل بهار عملکرد خوبی نداشتند. بیشترین همبستگی بین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی و ریز

- Ha, W., Gowda, P.H and Howell, T.A. 2013. A review of downscaling methods for remote sensing-based irrigation management, *Journal of Irrigation Science*. 31: 831-850.
- Hafeez, 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.
- Hong, S., Hendrickx, J.M.H., Borchers, B. 2011. Downscaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from MODIS (250 m) to Landsat (30 m) scales, *International Journal of Remote Sensing*. 32:6457-6477.
- Kaheil, Y.H., Rosero, E., Kashif Gill, M., McKee, M and Bastidas, L.A. 2008. Downscaling and forecasting of evapotranspiration using a synthetic model of wavelets and support vector machines, *Journal of IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 46.9: 2692-2707.
- Kustas, W.P., Li, F., Jackson, T.J., Prueger, J.H., MacPherson, J.I., Wolde, M. 2004. Effects of remote sensing pixel resolution on modeled energy flux variability of croplands in Iowa. *Journal of Remote Sensing Environment*. 92:535-547.
- Kustas, W.P., Norman, J.M Anderson, M.C., French, A.N. 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Journal of Remote Sensing Environment*. 85: 429-440.
- Kustas, W.P and Norman, J.M. 1996. Use of remote sensing for evapotranspiration monitoring over land surfaces, *Journal of Hydrological Sciences*. 41.4: 495-516.
- Liu, Y., Hiyama, T and Yamaguchi, Y. 2006. Scaling of land surface temperature using satellite data: A case examination on ASTER and MODIS products over a heterogeneous terrain area. *Journal of Remote Sensing*. 105:115-128.
- Moran, M.S., Mass, S.J and Pinter, J.r. 1995. Combining remote sensing and modeling for estimation surface evaporation and biomass production. *Journal of Remote Sensing Reviews*. 12:335-353.
- Moulin, S., Bondeau, A and Delecalle, R. 1998. Combining agricultural crop models and satellite observations: From field to regional scales, *International Journal of Remote Sensing*. 19:1021-1036.
- 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.
- Shahzad, S and Iftikhar, A. 2008. Determination of daily Almhhab, 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 and Simulation*, Kuala Lumpur, Malaysia. 13-15 May.
- 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.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL)-1. Formulation, *Journal of Hydrology*. 212-213:198-212.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey, *Journal of Hydrology*. 229:87-100.
- Braswell, B.H., Hagen, S.C., Froking, S.E., Salas, W.A. 2003. A multivariable approach for mapping sub-pixel land cover distributions using MISR and MODIS: Application in the Brazilian Amazon region, *Journal of Remote sensing Environment*. 87: 243-256.
- Cammalleri, C., Anderson, M.C., Gao, F., Hain, C. R and Kustas, W.P. 2013. A data fusion approach for mapping daily evapotranspiration at field scale. *Journal of Water Resources Research*. 49: 4672-4686.
- Courault, D., Seguin, B and Olioso, A. 2005. Review on estimation of evapotranspiration from remote sensing data: From empirical to numerical modeling approaches, *Journal of Irrigation and Drainage System*. 19.3: 223-249.
- Famiglietti, J.S and Wood, E.F. 1995. Effects of spatial variability and scale on areally averaged evapotranspiration, *Journal of Water Resources Research*. 31.3:699-712.
- Franks, 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.
- Gao, 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.
- Gokmen, M., Vekerdy, Z., Verhoef, A., Verhoef, W., Batelaan, O., and Tol, C. 2012. Integration of soil moisture in SEBS for improving evapotranspiration estimation under water stress conditions, *Journal of Remote Sensing of Environment*. 121: 261-247.

- 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.
- Timmermans,W.J., Kustas,W.P., Anderson,M.C., French,A.N. 2007. An intercomparison of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and the two-source energy balance (TSEB) modeling schemes, *Journal of Remote sensing Environment*. 108: 369-384.
- Tukimat,N.N., Harun,S and Shahid,S. 2012. Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropic and Subtropics*. 113.1: 77-85.
- Wu,H., Li,Z.L. 2009. Scale issues in remote sensing: a review on analysis, processing and modeling, *Journal of Sensors*. 9:1768-1793.
- Yang,F., White,M.A., Michaelis,A.R., Ichii,K., Hashimoto,H., Votava,P., Zhu,A.X., Nemani,R.R. 2006. Prediction of continental-scale evapotranspiration by combining MODIS and AmeriFlux data through support vector machine. *Journal of IEEE Trans Geosci Remote*. 44: 3452-3461.
- regional scale actual evapotranspiration for Indus sub basin using Landsat ETM+, *Pakistan Journal of Meteorology*. 4.8:49-58.
- Shuttleworth,W.J. 2007. Putting the “vap” into evaporation. *Journal of Hydrology and Earth System Science*. 11.1: 210-244.
- 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.
- Stathopoulou,M and Cartalis,C. 2009. Downscaling AVHRR land surface temperature for improved surface urban heat island intensity estimation, *Journal of Remote. Sensing Environment*. 113:2592-2605.
- Tasumi,M., Allen,R.G., Trezza,R. 2006. Calibrating satellite-based vegetation indices to estimate evapotranspiration and crop coefficients. In: Wichelns D, Anderson SS (eds) *Proceedings of the 2006 USCID water management conference, groundwater and surface water under stress: competition, interaction, solutions*, published by USCID, Denver, Co, USA.
- 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.

Temporal and Spatial Downscaling of Actual Evapotranspiration based-Landsat and ModIS Images

M. Mokari^{1*}, B. Ghahraman², S.H. Sanaei nejad³, A. Alizadeh⁴

Received: Jul.28, 2015

Accepted: Dec.09, 2015

Abstract

Remote sensing is a suitable method for estimating of actual evapotranspiration (AET) especially in large scales. As the estimation of AET with both high temporal and spatial resolution is impossible for most sensors such as MODIS and Landsat, it is necessary that the AET maps derived from a sensor were downscaled to another sensor using downscaling methods. The objectives of this study were to use of different scaling factors simultaneously for input parameters of SEBAL included surface albedo, normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature (LST) for spatial downscaling of AET maps derived based-MODIS (1000 m) images to Landsat images (30 m) and also temporal downscaling of AET maps derived based Landsat (16 day) images to MODIS (daily) images using input/output regression and input/output subtraction methods in a part of Mashhad plain. The results showed that the zero band emissivity of Landsat and LST of MODIS images had the best performance in spatial downscaling of AET maps. NDVI and LST of Landsat images as a scaling factor had not a good performance in spatial downscaling of AET maps in summer and spring, respectively. Considering the results of this study, it can be concluded that the zero band emissivity of Landsat and LST of MODIS images as a scaling factor for spatial downscaling of AET maps and input regression method for temporal downscaling of AET maps are suitable in Mashhad plain.

Keywords: Actual Evapotranspiration, Spatial Downscaling, Scaling Factor, Landsat, MODIS

1 -Ph.D.Candidate of Irrigation and Drainage, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad

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

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

4 - Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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