

واسنجی ضریب تصحیح رطوبتی خاک در الگوریتم توازن انرژی در سطح

روزبه موذن زاده^{1*} و بیژن قهرمان²

تاریخ دریافت: 1394/3/23 تاریخ پذیرش: 1394/9/18

چکیده

الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (Surface Energy Balance Algorithms for Land, SEBAL) یکی از الگوریتم‌های برآورد کننده تبخیر - تعرق واقعی گیاهان است که بر مبنای تکنیک سنجش از دور استوار است. در یکی از مراحل این الگوریتم و در تعیین تابش با طول موج بلند از سطح زمین، از شاخصی به نام شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI) استفاده می‌شود. در محاسبه این شاخص از رابطه‌ای که شامل یک ضریب تجربی (L) واسنجی شده بر اساس داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای منطقه آیداهو در کشور آمریکا است، استفاده شده است. در این تحقیق با استفاده از تصاویر منتخب سنجنده MODIS در بازه زمانی سال‌های 2009 تا 2013 برای حوضه آبریز نیشابور، مقدار ضریب مذکور واسنجی گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که توصیه کاربرد مقدار تقریبی $L=0/5$ برای تمامی مناطق مناسب ارزیابی نشده و بهتر است که این ضریب قبل از کاربرد در الگوریتم SEBAL برای هر منطقه‌ای به صورت مجزا واسنجی گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که زمان تصویر انتخابی می‌تواند بر روی روند تغییرات شاخص SAVI و در نتیجه تعیین مقدار بهینه ضریب L اثرگذار باشد و بهتر است از ماه‌هایی برای این منظور استفاده شود که پوشش گیاهی قابل قبولی بر روی سطح زمین وجود داشته باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که مقادیر شاخص SAVI به مقادیر کمتر ضریب L حساسیت بیشتری نشان داده است. تحلیل نتایج نشان داد که پیشنهاد مقدار 0/2 برای کاربرد ضریب L در تحقیقات مرتبط با استفاده از الگوریتم SEBAL در منطقه مورد مطالعه، مناسب ارزیابی شده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، پوشش گیاهی، حوضه آبریز، سنجش از دور

مقدمه

را می‌توان با درجه اعتماد نسبتاً بالایی به روش‌های لایسیمتر وزنی، تکنیک همبستگی گردابی و تکنیک نسبت بوئن به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود، با اینحال هرکدام از این روش‌ها به‌ویژه در بلند مدت محدودیت‌های اجرایی خاص خود را دارد (Mu et al., 2007). از همه مهم‌تر آنکه هر سه روش مذکور برآوردهای نقطه‌ای از تبخیر - تعرق داشته و تعمیم مقادیر نقطه‌ای در سطوح وسیع با خطا و عدم قطعیت‌های فراوان همراه است (Mutiga et al., 2010). مشکل اخیر را می‌توان با کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در قالب تکنیک سنجش از دور که سطح وسیعی را تحت پوشش قرار می‌دهند، برطرف نمود (Shu et al., 2011). عدم نیاز به کمیت درآوردن سایر فرآیندهای پیچیده هیدرولوژیکی مؤثر در معادله بیلان آب، از دیگر مزایای برجسته استفاده از تکنیک سنجش از دور در برآورد تبخیر - تعرق واقعی به-شمار می‌رود (Karatas et al., 2009). از آنجا که تبخیر - تعرق در بعد مکان به واسطه تغییرات در بارندگی، خصوصیات هیدرولوژیکی خاک‌ها و تراکم و نوع پوشش گیاهی و در بعد زمان بواسطه تغییرات پارامترهای اقلیمی، تغییر می‌کند، تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند ابزار بسیار مفیدی در تعیین و تهیه نقشه ساختار تغییرات مکانی و زمانی

شناخت و فهم دقیق فرآیند تبخیر - تعرق که از اساسی‌ترین اجزاء معادله بیلان آب به‌شمار می‌رود، نقش مهمی در توسعه پایدار منابع آبی دارد. در نواحی خشک و نیمه‌خشک همانند کشورمان، آبیاری مصرف کننده اصلی آب به‌شمار می‌رود و به‌کارگیری روشی مؤثر و قابل اعتماد در تعیین آب مصرفی گیاهان نقش مهمی در مدیریت منابع آب به همراه خواهد داشت. از دیدگاه کلان منابع آب، با تشدید بحران آب، هرچه موجودیت این منابع کاهش می‌یابد اهمیت مدیریت صحیح آبیاری به‌منظور دستیابی به کارایی بالاتر مصرف آب بیش از پیش نمود می‌یابد. مؤلفه تبخیر - تعرق می‌تواند شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی درجه مؤثر بودن آبیاری قلمداد گشته و در طراحی و برنامه‌ریزی‌های آبیاری بسیار سودمند واقع گردد. اگرچه تبخیر - تعرق

1- استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

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

* - نویسنده مسئول: (Email: romo_sci@shahroodut.ac.ir)

تبخیر - تعرق محسوب شوند (Gonzalez et al., 2009).

الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (SEBAL) اولین بار توسط باستیانس و همکاران در سال 1998 بسط و توسعه یافت و سپس در سال 2000 با اعمال برخی اصلاحات تکمیل گردید (Bastiaanssen., 2000). این الگوریتم مبنای تجربی - فیزیکی داشته و از حداقل داده‌های زمینی در برآورد تبخیر - تعرق واقعی استفاده می‌نماید. این الگوریتم در داخل ساختار مفهومی خود از ضرایب تجربی متفاوتی استفاده می‌نماید که از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای منطقه آیداهو استخراج شده و به نظر می‌رسد که بایستی برای مناطق دیگری که از این الگوریتم استفاده می‌گردد، واسنجی شوند. یکی از این ضرایب تجربی، ضریب L است که در ساختار محاسبه شاخص SAVI بکار می‌رود. هانگ و همکاران الگوریتم SEBAL را برای دو تصویر ماهواره‌ای متعلق به Landsat و MODIS در منطقه نیومکزیکو به کار گرفته و به این نتیجه رسیدند که مقادیر تبخیر - تعرق واقعی روزانه حاصل از تصویر Landsat استانداردتر بوده است (Hong et al., 2009). جبر میشل و همکاران در تحقیقی با استفاده از الگوریتم SEBAL از طریق دو روش، مقادیر تبخیر - تعرق واقعی در دو تاریخ 4 سپتامبر 2002 و 8 ژوئن 2005 را برآورد و با هم مقایسه کرده‌اند (Gebremichael et al., 2010). راسوکا و همکاران با اشاره به مطالعه موتیگا و همکاران (2009) مبنی بر استفاده از الگوریتم SEBAL برای دستیابی به تبخیر - تعرق واقعی در حوضه ایواسو در کشور کنیا، با استفاده از همین الگوریتم اقدام به برآورد و تخمین توزیع مکانی تبخیر - تعرق واقعی در حوضه آبریز مینامی نموده‌اند (Rwasoka et al., 2011). در تمامی این تحقیقات مقدار ضریب L در برآورد شاخص SAVI مقدار 0/5 لحاظ شده است. خاوریان نهزک (1383) مقادیر تبخیر - تعرق واقعی مزرعه نمونه ارتش واقع در استان گلستان را برای دو تاریخ 15 اردیبهشت و 17 خرداد 1382 با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و در قالب الگوریتم SEBAL برآورد نمود. ایشان در تحقیق خود مقدار ضریب L را 0/5 در نظر گرفت. حسن پور و همکاران (1391) به مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر - تعرق واقعی در منطقه کرج پرداخته‌اند. قمرنیا و رضوانی (1393) تبخیر - تعرق واقعی در دشت میان‌دریند واقع در غرب کشور را به کمک الگوریتم SEBAL برآورد و اقدام به پهنه‌بندی آن نموده‌اند. در هر دو تحقیق اخیر به مقدار بکار رفته شده برای ضریب L در محاسبه شاخص SAVI اشاره‌ای نشده است و احتمالاً همان مقدار 0/5 لحاظ شده است.

آنچنان که ملاحظه می‌گردد در تمامی این تحقیقات تنها از الگوریتم SEBAL استفاده شده و از واسنجی منطقه‌ای این روش هیچ گزارشی ارائه نشده است. از آنجا که برآورد دقیق تبخیر - تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از طریق تعیین دقیق عمق آب

آبیاری می‌تواند در استفاده پایدار از منابع آبی کشورمان که با وضعیت بحرانی نیز مواجه شده است، مؤثر واقع گردد، در این تحقیق واسنجی یکی از ضرایب به کار رفته در محاسبه شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در الگوریتم SEBAL مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در الگوریتم SEBAL میزان تبخیر - تعرق واقعی به صورت یک جمله باقیمانده از معادله توازن انرژی در سطح زمین به دست می‌آید. در این الگوریتم تابش طول موج بلند خارج شده از سطح زمین با استفاده از رابطه استفان - بولتزمن و از رابطه 1 محاسبه می‌گردد:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (1)$$

در این رابطه ε گسیلمندی سطحی و T_s دمای سطحی (درجه کلون) می‌باشند. گسیلمندی سطحی بر اساس توابعی شرطی بر حسب مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) شاخص سطح برگ (LAI) و آلبیدوی سطحی به دست می‌آید. در الگوریتم SEBAL مقدار شاخص سطح برگ بر اساس رابطه 2 محاسبه می‌گردد:

$$LAI = \frac{-[\ln(\frac{0.69 - SAVI}{0.59})]}{0.91} \quad (2)$$

آنچنان که در رابطه 2 مشخص است، شاخص سطح برگ که در محاسبه تابش طول موج بلند خارج شده از سطح زمین مؤثر است، خود تابعی از شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی (SAVI) می‌باشد. شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در الگوریتم SEBAL بر اساس داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای متعلق به منطقه آیداهو در کشور آمریکا از رابطه 3 برآورد می‌گردد:

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{R}}{\rho_{NIR} + \rho_{R} + L} (1 + L) \quad (3)$$

در این رابطه L فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک است و از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا یک برای تراکم‌های کم‌تر، تغییر می‌نماید. آلن و همکاران مقدار $L=0/5$ را برای کاربرد این فاکتور پیشنهاد نموده‌اند (Allen et al., 2002). به بیان دیگر ضریب L سعی در کاهش تأثیرات رطوبت سطح خاک بر روی بازتابش پوشش گیاهی دارد. در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS نصب شده بر روی ماهواره TERRA در فاصله زمانی سال‌های 2009 تا 2013، مقدار ضریب L برای حوضه آبریز نیشابور واسنجی و بر اساس روش آلن و همکاران (2002) مقدار بهینه آن در هر سال به دست آمد.

حوضه آبریز نیشابور در شرق حوضه آبریز کویر مرکزی و در استان خراسان رضوی واقع شده است. از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده $13^\circ - 58^\circ$ تا $3^\circ - 59^\circ$ طول شرقی و $4^\circ - 35^\circ$ تا $36^\circ - 39^\circ$ عرض شمالی قرار دارد. وسعت این حوضه آبریز در حدود 9158 کیلومتر مربع است. حوضه آبریز نیشابور را از لحاظ کاربری می‌توان جزو

از آنجا که در مناطق با پوشش گیاهی و رطوبت بالا، بازتابش نور در طیف‌های قرمز و مادون قرمز از سطح خاک می‌تواند مقدار شاخص پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین شاخص SAVI سعی در کاهش اثرات خاک سطحی بر روی شاخص NDVI دارد به گونه‌ای که اثرات رطوبت خاک در این شاخص کاهش یابد. مقدار شاخص SAVI به ازای مقادیر متفاوت ضریب L از رابطه 3 قابل برآورد است که به‌عنوان نمونه، تصویر مقادیر این شاخص به ازای $L=0/8$ در سال 2009 برای حوضه مورد مطالعه در شکل 1 نشان داده شده است. آنچنان که در شکل 1 مشاهده می‌شود مقدار شاخص SAVI در کل حوضه آبریز مورد مطالعه و در سال 2009 در محدوده 0/02 تا 0/142 متغیر بوده است، در حالیکه مقدار شاخص NDVI در همین سال در محدوده صفر تا 0/7 قرار داشته است که این تفاوت به دلیل اتخاذ مقدار 0/8 برای ضریب L در ساختار رابطه برآورد کننده شاخص SAVI می‌باشد. به‌منظور واسنجی ضریب تصحیح رطوبتی خاک در بازه زمانی سال‌های 2009 تا 2013 در هر سال سه تصویر انتخاب شد. تصاویر مذکور به‌نحوی انتخاب شدند که در قسمت‌های کناری خود فاقد کشیدگی باشند. صاف بودن تصاویر و عدم وجود ابر یا پوشش برف در تصاویر از جمله شرایط دیگر انتخاب تصاویر بود. شکل 2 نشان دهنده روند تغییرات شاخص SAVI برای سه روز منتخب ژوئیه 41، 162 و 284 سال 2009 مطابق با 21 بهمن، 20 خرداد و 18 مهرماه سال 1388-1389 به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L است.

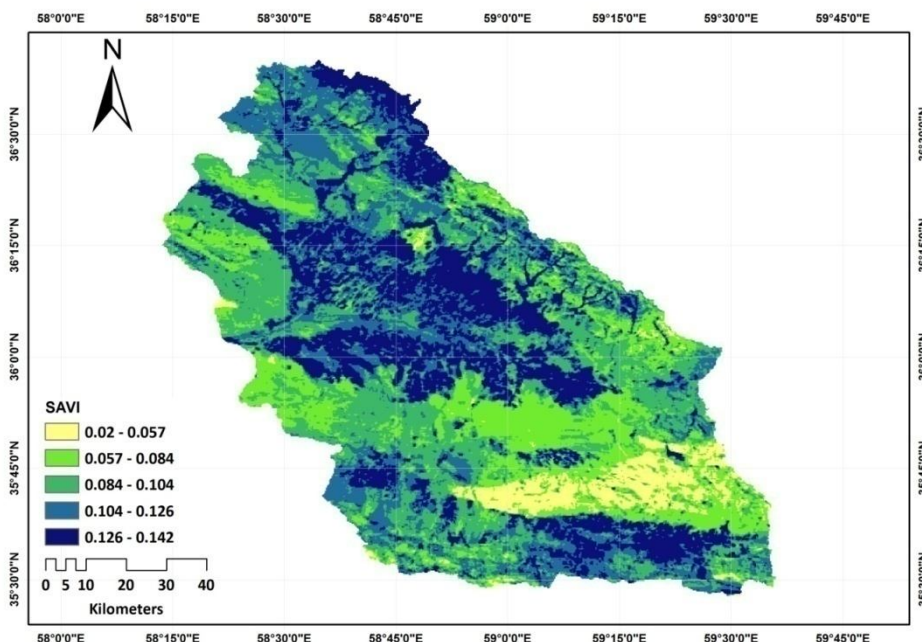
همانطور که قبلاً نیز بیان گردید، دلیل استفاده از شاخص SAVI و کاربرد ضریب L به آن دلیل است که تأثیر رطوبت سطحی خاک بر روی بازتابش ناشی از پوشش گیاهی سطحی به کم‌ترین مقدار برسد. بنابراین لازمه تحلیل بررسی روند تغییرات شاخص SAVI به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L، استفاده از تصاویری است که شامل پوشش سطحی مناسبی باشند. با این حال در سال 2009 از روزهای 21 بهمن و 18 مهر که پوشش گیاهی ضعیف‌تری در قیاس با ماه‌های اردیبهشت تا شهریور بر روی سطح زمین وجود دارد، استفاده شد تا روند تغییرات در این دوره نیز بررسی گردد. آنچنان که در شکل 2 مشخص است در هر سه روز با افزایش مقادیر ضریب L مقدار شاخص SAVI کاهش یافته است که بدیهی نیز می‌باشد، زیرا که به‌ازای مقدار صفر برای ضریب L مقدار شاخص SAVI بیش‌ترین مقدار خود را داشته و با شاخص NDVI برابر خواهد بود. این روند را می‌توان طبق نظر آلن و همکاران (2002) که مقادیر کم‌تر و بیش‌تر ضریب L را به‌ترتیب مختص پوشش‌های گیاهی متراکم و ضعیف می‌دانند این گونه توجیه نمود که در مقادیر بالای ضریب L که بیانگر پوشش گیاهی ضعیف‌تر است، عملاً میزان بازتابش امواج حاصل از پوشش گیاهی (شاخص NDVI) کاهش یافته و به‌تبع آن شاخص SAVI نیز کاهش می‌یابد.

حوضه‌های آبریز کشاورزی دانست زیرا که حدود 47 درصد سطح اراضی حوضه به اراضی کشاورزی (شامل کشاورزی آبی، دیم و باغات) و 48 درصد سطح اراضی به مراتع (درجه یک، دو و سه؛ عمدتاً از نوع درجه سه) اختصاص یافته است (مهندسیین مشاور ساز آب شرق، 1392). از عمده‌ترین محصولات زراعی تحت کاشت در منطقه مورد مطالعه می‌توان به گندم، جو، چغندر، پنبه، یونجه، ذرت علوفه‌ای، سیب‌زمینی و پیاز اشاره نمود. سنجنده MODIS از پیشرفته و کامل‌ترین سنجنده‌های مستقر بر روی ماهواره‌های منابع طبیعی است. قدرت تفکیک طیفی و زمانی مناسب، قدرت تفکیک رادیومتری بالا و در دسترس بودن تصاویر مذکور از جمله ویژگی‌های این سنجنده و دلیل انتخاب آن برای انجام این تحقیق بود. آماده‌سازی تصاویر شامل اصلاحات اتمسفریک و زمین مرجع نمودن آن‌ها در محیط نرم افزار ENVI 4.2 صورت پذیرفت. تصاویر ماهواره‌ای مذکور ابتدا در سیستم مختصات جغرافیایی (Geographic Lat/Lon, WGS-84) زمین مرجع شده و سپس باندهای مورد نیاز این تصاویر که در این تحقیق مورد نیاز بودند، از کل باندهای تصاویر جدا شدند تا زمان پردازش تصاویر کوتاه‌تر گردد. لازم به ذکر است که تصاویر سنجنده MODIS شامل 36 باند است که تنها 9 باند آن‌ها در این تحقیق کاربرد داشته است. طبق نظر آلن و همکاران به‌منظور برآورد مقدار صحیح ضریب L که تأثیرات رطوبتی خاک را بر روی شاخص NDVI به حداقل برساند، بایستی تعداد سه تصویر یا بیش‌تر از منطقه مورد مطالعه را انتخاب و پیکسلی که کم‌ترین تغییرات پوشش سطحی در تمامی تصاویر منتخب را داشته باشد، تعیین نمود. سپس مقدار شاخص SAVI را در همان پیکسل به ازای مقادیر مختلفی از L محاسبه نموده و آن مقداری از ضریب L که کم‌ترین تغییرات شاخص SAVI را ایجاد نماید به‌عنوان مقدار منتخب برگزید (Allen et al., 2002). البته در این تحقیق به‌دلیل آنکه بتوان تأثیر بلند مدتی از زمان و محصولات مختلف بر روی روند تغییرات شاخص SAVI را مورد بررسی قرار داد، به جای پیکسل از یک پلیگون استفاده شد. با استفاده از بازدهی‌های صحرائی، منطقه‌ای که شامل پوشش گیاهی مناسبی بوده، از تنوع کشت برخوردار بوده و به‌صورت منظم آبیاری شود به‌عنوان پلیگون مورد استفاده در این تحقیق استفاده شد.

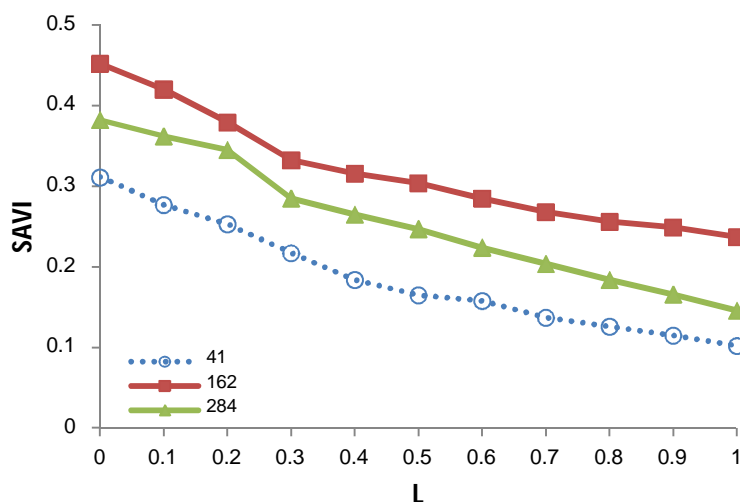
نتایج و بحث

در الگوریتم SEBAL ابتدا شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) محاسبه می‌شود. این شاخص متأثر از وضعیت و میزان پوشش گیاهی در سطح زمین بوده و با استفاده از داده‌های مربوط به باندهای قرمز (ρ_R) و مادون قرمز (ρ_{NIR}) تصاویر ماهواره‌ای، از رابطه 4 محاسبه می‌گردد:

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



شکل 1- تصویر مقادیر شاخص SAVI به ازای مقدار 0/8 برای ضریب L در کل حوضه مورد مطالعه، سال 2009



شکل 2- روند تغییرات شاخص SAVI به ازاء مقادیر مختلف ضریب L در سه روز ژوئیه‌سی 41، 162 و 284 از سال 2009

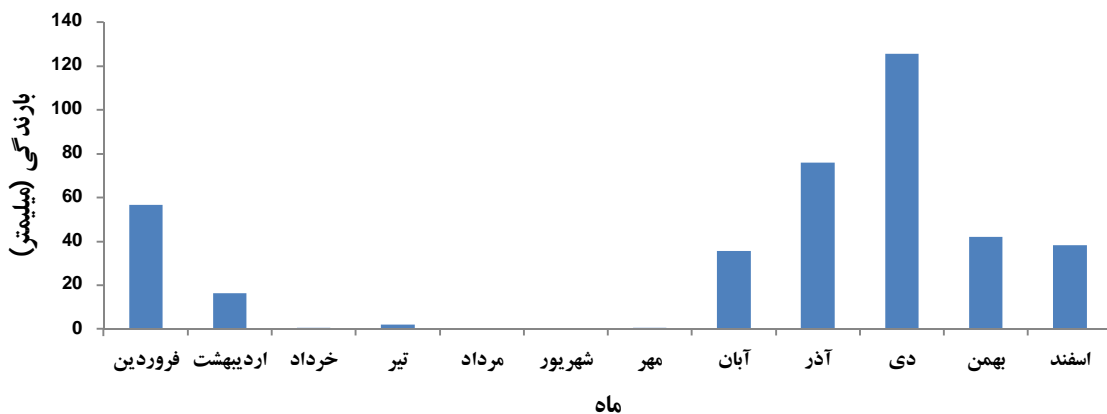
شاخص NDVI و SAVI در این ماه نسبت به ماه‌های دیگر بیشتر باشد. نکته مهم دیگری که در شکل 2 بایستی مورد توجه قرار گیرد، روند کاهش مقدار شاخص SAVI به ازای مقادیر متفاوت ضریب L است که شیب این کاهش به ازای مقادیر کمتر ضریب L، بیشتر است. به بیان دیگر شاخص SAVI به تغییرات ضریب L در مقادیر کمتر این ضریب، بیش‌تر حساسیت نشان داده است. شاید یکی از

آنچنان که انتظار می‌رفت مقادیر بیشتر شاخص SAVI به ازای مقادیر یکسان ضریب L به ترتیب در روزهای 162 (20 خرداد)، 284 (18 مهر) و 41 (21 بهمن) رخ داده است. از آنجا که در حوضه مورد مطالعه و در پلیگون انتخابی، بیش‌ترین سهم زراعت به محصول گندم اختصاص داشته است و بیش‌ترین پوشش و تبخیر- تعرق این محصول در ماه خرداد ماه اتفاق می‌افتد، بدیهی است که مقدار

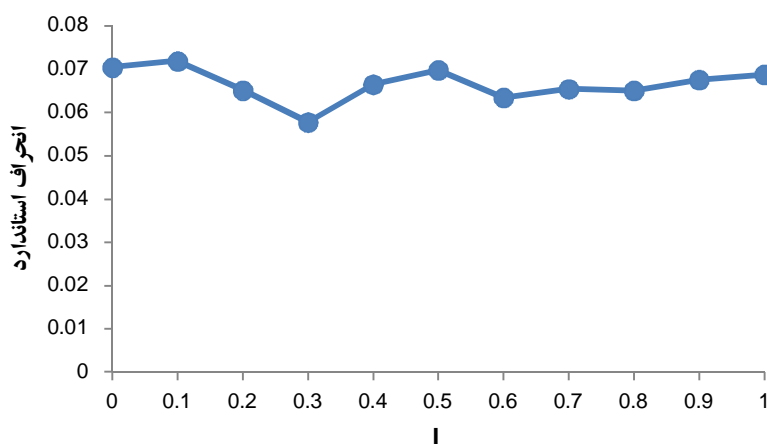
بهینه ضریب L مؤثرترند، اگرچه که وجود حداقل پوشش گیاهی در ماه‌های سرد سال (نظیر بهمن) نیز به دلیل تغییرات رطوبت سطح خاک که از بارندگی منتج می‌گردند می‌تواند رفتار مشابهی از تغییرات شاخص SAVI را برای دستیابی به مقدار بهینه ضریب L به همراه داشته باشد. مقادیر بارندگی در طی سال 2009 در پلیگون مورد نظر در محیط GIS نسخه 9,3 به کمک روش IDW و با استفاده از آمار بارندگی 19 ایستگاه باران‌سنجی موجود در منطقه مورد مطالعه، به دست آمد که نتایج آن در شکل 3 نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود مقدار بارندگی در پلیگون مورد بحث و در ماه بهمن (شامل روز 41) در قیاس با ماه‌های خرداد و مهر (بترتیب شامل روزهای 162 و 284) بمراتب بیشتر است که می‌تواند در روند تغییرات ضریب L، آنچنان که در بالا بحث شد، تأثیرگذار باشد.

شکل 4 بیانگر مقادیر انحراف استاندارد شاخص SAVI در سه روز مورد بحث در سال 2009 به ازای مقادیر مختلف ضریب L است. طبق نظر آلن و همکاران مقداری از ضریب L که کمترین تغییرات شاخص SAVI را به همراه داشته باشد به‌عنوان مقدار بهینه این ضریب انتخاب می‌گردد که با توجه به نتایج شکل 4، مقدار $L=0/3$ این شرایط را داراست (Allen et al., 2002). در شکل 5 نیز مقادیر شاخص SAVI به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L در سال 2010 و به ترتیب در روزهای 91، 132 و 164 ژولایوسی (معادل با 12 فروردین، 22 اردیبهشت و 23 خرداد)؛ سال 2011 و به ترتیب در روزهای 151، 161 و 186 ژولایوسی (معادل با 10 خرداد، 20 خرداد و 14 تیر)؛ سال 2012 و به ترتیب در روزهای 170، 189 و 237 ژولایوسی (معادل با 29 خرداد، 17 تیر و 3 شهریور)؛ و سال 2013 و به ترتیب در روزهای 162، 224 و 258 ژولایوسی (معادل با 20 خرداد، 20 مرداد و 23 شهریور) نشان داده شده است.

مهم‌ترین دلایل این رفتار آن باشد که مقادیر کمتر ضریب L منطبق با مقادیر بیش‌تر شاخص SAVI است و از آنجا که نقش ضریب L در کاهش تأثیر رطوبت سطحی خاک بر روی بازتابش پوشش گیاهی سطحی نمود می‌یابد، بدیهی است که این تأثیر در مقادیر بیش‌تر ضریب L که موجودیت پوشش گیاهی بر روی سطح خاک کم‌تر است در قیاس با مقادیر کم‌تر این ضریب که منطبق با پوشش گیاهی متراکم‌تر است، کم‌تر به چشم می‌آید. آنچه در مورد شکل 2 قابل تأمل است روند تغییرات شاخص SAVI در روز 41 است. انتظار می‌رفت که در این روز مقدار شاخص SAVI تقریباً مستقل از مقادیر ضریب L باشد زیرا که اصولاً در این موقع از سال پوشش گیاهی ضعیفی بر روی سطح زمین وجود دارد ولی بخصوص در مورد مقادیر اندک ضریب L، تأثیر این ضریب بر روی شاخص SAVI قابل تأمل است. شاید بتوان یکی از دلایل این موضوع را به میزان بارندگی بیشتر این روز از سال نسبت به دو روز دیگر منسوب دانست. عبارت دیگر در روز 41 ژولایوسی (21 بهمن) میزان بارندگی بالاست و از طرف دیگر اندک پوشش گیاهی که بر روی سطح زمین وجود دارد باعث شده تا تغییر در بازتابش امواج حاصل از همان پوشش گیاهی اندک، بواسطه مرطوب شدن قابل تأمل سطح خاک در اثر بارندگی در این روز، معنی‌دار شده و این معنی‌داری را بصورت تغییر در مقادیر شاخص SAVI به‌خصوص در مقادیر کمتر ضریب L بروز دهد. در تحلیل این نتایج و با یادآوری شرط آلن و همکاران (2002) برای دستیابی به مقدار بهینه ضریب L که لزوم ثابت ماندن وضعیت پوشش گیاهی مطرح است، اینچنین استنباط می‌شود که در ایامی از سال که وضعیت عمومی پوشش گیاهی بر روی سطح زمین مناسب بوده (ماه‌های اردیبهشت تا شهریور) و تأثیر تغییر رطوبت سطحی خاک نیز در اثر فرآیند آبیاری تأمین می‌گردد، برای دستیابی به مقادیر



شکل 3- مقادیر برآورد شده بارندگی در پلیگون مورد بحث در سال 2009



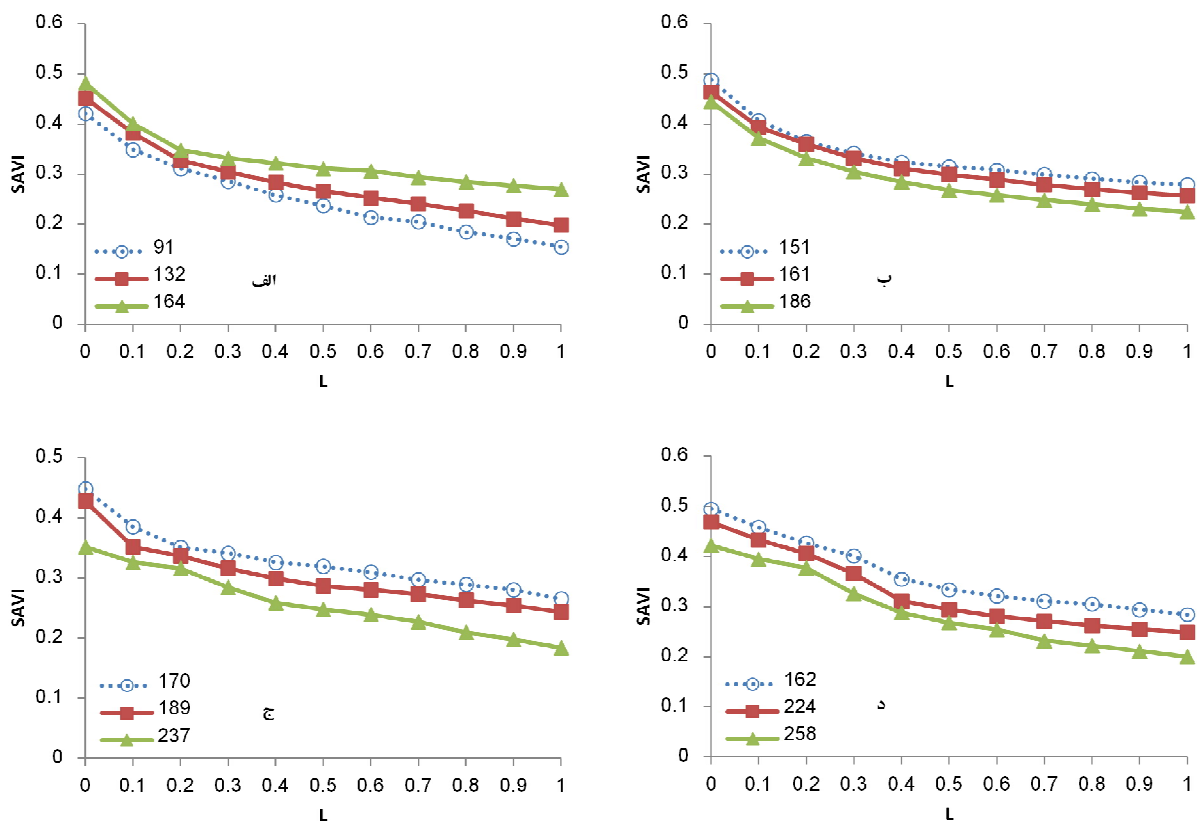
شکل 4- روند تغییرات انحراف استاندارد شاخص SAVI به ازاء مقادیر مختلف ضریب L در سه روز ژوئیه 2009، 162 و 284 از سال 2009

همچنین روند کاهش شاخص SAVI در روز 3 شهریور تقریباً در تمام دامنه مقادیر ضریب L به صورت یکنواخت ادامه داشته است.

روند تغییرات مقادیر شاخص SAVI در شکل 5- د و به ازای سه روز منتخب (روزهای 20 خرداد، 20 مرداد و 23 شهریور سال 2012) در قیاس با شکل 2 و شکل های 5- الف تا 5- ج از شباهت بیش تری به یکدیگر برخوردار بوده و شیب تغییرات شاخص SAVI را می توان در هر سه روز آن تقریباً یکسان دانست. شاید یکی از دلایل این موضوع به انتخاب روزهای مورد نظر در این سال برگردد که همگی در ایامی از سال هستند که مقدار بارندگی بسیار اندک بوده و نقش کنترلی آن در روند تغییرات شاخص SAVI ناچیز می گردد. ضمناً دلیل دیگر این شباهت را می توان به نوع زراعت منطقه مورد نظر منسوب دانست. به غیر از گندم که محصول عمده منطقه مورد مطالعه است؛ پنبه، سیب زمینی و چغندر قند نیز از سایر محصولات عمده هستند که هر سه محصول در ماه شهریور نیز بر روی سطح زمین وجود داشته و به واسطه تأثیر گذاری بر روی بازتابش امواج و عدم وجود بارندگی، منجر به بروز شباهت در روند تغییرات شاخص SAVI در روز 258 ژوئیه (23 شهریور) با روند تغییرات همین شاخص در روز 162 ژوئیه (20 خرداد) ولی با مقادیر کمتر شده اند.

مقایسه شکل های 5- الف تا 5- د نشان می دهد که شاخص SAVI در اکثر روزها و ماه های مختلف، به خصوص در ماه های اردیبهشت تا شهریور، به مقادیر کمتر ضریب L حساسیت بیش تری نشان داده است، اگرچه خلاف این موضوع در شکل 2 در روز 21 بهمن و در شکل 5- ج در روز 3 شهریور نیز رخ داده است. شاید بتوان رفتار تغییرات شاخص SAVI در قیاس با تغییرات ضریب L را در دو دامنه متفاوت مقادیر این ضریب، که مرز جدایی این دو دامنه به ماه مورد نظر بستگی دارد، بررسی نمود.

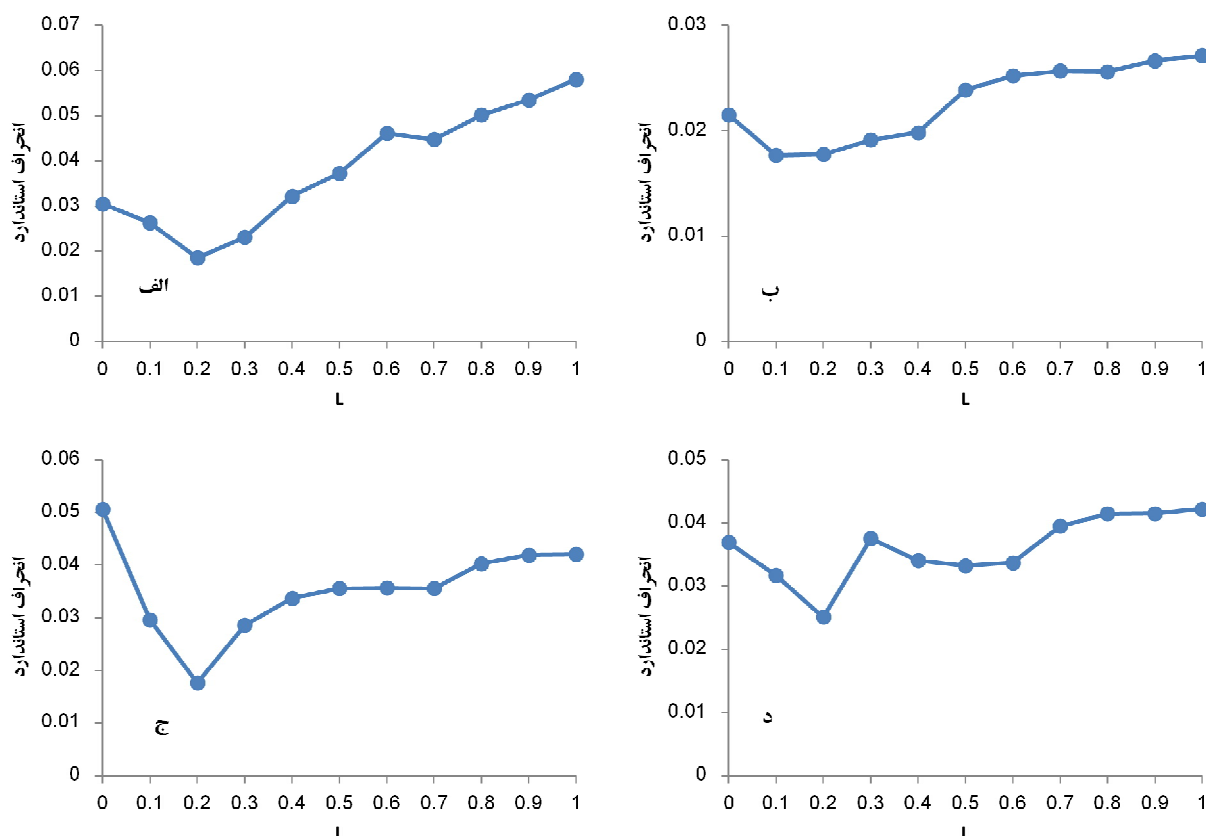
در سال 2010 (شکل 5- الف) سعی شد که از ماه های فروردین (91)، اردیبهشت (132) و خرداد (164) روزهایی برای تعیین مقدار بهینه ضریب L انتخاب گردد. همانطور که انتظار می رفت مقادیر شاخص SAVI به ازای مقادیر ثابت ضریب L بترتیب از روز 164 به روز 91 کاهش می یابد که این امر به دلیل سطح بالای اختصاص یافته به زراعت گندم در پلیگون مورد بحث و به اوج رسیدن دوره رشد و تبخیر- تعرق این محصول و در نتیجه تأثیر آن بر روی بازتابش امواج دریافتی توسط ماهواره در ماه خرداد (روز 164) می باشد. همانطور که در شکل 5- الف ملاحظه می شود شیب تغییرات منحنی در مقادیر بیشتر ضریب L در روزهای 91 و 132 بیشتر از مقدار متناظر آن در روز 164 است که می تواند همانند شکل 2 بواسطه مقدار بارندگی بیشتر آنها در قیاس با روز 164 توجیه گردد. روند تغییرات مقادیر شاخص SAVI در شکل 5- ب و به ازای سه روز منتخب شباهت بیشتری به یکدیگر دارند که دلیل آن نزدیکی دو روز از سه روز مذکور می باشد. روزهای 151 و 161 متعلق به ماه خرداد (بترتیب 10 و 20 خرداد) و روز 186 در ماه تیر واقع شده است. ضمناً روند تغییرات در روز 186 که منطبق با 14 تیر ماه است نیز مشابه دو روز دیگر بوده است که دلیل این رفتار را نیز می توان به نوع محصولات کشت شده در پلیگون مورد بحث، منسوب دانست. به غیر از گندم، چغندر قند و سیب زمینی نیز از محصولات با سطوح کشت قابل توجه منطقه و به خصوص پلیگون مورد نظر هستند که هر دو در تیرماه به بیشترین تراکم پوشش می رسند. شکل 5- ج نیز بیانگر تغییرات شاخص SAVI در روزهای 29 خرداد، 17 تیر و 3 شهریور ماه از سال 2012 است. روند تغییرات شاخص مذکور در این سال نیز طبق نکات بیان شده مطابق با سال های قبل است، اگرچه شاخص مذکور به ازای مقدار صفر برای ضریب L که در واقع مبین شاخص NDVI است، در روز 3 شهریور در قیاس با دو روز دیگر کاهش محسوس داشته است.



شکل 5- روند تغییرات مقادیر شاخص SAVI به ازای مقادیر مختلف ضریب L در روزهای مختلف ژوئیه از سال 2010 (الف)؛ سال 2011 (ب)؛ سال 2012 (ج) و سال 2013 (د)

شکل های 2، 6-الف تا 6-د شاید بتواند ما را در انتخاب مقدار بهینه ضریب L یاری نماید. اگرچه که در شکل 2 (سال 2009) عدد 0/3 برای مقدار بهینه ضریب L به دست آمده، با این حال دامنه تغییرات مقادیر انحراف استاندارد به ازای مقادیر مختلف ضریب L دارای محدوده قابل توجهی نمی باشد؛ به طوریکه بیشترین مقدار این محدوده به ازای اختلاف مقادیر 0/1 و 0/3 از ضریب L بدست آمده و در حدود 0/014 می باشد. از طرف دیگر اختلاف میان مقادیر انحراف استاندارد به دست آمده برای مقادیر 0/2 و 0/3 از ضریب L در حدود 0/007 است که ناچیز و قابل چشم پوشی است. ضمناً این نکته را نیز نباید فراموش نمود که شاید یکی از دلایل احتمالی در بروز عدد 0/3 برای مقدار بهینه ضریب L در سال 2010 (شکل 3) به انتخاب روز 41 ژوئیه (21 بهمن) و اهمیت بیش تر بارندگی در قیاس با وضعیت پوشش گیاهی، در روند تغییرات شاخص SAVI باز گردد.

در مقادیر کمتر ضریب L، که متناظر با پوشش گیاهی با تراکم مناسبی است و مرطوب شدن سطح زمین هم از طریق آبیاری تأمین می گردد، روند تغییرات شاخص SAVI سریع تر می باشد. اما در مورد مقادیر بیش تر این ضریب که متناظر با مقادیر کم تر پوشش گیاهی است، شاید مقدار بارندگی است که عامل اصلی کنترل کننده تغییرات شاخص SAVI می باشد زیرا که از تراکم پوشش گیاهی کاسته شده است و در نتیجه روند تغییرات این شاخص کندتر خواهد بود. در شکل 6 نیز تغییرات انحراف استاندارد مقادیر شاخص SAVI در سه روز منتخب هر سال و به ازای مقادیر مختلف ضریب L نشان داده شده است. همانگونه که در شکل 6 مشخص شده است در سال -های 2010 (الف)، 2012 (ج) و 2013 (د) کمترین مقدار انحراف استاندارد شاخص SAVI در مقدار 0/2 برای ضریب L به وقوع پیوسته است که طبق نظر آلن و همکاران می تواند مستقیماً به عنوان مقدار بهینه این ضریب معرفی گردد (Allen et al., 2002). با این حال در سال 2009 (شکل 2) و سال 2011 (شکل 6-ب) مقدار بهینه ضریب L به ترتیب در مقادیر 0/3 و 0/1 اتفاق افتاده است. کمی تأمل در



شکل 6- انحراف استاندارد مقادیر شاخص SAVI در روزهای منتخب در سال 2010 (الف)، 2011 (ب)، 2012 (ج) و 2013 (د)

ضریب را به خود اختصاص دهد. بنابراین مقدار $0/2$ برای ضریب L در مطالعات مربوط به کاربرد الگوریتم SEBAL در منطقه مورد مطالعه و دست کم برای بازه زمانی سال 2009 تا 2013 پیشنهاد می-گردد.

نتیجه گیری

واسنجی ضریب تجربی به کار رفته در محاسبه شاخص SAVI از الگوریتم SEBAL با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS برای حوضه آبریز نیشابور و در بازه زمانی سال‌های 2009 تا 2013 نشان داد که توصیه آلن و همکاران (2002) مبنی بر کاربرد مقدار $0/5$ برای این ضریب در تمامی مناطق ممکن است با عدم قطعیت‌هایی مواجه گردد. اگرچه در 3 سال از 5 سال مورد بحث در این تحقیق، مستقیماً مقدار $0/2$ برای ضریب L به عنوان مقدار بهینه واسنجی شد، با این حال تحلیل نتایج در دو سال دیگر نیز نشان داد که مقدار $0/2$ می‌تواند به عنوان مقدار بهینه این ضریب برای منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار شاخص SAVI به مقادیر کمتر ضریب L حساسیت بیش تری نشان

در شکل 6- ب نیز اگرچه کم‌ترین مقدار انحراف از استاندارد مقادیر شاخص SAVI به ازای کاربرد مقدار $0/1$ برای ضریب L به دست آمده است، با این حال بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر انحراف استاندارد در حدود $0/009$ است که به ازای کاربرد مقادیر $0/1$ و یک برای ضریب L به دست آمده است. این در حالی است که اختلاف انحراف استاندارد مقادیر شاخص SAVI به ازای مقادیر $0/1$ و $0/2$ برای ضریب L در حدود $0/0001$ خواهد بود که مقداری بسیار ناچیز و قابل صرف نظر می‌باشد. از طرف دیگر بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر انحراف استاندارد شاخص SAVI معادل $0/039$ و $0/033$ است که به ترتیب در سال‌های 2010 و 2012 (شکل 6- الف و 6- ج) به وقوع پیوسته و کم‌ترین مقدار انحراف استاندارد که معادل مقدار بهینه ضریب L می‌باشد نیز در هر دو سال مذکور به ازای $0/2$ برای ضریب L رخ داده است. به بیان دیگر نتایج شکل 6 و مقایسه مقادیر انحراف استاندارد شاخص SAVI در سال‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق بیانگر این حقیقت است که در بیش‌ترین دامنه تغییرات مقادیر انحراف از استاندارد شاخص SAVI، مقدار $0/2$ برای ضریب L توانسته منجر به کم‌ترین انحراف استاندارد گشته و مقدار بهینه این

- Gonzalez Dugo, M.P., Neale, C.M.U., Mateos, L., Kustas, W.P., Prueger, J.H., Anderson, M.C and Li, F. 2009. A comparison of operational remote sensing-based models for estimating cropevapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 1843-1853.
- Hong, S.H., Hendrickx, S.H and Borchers, B. 2009. Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30m) to MODIS (250m) scale. *Journal of Hydrology*. 370: 122-138.
- Karatas, B.S., Akkuzu, E., Unal, H.B., Asik, S and Avci, M. 2009. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in Water User Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. *Agricultural Water Management*. 96: 982-990.
- Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M and Running, S.W. 2007. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*. 111: 519-536.
- Mutiga, J.K., Su, Z and Woldai, T. 2010. Using satellite remote sensing to assess evapotranspiration: Case study of the upper EwasoNg'iro north basin, Kenya. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 125: S100-S108.
- Rwasoka, D.T., Gumindoga, W and Gwenzu, J. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the surface energy balance system (SEBS) algorithm in the upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Physics and chemistry of the earth*. 36: 736-746.
- Shu, Y., Stisen, S., Jensen, K.H and Sandholt, I. 2011. Estimation of regional evapotranspiration over the North China Plain using geostationary satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo information*, 13: 192-206.
- داده است. همچنین توصیه می‌گردد که به منظور تعیین مقدار بهینه ضریب L از تصاویر ماهواره‌ای در ایامی از سال استفاده گردد که پوشش گیاهی مناسبی بر روی سطح زمین وجود داشته و تأثیرات رطوبتی سطح خاک در حضور پوشش گیاهی تحلیل گردد.
- ### مراجع
- حسن پور، ب، میرزایی، ف، ارشد، ص و کوثری، ه. 1391. مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه کرج. نشریه آب و خاک، 26,6: 1360-1371.
- خاوریان نهزک، ح. 1383. برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- قمرنیا، و رضوانی، س.و. 1393. محاسبه و بهینه‌بندی تبخیر - تعرق با استفاده از الگوریتم سبال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان - دربند). نشریه آب و خاک. 28,1: 72-81.
- مهندسین مشاور سازآب شرق 1392. مطالعات بهم پیوسته منابع آب حوضه نیشابور، گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی و خاکشناسی، مشهد.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R and Bastiaanssen, W.G.M. 2002. SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land, Advanced Training and Users Manual. Version 1.0.
- Bastiaanssen, W.G.M. 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 229: 87-100.
- Gebremichael, M., Wang, J and Sammis, T.W. 2010. Dependence of remote sensing evapotranspiration algorithm on spatial resolution. *Atmospheric research*. 96: 489-495.

Calibration of Soil Moisture Correction Coefficient used in Surface Energy Balance Algorithm for Land

R. Moazenzadeh^{1*} and B. Ghahraman²

Received: Jul.13, 2015

Accepted: Dec.09, 2015

Abstract

Surface energy balance algorithm for land (SEBAL) is one of the actual evapotranspiration predictor algorithms which are based on remote sensing. To determine outgoing long wave radiation from land surface in this algorithm, an index named soil adjusted vegetation index (SAVI) is used. In calculating SAVI, an equation consists an empirical coefficient (L) calibrated based on Idaho satellite images, USA, is used. In this study using MODIS satellite images of neyshabour watershed during 2009 to 2013, the mentioned coefficient was calibrated. The results showed the proposed value nearly $L=0.5$ for all areas may not evaluate adequately and it is better to calibrate this coefficient before using in SEBAL algorithm in each area. The results showed the trend of SAVI changes and thus determine the optimum value of L coefficient is sensitive to the time of satellite images and it is better to use the months with appropriate vegetation cover on the land surface. The results also showed the values of SAVI index are more sensitive to lower values of L coefficient. Results' analysis showed the proposed value of 0.2 for L coefficient application in studies related to SEBAL algorithm in this area is properly assessed.

Keywords: Evaluation, Remote sensing, Vegetation cover, Watershed

1- Assistant Professor, Department of Soil and Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Iran

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

(*-Corresponding Author, Email: romo_sci@shahroodut.ac.ir)