

بررسی تأثیر عدم قطعیت ناشی از ضریب تصحیح رطوبتی خاک در برآورد تبخیر - تعرق واقعی

روزبه موذن زاده¹

تاریخ دریافت: 1395/2/8 تاریخ پذیرش: 1395/7/28

چکیده

از آنجا که مقدار قابل توجهی از بارندگی در حوضه‌های آبریز با کاربری کشاورزی صرف تبخیر - تعرق می‌گردد، بنابراین عامل مذکور نقش مهمی در بیلان آب و مدیریت منابع آب ایفا می‌نماید. بنابراین برآورد صحیح این مولفه بسیار حائز اهمیت است. الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین (سبال) یکی از روش‌های برآورد تبخیر - تعرق واقعی می‌باشد که بر مبنای تکنیک سنجش از دور استوار است. در ساختار الگوریتم مذکور از شاخص‌ها و ضرایب تجربی مختلفی استفاده می‌شود که هر کدام در برآورد تبخیر - تعرق واقعی موثر می‌باشند. در این تحقیق تأثیر عدم قطعیت ناشی از مقادیر شاخص تعدیل خاک، پوشش گیاهی در قالب الگوریتم سبال، بر روی برآورد مقادیر تبخیر - تعرق واقعی در بخشی از حوضه آبریز نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین مقدار بهینه شاخص مذکور از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی مودیس در سال‌های 1392 و 1393 استفاده شد و تأثیر عدم قطعیت ناشی از مقادیر مختلف این شاخص بر روی برآورد مقادیر تبخیر - تعرق واقعی در سال 1393 مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه‌ی مقادیر برآوردی تبخیر - تعرق و مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی میکروولاسیمتری آن در پلیگون مورد بحث نشان داد که کم‌ترین و بیش‌ترین خطای برآورد تبخیر - تعرق به ترتیب به ازای مقدار $0/2$ ($R^2=0.99$, $RMSE=0.07$) و یک ($R^2=0.12$, $RMSE=0.6$) برای ضریب L در ساختار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به دست آمد. همچنین نتایج آزمون تی تست اختلاف معنی‌داری در سطح 95 درصد ($p < 0.05$) بین مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده‌ی تبخیر - تعرق واقعی برای تمامی مقادیر ضریب L به جز مقدار $0/2$ را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، پوشش گیاهی، تصاویر ماهواره‌ای، توازن انرژی، میکروولاسیمتر

مقدمه

اخیراً 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 برخی از فرآیندهای پیچیده‌ی هیدرولوژیکی موثر در معادله‌ی بیلان آب، از دیگر مزایای استفاده از تکنیک سنجش از دور در برآورد تبخیر - تعرق واقعی به شمار می‌رود (Hong et al., 2009 و Karatas et al., 2009). از آنجا که تبخیر - تعرق در بعد مکان به واسطه‌ی تغییرات در بارندگی، خصوصیات هیدرولیکی خاک‌ها و تراکم و نوع پوشش گیاهی و در بعد زمان به واسطه‌ی تغییرات پارامترهای اقلیمی، تغییر می‌کند، تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند ابزار بسیار مفیدی در تهیه‌ی نقشه‌ی ساختار تغییرات مکانی و زمانی تبخیر - تعرق محسوب شوند (Gonzalez et al., 2009). الگوریتم توازن انرژی در سطح زمین² (سبال) اولین بار توسط باستیانسن 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

شناخت و فهم دقیق فرآیند تبخیر - تعرق که از اساسی‌ترین اجزای معادله‌ی بیلان آب به شمار می‌رود، نقش مهمی در توسعه‌ی پایدار منابع آبی دارد. در نواحی خشک و نیمه خشک، آبیاری در بخش کشاورزی مصرف کننده‌ی اصلی آب به شمار می‌رود و بکارگیری روشی موثر و قابل اعتماد در تعیین آب مصرفی گیاهان نقش مهمی در مدیریت منابع آب به همراه خواهد داشت. اگرچه تبخیر - تعرق را می‌توان با درجه‌ی اعتماد به نسبت بالایی با روش‌هایی هم‌چون لایسیمتر وزنی، تکنیک همبستگی گردابی و تکنیک نسبت باون به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود، با این حال هر کدام از این روش‌ها به‌ویژه در بلند مدت محدودیت‌های اجرایی خاص خود را دارد (Mu et al., 2007). مهم‌تر آن که 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

1- استادیار گروه مهندسی آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
Email: romo_sci@shahroodut.ac.ir

اثر گذارند، در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده‌ی مودیس در سال‌های 1392 و 1393، ابتدا مقدار ضریب L برای حوضه‌ی آبریز نیشابور واسنجی و سپس عدم قطعیت ناشی از آن در برآورد تبخیر- تعرق واقعی در سال 1393 مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

از آنجا که هدف اصلی این تحقیق بررسی عدم قطعیت بخشی از ساختار الگوریتم سبال در برآورد تبخیر- تعرق واقعی است، بنابراین به صورت جزئی درباره‌ی این الگوریتم بحث نشده و تنها به مروری بر مراحل دستیابی به پارامتر تبخیر- تعرق واقعی اکتفا شده است. در الگوریتم سبال شار تبخیر- تعرق واقعی در هر پیکسل از تصاویر ماهواره‌ای به صورت یک جمله‌ی باقی‌مانده از معادله‌ی توازن انرژی در سطح زمین (معادله‌ی 1) به دست می‌آید:

$$R_{\eta} = G + H + \lambda ET \quad (1)$$

که در آن G شار گرمای خاک، H شار گرمای محسوس، R_{η} شار تابش خالص در سطح زمین و λET شار گرمای نهان می‌باشند (وات بر متر مربع). شار تابش خالص در سطح زمین به کمک بیلان تمامی شارهای تابش ورودی و خروجی از این سطح و با استفاده از معادله‌ی 2 برآورد می‌گردد.

$$R_{\eta} = (1 - \alpha)R_{\downarrow} + R_{\uparrow} - R_{\downarrow} - (1 - \epsilon)R_{\uparrow} \quad (2)$$

که در آن R_{\downarrow} تابش با طول موج کوتاه رسیده به سطح زمین (وات بر متر مربع)، R_{\uparrow} تابش با طول موج بلند رسیده به سطح زمین (وات بر متر مربع)، R_{\downarrow} تابش با طول موج بلند خروجی از سطح زمین (وات بر متر مربع)، α ضریب آلبیدوی سطحی و ϵ گسیلمندی حرارتی سطحی است که تمامی آن‌ها بر اساس روابط موجود در راهنمای کاربران الگوریتم سبال در نظر گرفته شده‌اند (Allen et al., 2002). شار گرمای خاک (G)، میزان ذخیره‌ی گرما در داخل خاک و پوشش گیاهی، در اثر هدایت مولکولی است. ارزیابی این مولفه کار به نسبت سختی است، با این حال در نسخه‌ی کاربران سبال، نسبت $\frac{G}{R_{\eta}}$ به صورت معادله‌ی تجربی 3 تعریف شده است (Bastiaanssen et al., 2000):

$$\frac{G}{R_{\eta}} = \frac{T_s}{T_a} [0.0032\alpha + 0.0062\alpha^2][1 - 0.978NDVI^4] \quad (3)$$

که در آن T_s و NDVI به ترتیب تصاویر دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی² است. شار گرمای محسوس (H) نیز طی یک فرآیند طولانی و در قالب یک چرخه، از ارتباط خطی میان دما و اختلاف دمای (دمای هوا و دمای سطح زمین) دو پیکسل معرف (سرد و گرم) حاصل می‌گردد. بدیهی است که انتخاب صحیح این دو پیکسل نقش مهمی در برآورد شار گرمای

داشته و از حداقل داده‌های زمینی در برآورد تبخیر- تعرق واقعی استفاده می‌گردد.

الگوریتم سبال در داخل ساختار خود از ضرایب و روابط تجربی متفاوتی استفاده می‌نماید. یکی از این ضرایب تجربی، ضریب تصحیح رطوبتی خاک (L) است که در محاسبه‌ی شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی¹ به کار می‌رود. در نسخه‌ی راهنمای کاربران این الگوریتم، مقدار 0/5 برای ضریب مذکور پیشنهاد داده شده که در اکثر مطالعاتی که از این الگوریتم استفاده نموده‌اند نیز همین مقدار لحاظ شده است. به عنوان مثال مقایسه‌ی نتایج حاصل از برآورد تبخیر- تعرق واقعی به کمک الگوریتم سبال (با احتساب مقدار 0/5 برای ضریب L) با مقادیر واقعی نشان داد که مقادیر اندک تبخیر- تعرق (کم‌تر از یک میلی‌متر در روز) با کم‌برآورد و مقادیر بالای تبخیر- تعرق با بیش-برآورد 20 درصدی همراه بوده است (Gebremichael et al., 2010). برای دستیابی به تبخیر- تعرق واقعی در حوضه ایواسو در کشور کنیا، با استفاده از الگوریتم سبال و پذیرش مقدار 0/5 برای ضریب L اقدام به برآورد و تخمین توزیع مکانی تبخیر- تعرق واقعی در حوضه آبریز منیامی شده است (Rwasoka et al., 2011). در تحقیق دیگری مقادیر تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تکنیک سنجش از دور برآورد و با ضریب همبستگی 0/51 به مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده مرتبط شده است (Sun et al., 2009). در این تحقیق نیز همان مقدار 0/5 برای ضریب L پذیرفته شده است. در تحقیقی مقدار بهینه ضریب L با مقایسه مقادیر مختلف شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در بخشی از دشت مشهد و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، یک به دست آمده است (مکاری و همکاران، 1394). در تحقیق دیگری ضریب مذکور برای 26 نمونه خاک واسنجی و مقدار بهینه‌ی آن 0/16 تعیین شده است (Rondeaux et al., 1996). نتایج مطالعه‌ی دیگری نشان دهنده آن است که مقدار ضریب مذکور تابعی از شاخص سطح برگ بوده و مقادیر بهینه 0/15، 0/4 و 0/6 برای آن گزارش شده است (Bausch., 1993).

گرچه مقدار 0/5 برای کاربرد ضریب L در محاسبه‌ی شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی پیشنهاد شده، با این حال شیوه‌ی برآورد مقدار بهینه‌ی آن نیز معرفی شده است (Allen et al., 2002). بر این اساس مقداری از ضریب L که بتواند کم‌ترین مقدار انحراف استاندارد شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی را برای سه یا تعداد بیش‌تری تصویر ایجاد نماید به عنوان مقدار بهینه انتخاب می‌گردد. از آنجا که ضرایب تجربی به کار رفته در ساختار الگوریتم سبال بر اساس تصاویر ماهواره‌ای منطقه‌ی آیداهو استخراج شده و با توجه به آن که مقادیر ضرایب مذکور در نهایت بر روی برآورد مقادیر تبخیر- تعرق واقعی

به منظور برآورد صحیح ضریب L، سه تصویر مربوط به سال 1392 و سه تصویر مربوط به سال 1393 در روزهای متفاوتی از این سالها انتخاب گردید. اگرچه بررسی تغییرات انحراف استاندارد شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی برای یک پیکسل در سه زمان مختلف به عنوان روش پیشنهادی در تعیین مقدار بهینه‌ی این ضریب کافی فرض شده است (Allen et al., 2002). با این حال در این تحقیق سعی شد به جای یک پیکسل از یک پلیگون استفاده شود تا بتوان تاثیر ناشی از کشت‌های متفاوت را نیز بر روی رفتار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی تحلیل نمود. مساحت این پلیگون در حدود 9271 هکتار بوده و حدود 27 و 40 درصد آن به ترتیب به کشت‌های گندم، سیب‌زمینی و چغندر قند اختصاص یافته است.

برای تعیین مقدار بهینه‌ی ضریب تصحیح رطوبتی خاک از تصاویر مودیس در تاریخ 17 فروردین، 18 اردیبهشت و 25 خرداد سال 1392 و تاریخ 14 خرداد، 22 خرداد و 10 تیر سال 1393 استفاده شد. همچنین به منظور بررسی عدم قطعیت ناشی از اعمال مقادیر مختلف این ضریب بر روی برآورد مقادیر تبخیر - ترقق واقعی نیز از تصاویر مربوط به روزهای 3، 8، 13، 18 و 24 خردادماه استفاده شد. آماده‌سازی تصاویر شامل اصلاحات اتمسفریک و زمین مرجع نمودن آن‌ها در محیط نرم افزار ENVI 4.2 و در سیستم مختصات جغرافیایی صورت پذیرفت. ذکر این نکته ضروری است که اگرچه در این تحقیق به منظور تعیین مقادیر بهینه‌ی ضریب تصحیح رطوبتی از یک پلیگون با کشت‌های مختلف در زمان‌های متفاوت استفاده شد، با این حال به منظور بررسی عدم قطعیت ناشی از مقادیر مختلف ضریب مذکور، تنها از پیکسل‌هایی استفاده شد که میکرو لایسیمترهای مورد استفاده در آن‌ها واقع شده بودند. به منظور اندازه‌گیری تبخیر - ترقق واقعی از تعداد 20 میکرو لایسیمتر استفاده شد. پس از مشاوره با متخصص بخش زراعت، میکرو لایسیمترها از جنس پلیکا و با ارتفاع 100 و قطر 20 سانتی‌متر طراحی شدند. در انتهای میکرو لایسیمترها منافذی ایجاد گردید تا در صورت وجود آب اضافی امکان زهکشی آن وجود داشته باشد. لازم به توضیح است که این میکرو لایسیمترها تنها در داخل منطقه‌ای از پلیگون مورد بحث تعبیه شدند. مساحت این منطقه حدود 25 هکتار (500×500 متر) بود و تنها محصول گندم در آن کاشت می‌شد. نحوه‌ی تعیین این منطقه به این صورت بود که ابتدا مختصات زمینی چهار گوشه منطقه مذکور بر روی زمین برداشت و با انطباق بر روی تصویر ماهواره‌ای، نزدیک‌ترین چهار پیکسل به منطقه‌ی مذکور مشخص شدند. سپس با قرائت مختصات چهار راس این چهار پیکسل مجاور هم از روی تصویر ماهواره‌ای، مرز منطقه مورد مطالعه بر روی زمین مشخص شد. داخل هر پیکسل پنج میکرو لایسیمتر مشابه شکل 1 قرار داده شد. متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر - ترقق در 20 میکرو لایسیمتر به عنوان مقادیر اندازه‌گیری شده نهایی و متوسط مقادیر تبخیر - ترقق

محسوس و در نهایت تبخیر - ترقق واقعی خواهد داشت ولی روش تعیین صحیح آن نیز بیان شده است (Allen et al., 2002). در این تحقیق ابتدا به کمک بازدید مزرعه‌ای، مختصات مکانی نقاط کاندید برای پیکسل‌های سرد و گرم برداشت شدند. سپس بر روی تصاویر ماهواره‌ای، پیکسل‌ها نهایی شدند.

الگوریتم سبال در محاسبه‌ی شار تابش خالص در سطح زمین از دو شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی و شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی استفاده می‌نماید. شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی متاثر از وضعیت و میزان پوشش گیاهی در سطح زمین بوده و از رابطه‌ی 4 محاسبه می‌گردد:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R} \quad (4)$$

که در آن (P_R) داده‌های مربوط به باند قرمز و (P_{NIR}) داده‌های مربوط به باند مادون قرمز نزدیک تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند. 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 تاثیر قرار دهد، بنابراین در الگوریتم سبال از شاخص دیگری به نام شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی استفاده می‌شود که مقدار آن به ازای مقادیر متفاوت ضریب L از رابطه 5 قابل برآورد است:

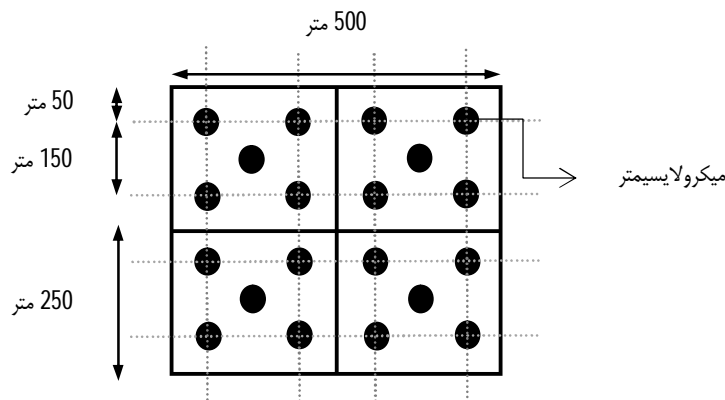
$$SAVI = \frac{P_{NIR} - P_R}{P_{NIR} + P_R + L} (1 + L) \quad (5)$$

که در آن L فاکتور تصحیح اثرات زمینه خاک است و از صفر برای پوشش گیاهی متراکم تا یک برای تراکم‌های کم‌تر، تغییر می‌نماید. به بیان دیگر ضریب L سعی در کاهش تاثیر رطوبت سطح خاک بر روی بازتابش پوشش گیاهی دارد.

در این تحقیق ابتدا مقدار بهینه‌ی ضریب تصحیح رطوبتی خاک برای حوضه‌ی آبریز نیشابور تعیین و سپس عدم قطعیت ناشی از انتخاب نادرست آن بر روی برآورد مقادیر تبخیر - ترقق واقعی بررسی شد. حوضه‌ی آبریز نیشابور در شرق حوضه‌ی آبریز کویر مرکزی، در استان خراسان رضوی و در محدوده 13° - 58° تا 3° - 59° طول شرقی و 4° - 35° تا 39° - 36° عرض شمالی واقع شده است. وسعت این حوضه - ی آبریز در حدود 9158 کیلومتر مربع است. حوضه‌ی آبریز نیشابور را از لحاظ کاربری می‌توان جز 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 (مهندسین مشاور ساز آب شرق، 1392). از عمده‌ترین محصولات زراعی تحت کاشت در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان به گندم (56793 هکتار)، جو (24257 هکتار)، چغندر قند (11142 هکتار)، پنبه (9030 هکتار)، یونجه (2358 هکتار)، سیب‌زمینی (160 هکتار) و پیاز (170 هکتار) اشاره نمود.

سینوپتیک نیشابور به مختصات 16° - 36° شمالی و 48° - 58° شرقی و به ارتفاع 1213 متر استفاده شد. پلیگون مورد بحث که به منظور تعیین مقدار بهینه‌ی ضریب تصحیح رطوبتی خاک مورد استفاده قرار گرفت و در بالا به آن اشاره شد نیز به نحوی انتخاب گردید که به ایستگاه هواشناسی مذکور نزدیک باشد تا شرایط آب و هوایی ایستگاه و پلیگون تا حد امکان مشابه هم باشند.

در چهار پیکسل مذکور به عنوان مقادیر برآورد شده نهایی حاصل از الگوریتم سبال در روزهای 3، 8، 13، 18 و 24 خردادماه با یکدیگر مقایسه شدند. آبیاری میکروولایسیمترها دقیقاً مشابه با آبیاری مزارع گندم اطراف و به روش نوارهای تیپ انجام شد. بخشی از اجرای مراحل الگوریتم سبال نیازمند داده‌های هواشناسی است که در این تحقیق از داده‌های هواشناسی (نظیر سرعت باد، دمای هوا، میزان بارندگی، رطوبت نسبی و ...) ایستگاه



شکل 1- نحوه توزیع میکروولایسیمترها در منطقه مورد مطالعه (25 هکتار) در داخل پلیگون مورد بحث (9271 هکتار)

اردیبهشت و 25 خرداد) در سال 1392 و روزهای ژوئیه 155، 163 و 182 (به ترتیب معادل 14 خرداد، 22 خرداد و 10 تیر) در سال 1393 به دست آمده‌اند را برای کل پلیگون مورد بحث نشان می‌دهد. نتایج شکل 2- الف بیانگر آن است که مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی با افزایش مقادیر ضریب L در هر سه روز ژوئیه‌ی منتخب در سال 1392 روند نزولی داشته که تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و تامل در ساختار رابطه‌ی 5 نیز تأکیدی بر این موضوع است. لازم به ذکر است که بیش‌ترین مقدار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی معادل شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی است که به‌ازای مقدار صفر برای ضریب L از رابطه‌ی 5 به‌دست می‌آید. در این تحقیق برخلاف توصیه‌ی آلن و همکاران (2002) و در راستای تحلیل دقیق‌تر و جامع‌تر رفتار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی، به‌جای استفاده از یک پیکسل و یک ماه خاص از یک پلیگون در ماه‌های مختلف سال استفاده شد.

همان‌طور که در شکل 2- الف مشخص است شیب تغییرات مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در روزهای منتخب از ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش‌تر از مقدار مشابه در ماه خرداد است که می‌تواند به‌واسطه مقادیر بیش‌تر بارندگی در ماه‌های مذکور (شکل 3) و تاثیر آن بر روی رطوبت سطحی خاک و بازتابش امواج از سطح زمین توجیه گردد. به بیان دیگر آن‌چه روند تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی را کنترل می‌نماید، تغییر در بازتابش امواج

معیارهای ارزیابی ناشی از عدم قطعیت مقادیر ضریب تعدیل رطوبتی خاک

به منظور مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق واقعی (مقادیر میکروولایسیمتری) با مقادیر برآورد شده از طریق الگوریتم سبال و به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا، متوسط خطا و ضریب تعیین استفاده شد که به ترتیب از روابط 6 تا 8 محاسبه شدند. هم‌چنین به منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت میان مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده تبخیر- تعرق از آزمون تی تست استفاده گردید.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n (ET_{mea} - ET_{pre})^2 / n \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$ME = \left[\sum_{i=1}^n (ET_{mea} - ET_{pre}) \right] / n \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \sum_{i=1}^n (ET_{mea} - ET_{pre})^2 / \sum_{i=1}^n (ET_{mea} - \text{mean}(ET_{mea}))^2 \quad (8)$$

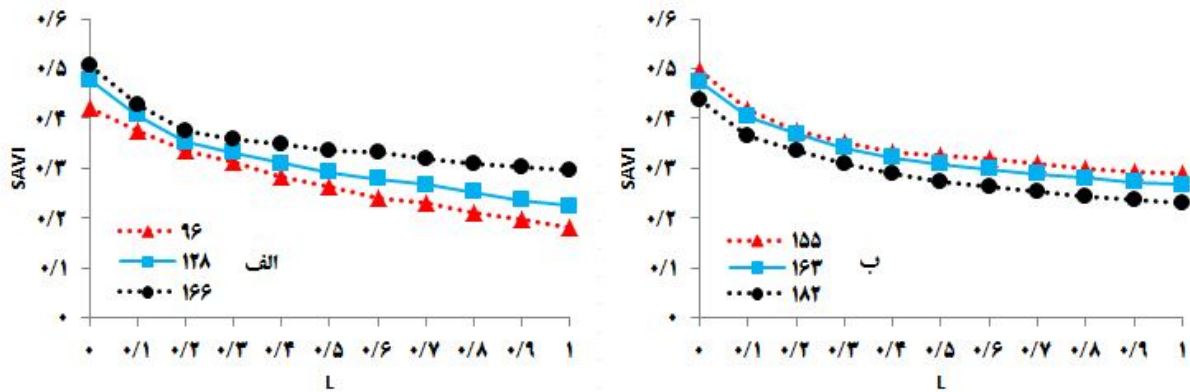
که در آن ET_{mea} ، ET_{pre} و $\text{mean}(ET_{mea})$ به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری، برآورد شده و متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق واقعی می‌باشند.

نتایج و بحث

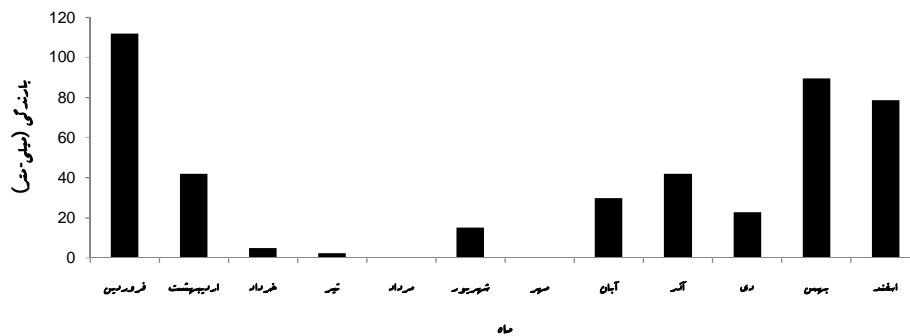
شکل 2 روند تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L (صفر تا یک) که از تصاویر ماهواره‌ای روزهای ژوئیه 96، 128 و 166 (به ترتیب معادل 17 فروردین، 18

در خرداد ماه، به دلیل عدم وجود بارندگی، شیب تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی ناچیز گشته و از حساسیت این شاخص در قبال تغییرات ضریب L کاسته شده است.

سطحی زمین است که تا حدود زیادی توسط تغییرات رطوبت سطحی خاک کنترل می‌گردد و وقوع آن در ماه‌های فروردین و اردیبهشت، علاوه بر فرآیند آبیاری، از طریق بارندگی نیز تشدید می‌گردد. از این رو



شکل 2- مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ازای مقادیر مختلف ضریب L در روزهای منتخب سال 1392 (الف) و 93 (ب)

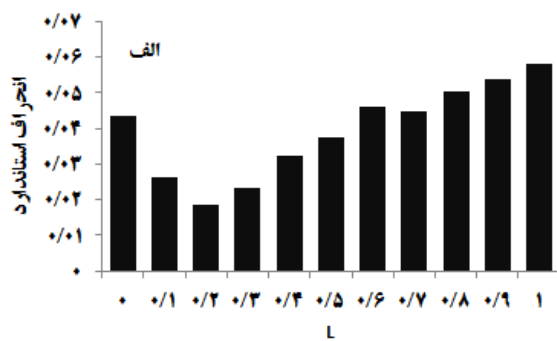


شکل 3- مقادیر برآورد شده بارندگی در پلیگون مورد نظر برای سال 1392

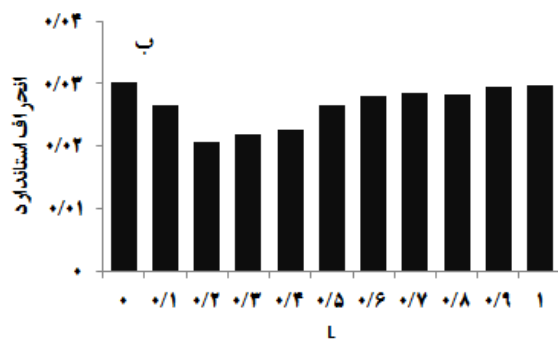
برقرار است. آن‌چنان که در این شکل نیز مشخص است تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به مقادیر کم‌تر ضریب L حساسیت بیشتری نشان داده است (در هر سه روز منتخب) و با توجه به آنکه مقادیر کم‌تر ضریب L منطبق با پوشش گیاهی متراکم‌تر است، منطقی به نظر می‌رسد. به بیان دیگر بیش‌ترین مقدار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ازای مقدار صفر برای ضریب L بوقوع می‌پیوندد که منطبق بر بیش‌ترین تراکم پوشش گیاهی است. آن‌چنان که ملاحظه می‌گردد در تمامی مقادیر ضریب L، مقدار این شاخص در روز 10 تیرماه کم‌تر از مقادیر مشابه آن در دو روز دیگر است که دلیل آن برداشت گندم پیش از تاریخ مذکور از روی سطح زمین و تاثیر آن بر روی شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی و در نتیجه شاخص مذکور می‌باشد. در شکل 4 نیز میزان انحراف استاندارد مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ازای مقادیر مختلف ضریب L به منظور پیشنهاد مقدار بهینه این ضریب نشان داده شده است. مطابق با نتایج شکل 4

نکته دیگر در مورد شکل 2- الف آن است که بطور کلی در یک مقدار مشخص از ضریب L، مقدار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی از روز 96 تا 166 افزایش نشان داده که این امر را می‌توان بر اساس نوع کشت در پلیگون مورد بحث تحلیل نمود. از آن‌جا که سطح زیادی از پلیگون مذکور تحت کشت گندم بوده و این محصول در خرداد ماه به حداکثر پوشش خود می‌رسد، انتظار می‌رود که بیش‌ترین مقدار شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ازای مقدار مشخصی از ضریب L در همین ماه رخ دهد. به بیان دیگر آن‌چه به روند تغییرات شاخص مذکور در قیاس با مقادیر ضریب L مفهوم می‌بخشد، وجود عوامل تاثیر گذار بر روی رطوبت سطحی خاک در حضور پوشش گیاهی مناسب بر روی سطح زمین است، زیرا که این شاخص با شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی تعریف می‌گردد. در شکل 2-ب نیز روند مشابهی برای روزهای ژوئیه 155، 163 و 182 که منطبق بر روزهای 14 و 22 خرداد و 10 تیر ماه هستند،

بیشترین مقدار انحراف استاندارد به حدود 0/04 رسیده در حالی که مقدار مشابه برای سال 1393 در حدود 0/01 به دست آمده است. از دلایل این امر می توان به تاثیر وقوع بارندگی بر روی روند تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در روزهای منتخب سال 1392 در قیاس با سال 1393 اشاره نمود.



و طبق نظر آن و همکاران (2002)، در هر دو سال مورد استفاده در این تحقیق، مقدار 0/2 برای ضریب L کمترین میزان انحراف استاندارد در مقادیر این شاخص را به همراه داشته و به عنوان مقدار بهینه این ضریب معرفی می گردد. با این حال نتایج بیانگر آن است که شاخص مذکور در سال 1392 (شکل 4-الف) به مقادیر ضریب L حساسیت بیش تری نشان داده است به طوری که اختلاف کمترین و



شکل 4- مقادیر انحراف استاندارد شاخص SAVI به ازای مقادیر مختلف ضریب L، سال 1392 (الف) و سال 1393 (ب)

تبخیر - تعلق واقعی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور متوسط مقادیر تبخیر - تعلق واقعی در منطقه منتخب (شامل چهار پیکسل دربرگیرنده میکروولایسیمترهای حاوی کشت گندم) به ازای مقادیر مختلف این ضریب در قالب الگوریتم سبال برآورد و با متوسط مقادیر تبخیر - تعلق میکروولایسیمترهایی که در داخل همان چهار پیکسل قرار داشتند مقایسه شدند. با استفاده از الگوریتم سبال مقادیر شاخص SAVI به ازای مقدار مشخصی از ضریب L از رابطه 5 و مقادیر تبخیر - تعلق واقعی به عنوان جمله باقیمانده از رابطه 1 برای تمامی پیکسل های تصویر برآورد گردید. شکل 5 تصویر مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی را در خرداد ماه سال 1393 به ازای مقدار 0/2 برای ضریب L نشان می دهد. آن چنان که در شکل مذکور مشاهده می شود مقدار شاخص مذکور در کل حوضه آبریز مورد مطالعه در محدوده صفر تا 0/61 متغیر بوده در حالی که مقدار شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی در همین سال در محدوده صفر تا 0/7 قرار داشته که این تفاوت به دلیل اتخاذ مقدار 0/2 برای ضریب L می باشد.

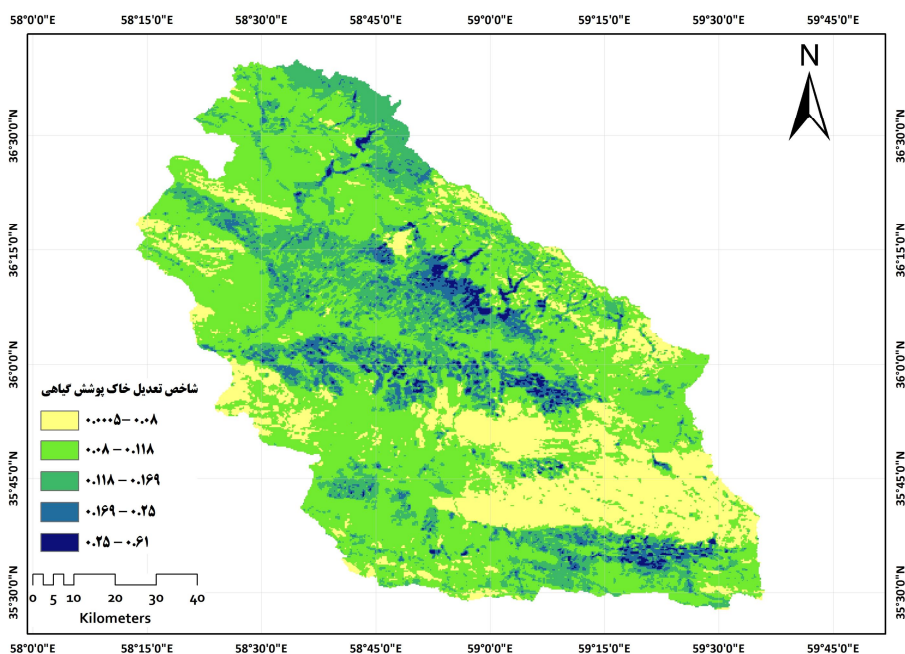
در شکل 6 نیز تصویر مقادیر تبخیر - تعلق واقعی برآورد شده به کمک الگوریتم سبال به ازای مقدار 0/2 برای ضریب L در خرداد ماه سال 1393 به همراه پلیگون مورد نظر که برای انتخاب مقدار بهینه ضریب L استفاده شد، نشان داده شده است. مقادیر تبخیر - تعلق واقعی در این ماه در بازه صفر تا 9/11 میلی متر در روز متغیر بوده که عدم قطعیت ناشی از ضریب L در مقادیر به دست آمده مذکور در ادامه مورد بحث قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است که مقادیر تبخیر - تعلق واقعی در پلیگون مورد نظر در بازه 1/34 تا 7/64 میلی متر در

در همین راستا مقادیر تبخیر - تعلق واقعی مزرعه نمونه ارتش در استان گلستان برای دو تاریخ 15 اردیبهشت و 17 خرداد 1382 با استفاده از تصاویر ماهواره ای مودیس و اتخاذ مقدار 0/5 برای ضریب L در قالب الگوریتم سبال برآورد شده است (خاوریان، 1383). در تحقیق دیگری مقادیر تبخیر - تعلق واقعی در دشت میان دربند واقع در غرب کشور به کمک الگوریتم سبال برآورد و اقدام به پهنه بندی آن شده است (قمرنیا و رضوانی، 1393). در تحقیق اخیر به مقدار ضریب L در محاسبه شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی اشاره ای نشده و احتمالاً همان مقدار 0/5 لحاظ شده است. در تحقیق حاضر و برخلاف دو تحقیق اشاره شده اخیر مبنی بر پذیرش مقدار 0/5 برای ضریب L، اتخاذ مقدار واسنجی شده ضریب مذکور منجر به کاهش 50 و 23 درصدی مقادیر انحراف استاندارد شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ترتیب در سال 1392 و 1393 شده است. ذکر این نکته ضروری است که اگرچه در سال 1392 (شکل 4-الف) دامنه تغییرات مقادیر انحراف استاندارد بیش تر از سال 1393 است و مقدار 0/2 برای ضریب L توانسته خود را به عنوان یک مقدار بهینه برجسته نمایان سازد، با این حال نایبستی از تاثیر انتخاب روز 17 فروردین و 18 اردیبهشت که مقادیر بارندگی در قیاس با روز 25 خرداد نقش بیش تری در تعیین مقادیر شاخص مذکور داشته و منجر به افزایش مقادیر انحراف استاندارد شاخص مذکور در این سه روز شده است، چشم پوشی نمود.

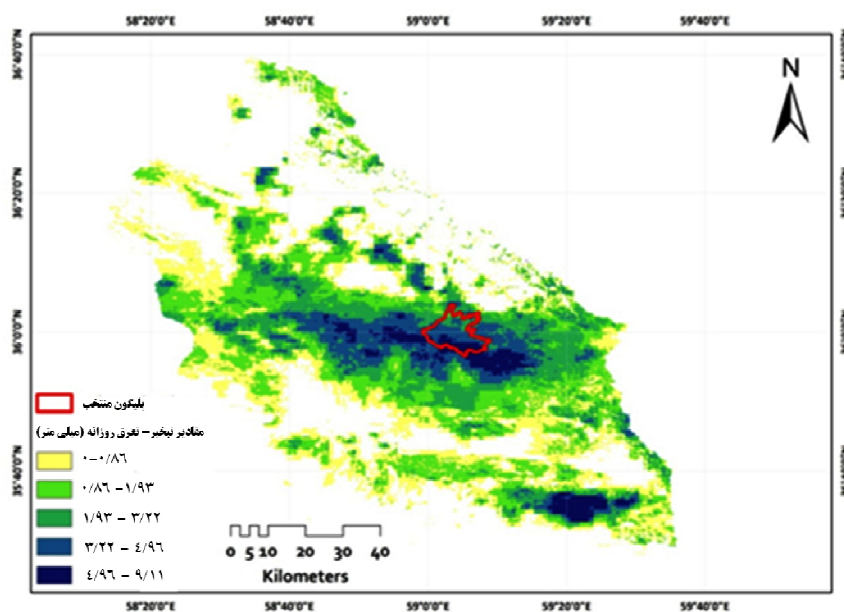
پس از تعیین مقدار بهینه ضریب تعدیل رطوبتی خاک در منطقه مورد نظر، تاثیر عدم قطعیت ناشی از تخمین ضریب مذکور در برآورد

مربعات خطا، متوسط خطا و ضریب تبیین به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L در روزهای منتخب برای این تحقیق در جدول 1 آورده شده است.

روز متغیر بوده که این مقادیر با برش محدوده پلیگون مورد نظر از تصویر تبخیر- تعرق واقعی کل حوضه آبریز به‌دست آمده است. متوسط مقادیر تبخیر- تعرق واقعی اندازه‌گیری شده و مقادیر متناظر برآورد شده آن به کمک الگوریتم سبال، مقادیر شاخص ریشه میانگین



شکل 5- تصویر مقادیر شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی به ازای مقدار 0/2 برای ضریب L در کل حوضه مورد مطالعه (سال 1393)



شکل 6- مقادیر تبخیر- تعرق روزانه واقعی برآورد شده به‌کمک الگوریتم سبال برای کل حوضه و مرز پلیگون منتخب (1393)

جدول 1- متوسط مقادیر تبخیر - تعرق اندازه‌گیری و برآورد شده به همراه شاخص‌های ارزیابی عملکرد در روزهای منتخب سال 1393

ضریب تعدیل رطوبت خاک (L)											متوسط تبخیر - تعرق میکرو لایسیمتر	تاریخ تصویر
1	0/9	0/8	0/7	0/6	0/5	0/4	0/3	0/2	0/1	0		
4/37	4/42	4/48	4/56	4/61	4/7	4/76	4/88	5/03	5/24	5/48	4/93	3 خرداد
4/64	4/7	4/75	4/81	4/93	5/04	5/14	5/23	5/36	5/6	5/82	5/43	8 خرداد
5/41	5/47	5/53	5/6	5/64	5/74	5/8	5/86	5/95	6/11	6/26	5/88	13 خرداد
6/21	6/26	6/33	6/4	6/45	6/51	6/55	6/61	6/71	6/83	6/97	6/74	18 خرداد
5/73	5/77	5/81	5/86	5/9	5/94	6/12	6/19	6/25	6/45	6/59	6/31	24 خرداد
0/596	0/544	0/49	0/428	0/364	0/288	0/216	0/144	0/069	0/202	0/382	RMSE (mm/day)	
0/59	0/53	0/48	0/41	0/35	0/27	0/2	0/12	-0/002	-0/19	-0/37	ME (mm/day)	
0/12	0/27	0/41	0/55	0/67	0/79	0/88	0/95	0/99	0/89	0/64	R ²	

برای ضریب L در جدول 1، صرفنظر از عملکرد بهتر این مقدار که در شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین نیز خود را نشان داده، همان مثبت و منفی شدن اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده در طول 5 روز مورد بحث است که در نهایت مجموع آن‌ها مقدار اندکی شده است به طوری که اگر به جای شاخص متوسط خطا از شاخص میانگین قدر مطلق خطا استفاده می‌شد، مقدار این دو شاخص به‌ازای تمام مقادیر ضریب L برابر ولی به‌ازای 0/2 مقدار شاخص میانگین قدر مطلق خطا در حدود 0/07 به دست می‌آمد که باز هم در قیاس با سایر مقادیر، مقدار بهینه‌تری بود.

مقایسه مقادیر تبخیر - تعرق واقعی برآورد شده به کمک الگوریتم سبال با مقادیر متناظر اندازه‌گیری شده در منطقه کرج و برای پنج روز از مرداد ماه به کمک تصاویر مودیس بیانگر وقوع مقداری در حدود 0/44 میلی‌متر در روز برای شاخص ریشه میانگین مربعات خطا است (حسن پور و همکاران، 1391). اگرچه تفاوت در منطقه مورد مطالعه، نوع محصول و زمان تصاویر ماهواره‌ای منتخب در تحقیق ایشان و تحقیق حاضر را می‌توان از جمله دلایل تفاوت در دقت برآورد تبخیر - تعرق واقعی دانست، با این حال تامل در نتایج جدول 1 با تاکید بر اهمیت واسنجی ضریب L، نشان دهنده این حقیقت است که مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به تحقیق مذکور و بیش‌تر از آن به‌ازای مقادیر 0/7 تا یک برای ضریب L به‌وقوع پیوسته است. در تحقیقی ضریب تبیین میان مقادیر تبخیر - تعرق واقعی برآورد شده به کمک الگوریتم سبال و مقادیر محاسبه شده به کمک روش پیشنهادی فائو 56 برای دشت میان دربند استان کرمانشاه در حدود 0/84 گزارش شده (قمربیا و رضوانی، 1393)، که در تحقیق حاضر تنها به‌ازای مقادیر 0/1 تا 0/4 برای ضریب L به مقادیری بیش‌تر از مقدار فوق دست یافتیم (جدول 1). در تحقیق حاضر به‌ازای مقدار 0/5 برای ضریب L که مشابه تحقیق اخیر باشد، مقدار ضریب تبیین حدود

بهترین مقدار شاخص ریشه میانگین مربعات خطا مقادیر نزدیک به صفر است که با توجه به نتایج جدول 1 مقدار بهینه آن به‌ازای مقدار 0/2 برای ضریب L به وقوع پیوست (0/069). هم‌چنین روند تغییرات شاخص مذکور در جدول 1 با نتایج شکل 4 به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L هم‌خوانی دارد. بررسی مقادیر ضریب تبیین نیز مقدار اخیر برای ضریب L را تایید می‌نماید، اگرچه نتایج به‌دست آمده به‌ازای مقادیر 0/1، 0/3 و 0/4 نیز می‌تواند قابل قبول باشد. بررسی نتایج نشان داد که شاخص ریشه میانگین مربعات خطا نسبت به مقادیر مختلف برآورد شده تبخیر - تعرق به کمک الگوریتم سبال و به‌ازای مقادیر مختلف ضریب L، نسبت به ضریب تبیین حساسیت بیش‌تری داشت، به طوری که درصد تغییرات شاخص ریشه میانگین مربعات خطا به‌ازای مقادیر 0/1، 0/3 و 0/4 برای ضریب L نسبت به مقدار 0/2 به‌ترتیب در حدود 66، 109 و 213 درصد به‌دست آمد. این در حالی است که همین مقادیر برای ضریب تبیین در حدود 11، 4 و 11 درصد به‌دست آمد.

مقادیر منفی شاخص متوسط خطا با توجه به رابطه 7 بیان‌گر بیش‌برآورد تبخیر - تعرق است که تنها به‌ازای مقادیر صفر تا 0/2 برای ضریب L رخ داد. لازم به توضیح است که به‌ازای مقادیر صفر و 0/1 برای ضریب L، برای تمامی 5 روز مورد بحث، اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده تبخیر - تعرق منفی بود و باعث شد که شاخص متوسط خطا نیز منفی گردد درحالی که به‌ازای مقادیر 0/3 تا 1 برای ضریب L عکس این حالت رخ داد. تنها به‌ازای مقدار 0/2 برای ضریب L در روزهای 3 و 13 خرداد، اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده تبخیر - تعرق منفی و در سه روز دیگر این اختلاف مثبت بود و در نهایت مجموع این اختلافات که در شاخص متوسط خطا به کار می‌رود مقداری منفی و نزدیک به صفر شد (-0/002). یکی از دلایل وقوع مقدار بسیار اندک شاخص متوسط خطا به‌ازای مقدار 0/2

0/8 به دست آمد که اختلاف کمی با یکدیگر دارند.

ضریب تبیین میان مقادیر تبخیر- تعرق اندازه گیری شده لایسیمتری و مقادیر برآوردی با استفاده از تصاویر ماهواره چینی -FY- 2D و تصاویر مودیس در شمال کشور چین به ترتیب 0/73 و 0/82 بدست آمده است (Shu et al., 2011). هم چنین ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب در حدود 0/92 و 1/25 میلی متر در روز گزارش شده که از مقادیر مشابه به دست آمده در تحقیق حاضر به ازای تمام مقادیر ضریب L بیش تر است. مقادیر تبخیر- تعرق واقعی به کمک تصاویر مودیس در نه روز از سال های 2003 تا 2005 برآورد و با مقادیر اندازه گیری مقایسه شده که متوسط قدر مطلق خطا در دو ایستگاه متفاوت به ترتیب 0/5 و 2/6 میلی متر در روز گزارش شده است (Rwasoka et al., 2011). اختلاف دو مقدار به دست آمده در تحقیق اخیر (1/9 میلی متر در روز)، اهمیت واسنجی ضرایب به کار رفته در الگوریتم سبال، از جمله ضریب L را یادآوری می کند. اگر از مقدار 2/6 میلی متر در روز صرف نظر شود، مقایسه نتیجه تحقیق مذکور و تحقیق حاضر نه تنها حکایت از برتری نتایج تحقیق حاضر دارد، بلکه بروز مقادیر 0/5 و بیش تر از آن (مشابه تحقیق اخیر) به ازای مقادیر 0/8 تا یک برای ضریب L، نقش واسنجی ضریب مذکور در برآورد تبخیر- تعرق را برجسته تر می سازد. در تحقیق دیگر ریشه میانگین مربعات خطا و متوسط قدر مطلق خطا میان مقادیر تبخیر- تعرق برآوردی به کمک یک روش پیشنهادی مبتنی بر سنجش از دور و مقادیر اندازه گیری شده آن در مورد محصول پنبه به ترتیب در حدود 0/3 و 0/24 به دست آمده است (Sun et al., 2009). اگرچه نتایج ایشان در قیاس با مقادیر بیش تر از 0/5 برای ضریب L در تحقیق حاضر، با خطای کمتری همراه بوده (جدول 1)، با این حال مقادیر بهینه تر برای شاخص های مذکور هنوز هم به ازای مقادیر 0/1 تا 0/4 برای ضریب L رخ داده است. از جمله دلایل نتایج مناسب تحقیق مذکور در قیاس با تحقیق حاضر، تنها به ازای دامنه خاصی از مقادیر

ضریب L (بیش تر از 0/5)، می توان به ساختار روش برآورد تبخیر- تعرق در تحقیق ایشان اشاره نمود که برخلاف الگوریتم سبال، روش پیشنهادی ایشان بدون استفاده از داده های زمینی، تنها متکی به داده های ماهواره ای بوده است.

اگرچه مقادیر به دست آمده برای شاخص های آماری (جدول 1) و مقایسه آن ها با مقادیر بهینه شاخص های مذکور می تواند به عنوان معیار ارزیابی عدم قطعیت ناشی از ضریب L بر روی برآورد مقادیر تبخیر- تعرق واقعی به کار رود، با این حال مقادیر حاصل از این شاخص ها مقادیر نسبی محسوب شده و با قطعیت نمی توان در مورد آن ها نظر داد. به عنوان مثال برخی محققین مقادیر بیش تر از 0/4 را برای ضریب تبیین در دسته رضایت بخش قرار می دهند در حالی که برخی دیگر مقادیر بیش تر از 0/5 را برای همین شاخص قابل قبول معرفی کرده اند (Moriasi et al. و Green and Griensven., 2008) (al., 2007).

از آن جا که هدف اصلی این تحقیق بررسی تاثیر عدم قطعیت ناشی از ضریب L بر روی برآورد تبخیر- تعرق بود، برای حصول اطمینان از آزمون تی تست نیز برای تحلیل نتایج استفاده شد که نتایج آن در جدول 2 نشان داده شده است. در این آزمون فرض H به معنای عدم تفاوت معنی دار میان مقادیر تبخیر- تعرق اندازه گیری و برآورد شده و فرض H₁ مخالف آن است. آن چنان که مقادیر p-value در جدول 2 نشان می دهد، اختلاف میان مقادیر اندازه گیری شده تبخیر- تعرق و مقادیر متناظر برآوردی آن تنها به ازای مقدار 0/2 برای ضریب L تفاوت معنی داری در سطح 95 درصد نداشته است. به بیان دیگر، اگرچه با توجه به نتایج شاخص های ارزیابی عملکرد مورد استفاده در این تحقیق (نتایج جدول 1) و مقایسه با مقادیر بهینه همان شاخص ها می توان مقادیر 0/1، 0/3، 0/4 و حتی 0/5 را نیز مناسب ارزیابی نمود، با این حال نتایج تی تست تنها مقدار 0/2 را برای ضریب L پیشنهاد می نماید.

جدول 2- نتایج حاصل از آزمون تی تست میان متوسط مقادیر اندازه گیری و برآورد شده تبخیر- تعرق واقعی

p value	t value	زوج مورد استفاده
0/003 [†]	-6/65	(L=0) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/008 [†]	-4/95	(L=0/1) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/957 ^{††}	-0/06	(L=0/2) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/031 [†]	3/28	(L=0/3) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/005 [†]	5/51	(L=0/4) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/004 [†]	5/77	(L=0/5) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/002 [†]	7/62	(L=0/6) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/002 [†]	7/01	(L=0/7) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/001 [†]	8/51	(L=0/8) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0/001 [†]	9/97	(L=0/9) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال
0 [†]	10/8	(L=1) متوسط مقادیر میکرو لایسیمتر و متوسط مقادیر برآورد شده از سبال

[†]: اختلاف معنی داری در سطح 95 درصد میان مقادیر اندازه گیری و برآورد شده وجود دارد.

^{††}: اختلاف معنی داری در سطح 95 درصد میان مقادیر اندازه گیری و برآورد شده وجود ندارد.

نتیجه گیری

در این تحقیق پیشنهاد آلن و همکاران (2002) مبنی بر اتخاذ مقدار 0/5 برای ضریب تصحیح رطوبتی خاک در قالب الگوریتم سیال مورد بازبینی قرار گرفت. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در سال‌های 1392 و 1393 برای بخشی از حوضه آبریز نیشابور استفاده شد. بر اساس روند تغییرات شاخص تعدیل خاک پوشش گیاهی در سه روز منتخب از ماه‌های متفاوت در همین سال‌ها مقدار 0/2 به‌عنوان مقدار بهینه پیشنهاد می‌شود. مقایسه مقادیر تبخیر - تفرق واقعی اندازه‌گیری شده (میکرو لایسیمتر) و برآورد شده (سبال) نشان داد که اگرچه بازه‌ای از مقادیر ضریب تصحیح رطوبتی خاک می‌تواند نتایج قابل قبولی در برآورد تبخیر - تفرق واقعی ارائه نماید، با این حال نتایج آزمون تی تست نشان داد که تنها به ازای مقدار 0/2 برای این ضریب اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) میان مقادیر اندازه‌گیری و برآورد شده تبخیر - تفرق واقعی وجود نخواهد داشت. مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر - تفرق واقعی در بازه زمانی روزهای مورد استفاده در این تحقیق در دامنه 4/93 تا 6/31 میلی‌متر متغیر بود در حالی که مقادیر برآورد شده به ازای مقدار 0/2 برای ضریب L در بازه 5/03 تا 6/25 نوسان داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که پیشنهاد آلن و همکاران (2002) مبنی بر اتخاذ مقدار 0/5 برای ضریب مذکور همواره صحیح نبوده و با عدم قطعیت‌هایی در برآورد تبخیر - تفرق واقعی همراه خواهد بود.

منابع

- حوضه نیشابور، گزارش‌های هواشناسی، هیدرولوژی و خاک - شناسی، 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. 1-98.
- 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., Molden, D.G. and Makin, I.W. 2000. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural water management*. 46: 137-155.
- Bausch, W.C. 1993. Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. *Remote Sensing of Environment*. 46: 213-222.
- Gebremichael, M., Wang, J. and Sammis, T.W. 2010. Dependence of remote sensing evapotranspiration algorithm on spatial resolution. *Atmospheric research*. 96: 489-495.
- 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 crop evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 1843-1853.
- Green, C.H. and Griensven, A.V. 2008. Autocalibration in hydrologic modelling: Using SWAT 2005 in small-scale watersheds. *Environmental modelling and software*. 23: 422-434.
- Hong, S.H., Hendrickx, S.H. and Borchers, B. 2009. Upscaling 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.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Binger, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50.3: 885-900.
- 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
- حسن پور، ب.، میرزایی، ف.، ارشد، ص. و کوثری، ه. 1391. مقایسه الگوریتم‌های SEBAL و S-SEBI در برآورد تبخیر و تفرق در منطقه کرج. *نشریه آب و خاک*، 6: 1360-1371.
- خاوریان نهزک، ح. 1383. برآورد تبخیر و تفرق با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- قمرنیا، و رضوانی، س. 1393. محاسبه و پهنه‌بندی تبخیر - تفرق با استفاده از الگوریتم سیال (SEBAL) در غرب ایران (دشت میان - دربند). *نشریه آب و خاک*، 28: 1: 72-81.
- مکاری، م.، قهرمان، ب. و ثنایی نژاد، س. ح. 1394. بهینه کردن شاخص SAVI و برآورد تبخیر - تفرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست 8، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3: 9: 459-469.
- مهندسین مشاور سازآب شرق. 1392. مطالعات بهم پیوسته منابع آب

- 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 Geoinformation*. 13: 192–206.
- Sun, Z., Wang, Q., Matsushita, B., Fukushima, T., Ouyang, Z and Watanabe, M. 2009. Development of a simple remote sensing evapotranspiration model (Sim-ReSET): Algorithm and model test. *Journal of Hydrology*. 376: 476-485.
- study of the upper Ewaso Ng'iro north basin, Kenya. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 125: S100-S108.
- Rondeaux, G., Steven, M and Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 48: 119-126.
- Rwasoka, D.T., Gumindoga, W and Gwenzi, J. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the surface energy balance system (SEBS) algorithm in the upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Physic and chemistry of the earth*. 36: 736-746.

Evaluation the Effect of Uncertainties Caused by Soil Moisture Adjusted Factor on Actual Evapotranspiration Prediction

R. Moazenzadeh¹

Received: Apr.27, 2016

Accepted: Oct.19, 2016

Abstract

Since a significant amount of precipitation in the agricultural watersheds is used by evapotranspiration, so this parameter plays an important role in water budget and water resources management. Therefore, accurate estimation of this component is very important. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) belongs to the methods of estimating the actual evapotranspiration (ET_{act}) which is based on remote sensing technique. In the structure of this algorithm several indices and empirical coefficients are used, each of them is effective for estimating actual evapotranspiration. In this study the effect of the uncertainty caused by the soil adjusted vegetation index (SAVI) values in the form of SEBAL algorithm was investigated on ET_{act} prediction on the part of Neyshabour watershed. To determine the optimize value of SAVI, 2013 and 2014 MODIS satellite images were used and the effect of SAVI values uncertainty on ET_{act} prediction was discussed in 2014. Comparison between estimated values and microlysimeter measurements of ET_{act} in the discussed polygon showed that the minimum and maximum error of ET_{act} estimation has been obtained for the amount of 0.2 ($R^2=0.99$, $RMSE=0.07$) and 1 ($R^2=0.12$, $RMSE=0.6$) for L coefficient in the SAVI index structure. The results of t-test also showed the significant differences at 95% ($p<0.05$) between measured and predicted values of ET_{act} , using the whole range of L coefficient, except 0.2.

Keywords: Energy balance, Microlysimeter, Satellite images, Vegetation cover, Water balance

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

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