



## بروزرسانی مدل توزیعی رطوبت خاک پالمیر با استفاده از داده‌های تبخیر- تعرق پتانسیل حاصل از

### سنجنده مادیس

سحر اوجاقلو شهابی<sup>۱</sup>، مجید وظیفه دوست<sup>۲\*</sup>، افشین اشرف زاده<sup>۲</sup>، نادر پیرمرادیان<sup>۲</sup>، محمدرضا کشاورز<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۰

### چکیده

رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی است که در پایش خشکسالی کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است. مدل پالمیر یک مدل هیدرولوژیکی است که در عین سادگی کاربرد گسترده‌ای در برآورد انحراف رطوبت خاک و پایش خشکسالی دارد. اخیراً مدل توزیعی پالمیر به منظور مطالعه خشکسالی در ایران توسط تعدادی از محققین داخل کشور با انجام اصلاحاتی بر مدل پالمیر توسعه داده شده است. اما آنچه که کمتر مورد توجه قرار گرفته است اصلاح روش محاسبه تبخیر-تعرق است که بدون شک تأثیر زیادی بر مقدار رطوبت باقیمانده در خاک دارد. در این تحقیق، به منظور کاهش تأثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی مدل در سطح منطقه‌ای، نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس و با استفاده از الگوریتم آهاس استخراج شد و در نهایت در بروزرسانی مدل پالمیر مورد استفاده قرار گرفتند. با استفاده از مدل توزیعی پالمیر، شبیه‌سازی رطوبت خاک با و بدون فرآیند بروزرسانی در سال‌های ۸۰-۱۳۷۹ و ۸۵-۱۳۸۴ به عنوان سال‌های خشک و تر صورت پذیرفت. نتایج، حاکی از آن بود که شبیه‌سازی همراه با بروزرسانی مدل توزیعی پالمیر مقدار ضریب تبیین را نسبت به شبیه‌سازی بدون بروزرسانی افزایش می‌دهد بطوری‌که ضریب تبیین از ۰/۳۰۴ به ۰/۵۳۴۸ در ماه خرداد ارتقا یافت. نتایج نشان می‌دهد که ورود نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره خشک بر افزایش دقت نتایج خروجی مدل تأثیر مثبت داشته است در حالی که در سال تر، نتایج بهبود چشمگیری نشان نمی‌دهد. بالاترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار خطای مطلق در دوره خشک در ماه خرداد و برابر با ۰/۵۳ و ۰/۰۵۹۵ مشاهده شد که نشان می‌دهد بهترین زمان برای بروزرسانی، استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده تبخیر-تعرق پتانسیل در این ماه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوریتم آهاس، تبخیر-تعرق پتانسیل، رطوبت خاک، مادیس.

### مقدمه

رطوبت خاک و تغییرات زمانی و مکانی این پارامتر تا کنون تلاش‌های زیادی در برآورد دقیق این پارامتر صورت پذیرفته که از روش‌های اندازه‌گیری میدانی تا استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و آگرو هیدرولوژیکی و روش‌های مبتنی بر فناوری سنجش از دور را شامل می‌گردد (بای بوردی، ۱۳۸۰؛ براق جمالی و همکاران، ۱۳۷۷؛ ویگنرون و همکاران، ۱۹۹۸). علی‌رغم اهمیت غیر قابل انکار رطوبت خاک در مطالعات محیطی، به دلیل پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی، استفاده از این روش‌ها در ایران تاکنون به طور گسترده در پایش رطوبت خاک مورد استفاده واقع نشده است.

رطوبت، یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرولوژیکی است که در مطالعات محیطی، سیل، خشکسالی و مدیریت آب کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. به دلیل ماهیت

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

(\*نویسنده مسئول: majid.vazifedoust@gmail.com)

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

درستی به تصویر بکشاند. امین و سلطانی (۱۳۸۶) معادله‌های مرحله رده‌بندی مدل پالم را تحلیل نموده و تعمیم دادند. با وجود کاربرد گسترده مدل پالم در پایش خشکسالی، مدل پالم دارای محدودیت‌هایی به لحاظ فرضیات بکار رفته در مدل می‌باشد که می‌توان به نقطه‌ای بودن محاسبات بیلان آب و فرض همگن بودن شرایط آب و هوایی در یک منطقه جغرافیایی وسیع اشاره نمود. همچنین روش بکار رفته در محاسبه تبخیر-تعرق از دقت چندان بالایی در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک برخوردار نمی‌باشد. به این دلیل تلاش‌های بسیاری در چند سال اخیر به منظور رفع این محدودیت‌ها در کشور آغاز گردید. فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) شاخص خشکسالی پالم را برای شرایط اقلیمی کشور اصلاح و توسعه دادند. کشاورز (۱۳۹۰) با اصلاح مدل پالم امکان استفاده از داده‌های شبکه‌ای بارش و دما را در مدل پالم فراهم کرده و مدل توزیعی پالم را بدین منظور توسعه داد. با تهیه مدل توزیعی، امکان تولید نقشه‌های رطوبت خاک با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر را برای استان اصفهان فراهم شد. علی‌رغم اصلاحاتی که تا کنون بر روی مدل صورت گرفته، اصلاح روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل کمتر مورد توجه قرار گرفته و نیاز به تحقیقات بیشتر در این خصوص احساس می‌شود.

بنابراین در این تحقیق به منظور اصلاح روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل و کاهش عدم قطعیت در پارامترهای ورودی، مدل توزیعی پالم با استفاده از داده‌های تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر بروزرسانی گردید. بروزرسانی این مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تبخیر-تعرق برای دو دوره خشک (۸۰-۱۳۷۹) و تر (۸۵-۱۳۸۴) با گام‌های زمانی هشت‌روزه در فاصله ماه‌های فروردین تا خرداد ماه هر سال، مصادف با حداکثر تراکم پوشش گیاهی کشت زمستانه انجام شد.

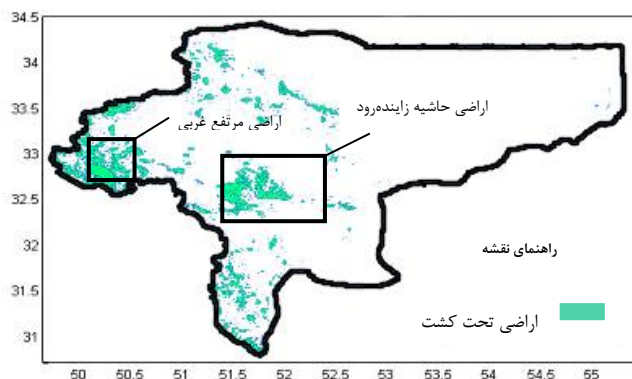
اما در عوض، کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل رفع موانع موجود در اندازه‌گیری‌های میدانی و امکان پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی رطوبت و همچنین تلفیق آن‌ها با داده‌های سنجش از دور رو به افزایش است. امروزه استفاده از اطلاعات سیستم‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نیز با توجه به ویژگی‌های منحصر بفرد آن از قبیل دید وسیع و یکپارچه، سرعت انتقال اطلاعات و امکان بکارگیری سخت‌افزارها و نرم-افزارهای ویژه، با استقبال زیادی روبرو شده است و به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی، نظارت، کنترل و مدیریت منابع آب و خاک، جنگل‌ها، مراتع، کشاورزی و محیط‌زیست بکار گرفته شده و به مرور بر دامنه وسعت کاربری آن افزوده می‌گردد (به نقل از نوروزی‌اقدم و کرمی، ۱۳۸۸).

مدل هیدرولوژیکی پالم که یک مدل ساده بیلان آب است توسط پالم در سال ۱۹۶۵ میلادی به منظور برآورد انحراف رطوبت خاک و پایش خشکسالی ارائه گردید. به دلیل سادگی ساختار مدل و تعداد اندک پارامترهای ورودی که تنها شامل بارندگی، دما و ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد، این مدل به تدریج بصورت گسترده‌ای در مطالعات خشکسالی مورد استفاده واقع شد. تاکنون تحقیقات متعددی با استفاده از این مدل انجام شده و توانایی آن در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. کارل (۱۹۸۶) به بررسی حساسیت مدل پالم و واسنجی برخی ضرایب تجربی مورد استفاده در مدل پرداخت. وی اظهار داشت که مدل، تغییرات رطوبت در کوتاه‌مدت را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. کیورینگ و پاپاکریاکو (۲۰۰۳) مدل‌های خشکسالی کشاورزی را در کانادا ارزیابی کرده و نشان دادند که مدل پالم بهترین عملکرد را در تولید داده‌های رطوبت خاک دارد. میکا و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی توانایی این مدل در نمایش رطوبت خاک در یکی از کشورهای اروپایی پرداختند و آن‌را در این زمینه موفق یافتند. الی (۱۹۸۴) محدودیت‌ها و فرضیات این مدل را مورد بررسی و انتقاد قرارداد. جوانمرد و همکاران (۱۳۸۰)، مدل پالم را در استان خراسان برای یک دوره ۳۰ ساله محاسبه و نتایج آن‌را با داده‌های رطوبت خاک مقایسه کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد، نمایه خشکسالی پالم قادر است با استفاده از پارامترهای مختلفی مانند دما، بارندگی، تبخیر-تعرق و رطوبت خاک شرایط خشکی منطقه را به

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی تحت کشت استان اصفهان با مساحت حدود ۳۴۰۸۵۰ هکتار بود. این استان در مرکز کشور بین عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه، استان اصفهان، ایران.

### استخراج داده‌ها

به منظور محاسبه تبخیر-تعرق، تصاویر سنجنده مادیس ۱ که درصد ابرناکی آن‌ها کمتر از ۵ درصد است، از آرشیو EOS Data Gateway سفارش و دریافت گردید. خصوصیات تصاویر ماهواره‌ای دریافتی در جدول ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است برای هر دوره زمانی تعداد ۲۹ تصویر مرئی و ۲۹ تصویر حرارتی با گام‌های زمانی ۸ روزه در طول دوره کشت و در مجموع ۱۱۶ تصویر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به منظور ارزیابی نقشه‌های تبخیر-تعرق تولید شده، داده‌های تبخیر از تشت از ۱۱ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان برای دوره مطالعاتی اخذ گردید.

### مدل توزیعی رطوبت خاک پالم

یکی از ایرادهای مهم وارد بر مدل پالم فرض همگن بودن شرایط آب و هوایی در یک منطقه جغرافیایی وسیع و نقطه-

ای بودن محاسبه‌های انحراف رطوبت خاک می‌باشد. تا قبل از تهیه مدل توزیعی پالم (کشاورز، ۱۳۹۰)، نتایج مدل پالم، فقط در مناطق همگن که تغییرات دما، بارندگی و خصوصیات خاک کم است قابل کاربرد بود. با توسعه مدل توزیعی پالم (کشاورز، ۱۳۹۰) و شبکه‌ای کردن محاسبه‌ها، امکان برآورد تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک و همچنین نمایه خشکسالی پالم بصورت شبکه‌ای و برای پیکسل‌های یک کیلومتر مربع فراهم گردید. اما محدودیت جدی مدل پالم روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل می‌باشد؛ محاسبات تبخیر-تعرق پتانسیل در مدل پالم و یا توزیعی پالم بر اساس روش تورنت وایت و با استفاده از داده‌های دما صورت می‌گیرد. که با توجه به کاربردی نبودن این رابطه در اکثر شرایط آب و هوایی ایران و نیاز به نقشه‌های دما که با استفاده از روش‌های درون‌یابی و یا نقشه رقومی ارتفاع تولید می‌گردد، خطای برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل و در نتیجه میزان انحراف رطوبت خاک قابل توجه خواهد بود.

مدل پالم، رطوبت خاک را با توجه به آب ورودی (بارندگی) و خروجی (تبخیر-تعرق و رواناب) و ظرفیت رطوبتی خاک (AWC<sub>۲</sub>) در راستای عمودی خاک و بر اساس معادلات ۱ تا ۱۰ شبیه‌سازی می‌کند. این مدل یک مدل بیلان آب ساده بوده و تغییرات ذخیره رطوبتی را تنها در دو لایه تحلیل می‌نماید. لایه بالایی خاک که ظرفیت نگهداری آن یک اینچ در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند تمامی رطوبت خود را از دست دهد. تنها زمانی که لایه بالایی تمام رطوبت خود را از دست دهد لایه زیرین رطوبت را دریافت می‌کند. در مدل توزیعی پالم (کشاورز، ۱۳۹۰) از نقشه AWC مستخرج از نقشه جامع بافت خاک که توسط موسسه خاک و آب به سفارش پژوهشکده هواشناسی (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰) و از ترکیب نقشه‌های "ارزیابی منابع و قابلیت اراضی" با مقیاس ۱ به ۲۵۰۰۰۰ و داده‌های بافت خاک موجود با مقیاس ۱ به یک میلیون و تصاویر لندست برای ایران تهیه شده بود، استفاده گردید.

<sup>2</sup>. Available Water Capacity

1. MODIS

$$R_u = \begin{cases} P - PE - R_s & \text{if } 0 < (P - PE - R_s) < ((AWC - 1) - S_u); \\ (AWC - 1) - S_u & \text{if } (P - PE - R_s) \geq ((AWC - 1) - S_u); \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (6)$$

که در آن‌ها:  $R_s$ ، ذخیره در لایه بالایی و  $R_u$ ، ذخیره در لایه زیرین برحسب اینچ می‌باشد. مجموع این مقادیر مقدار ذخیره آب در خاک را در انتهای ماه مورد مطالعه مشخص می‌کند:

$$R = R_s + R_u \quad (7)$$

بدین ترتیب رطوبت لایه سطحی و لایه زیرین در انتهای ماه بر اساس مقدار رطوبت در ابتدای ماه، تلفات و ذخیره آب تا انتهای ماه قابل محاسبه است:

$$S_s = S_s' - L_s + R_s \quad (8)$$

$$S_u = S_u' - L_u + R_u \quad (9)$$

مقدار رطوبت خاک در انتهای ماه برابر مجموع رطوبت باقی مانده در لایه‌های زیرین و سطحی است:

$$S = S_s + S_u \quad (10)$$

### بروزرسانی مدل توزیعی پالم با استفاده از داده‌های

#### تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از تصاویر مادیس

در مدل توزیعی پالم، محاسبات تبخیر-تعرق با استفاده از روش تورنت وایت و بر اساس داده‌های دما و مدل رقمی ارتفاع صورت می‌پذیرد. از آنجا که رابطه خطی یا نمایی خاص ارتفاع در مناطق تحت کشاورزی به دلیل شرایط خاص اقلیمی صادق نیست، محاسبه اجزای بیلان آب و رطوبت خاک در روش تورنت وایت با خطا همراه خواهد بود به منظور رفع این مشکل، مدل توزیعی پالم با تبخیر-تعرق محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای بروزرسانی گردید. مزیت بروزرسانی با این روش این است، که نیازی به ورود مقادیر آبیاری نیست چراکه تاثیر آبیاری بطور مستقیم در تبخیر-تعرق وارد می‌گردد. شکل ۲ الگوریتم نحوه بروزرسانی مدل توزیعی پالم و داده‌های مورد نیاز جهت استخراج رطوبت خاک را

همچنین این مدل در حال حاضر قادر به تفکیک نفوذ عمقی از رواناب (خروجی مدل) و نیز محاسبه و منظور نمودن تاثیر جریانات سطحی و زیرسطحی و بطور خلاصه بیلان‌بندی افقی خاک نمی‌باشد (کشاورز، ۱۳۹۰).

$$S'_i = S_{i-1} \quad (1)$$

که در آن:  $S'_i$ ، رطوبت ابتدای ماه  $i$ ام است که برابر رطوبت انتهای ماه  $i-1$  است ( $S_{i-1}$ ).

$$L_s = \begin{cases} 0 & \text{if } (PE - P) < 0; \\ (PE - P) & \text{if } 0 < (PE - P) < S_s'; \\ S_s' & \text{if } (PE - P) > S_s'; \end{cases} \quad (2)$$

که در آن:  $L_s$ ، تلفات در لایه سطحی خاک؛  $P$  بارندگی؛  $PE$  تبخیر-تعرق پتانسیل و  $S_s'$ ، رطوبت لایه سطحی در ابتدای ماه می‌باشد. تمام پارامترهای مذکور بر حسب اینچ محاسبه می‌شوند.

$$L_u = \begin{cases} 0 & \text{if } L_s < S_s'; \\ (PE - P - L_s) \frac{S_u'}{AWC} & \text{if } \frac{(PE - P - L_s)}{AWC} \leq 1 \text{ or } L_u \leq S_u'; \\ S_u' & \text{if } \frac{(PE - P - L_s)}{AWC} > 1; \end{cases} \quad (3)$$

که در آن:  $L_u$ ، تلفات رطوبت در لایه زیرین خاک؛  $AWC$  ظرفیت نگهداری آب در خاک و  $S_u'$ ، میزان رطوبت موجود در لایه زیرین خاک در ابتدای ماه است. تلفات در انتهای ماه برابر تلفات لایه‌های سطحی و زیرین خاک است:

$$L = L_s + L_u \quad (4)$$

مقدار ذخیره آب در لایه‌های بالایی و زیرین خاک در صورتی که تلفاتی وجود نداشته باشد بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_s = \begin{cases} 1 - S_s' & \text{if } (P - PE) > (1 - S_s'); \\ P - PE & \text{if } 0 \leq (P - PE) \leq (1 - S_s'); \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases} \quad (5)$$

با توجه به اینکه در این رابطه کلیه مقادیر بجز مقدار جزء تبخیری مقادیری ثابت می‌باشند، برای تهیه نقشه‌های رطوبت خاک لازم است نقشه‌های جزء تبخیری تهیه گردد. گابریل و وردین (۲۰۰۱، ۲۰۰۳) و گابریل و همکاران (۲۰۰۷) در مدل ساده بیلان انرژی سطحی این مقدار را بر حسب داده‌های باندهای حرارتی محاسبه نموده و مقدار آن را بصورت تخمینی از دمای سطح زمین (LST) حاصل از پیکسل‌های "گرم" و "سرد" بدست آوردند. در این تحقیق مقدار تنش آبی با استفاده از تصاویر حرارتی و بصورت تخمینی از دمای سطح زمین در پیکسل‌های "گرم" و "سرد" با استفاده از معادله ۱۲ محاسبه گردید.

$$ET_{\text{fraction}} = \Lambda = K_s = \frac{(T_{\text{hot}} - T)}{T_{\text{hot}} - T_{\text{cold}}} \quad (12)$$

در این معادله T مقدار دمای سطح زمین در هر پیکسل؛ Tcold و Thot به ترتیب دمای سطح زمین در پیکسل‌های گرم و سرد در منطقه مورد مطالعه بر حسب کلون می‌باشد. در واقع پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی کامل و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شوند که در آن دمای سطحی و دمای هوای نزدیک سطح برابر فرض می‌شوند و پیکسل گرم هم از اراضی کشاورزی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود. انتخاب این دو پیکسل در تصاویر به مهارت و تمرین نیاز دارد (به نقل از مباشری، ۱۳۸۶).

نمایش می‌دهد. منظور از رطوبت خاک در این مطالعه، رطوبت خاک عمق توسعه ریشه بر حسب متر بر متر می‌باشد. به منظور بروزسانی مدل، نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از تشعشع خورشیدی طول موج کوتاه و مقدار آلبيدوی سطحی بر مبنای رابطه پریستلی-تیلور (پریستلی و تیلور، ۱۹۷۲) در الگوریتم آهاس از تصاویر مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و گام زمانی هشت روزه در طول ماه‌های حداکثر شاخص سطح برگ (فروردین تا خرداد) برای استان اصفهان استخراج گردید. نقشه آلبيدوی سطحی هم با استفاده از مقادیر بازتابش در باندهای ۱ و ۲ از تصاویر مادیس با استفاده از روابط Split Window و همچنین مقدار ضریب عبور اتمسفر استخراج گردید.

با توجه به اینکه تبخیر-تعرق پتانسیل برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای قابل مقایسه با داده‌های تبخیر از تشتک نمی‌باشد، لذا نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل ابتدا با تقسیم بر نقشه ضریب گیاهی به تبخیر-تعرق گیاه مرجع تبدیل شده و سپس با داده‌های تبخیر از تشتک مقایسه گردید. نقشه‌های ضرایب گیاهی دوجزئی از تفکیک دو جزء ضریب تبخیر از خاک و ضریب گیاهی پایه و بر اساس مقدار حداقل و حداکثر شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده محاسبه شد (ارراکی و همکاران، ۲۰۱۰).

### استخراج نقشه‌های رطوبت خاک از تصاویر سنجنده

#### مادیس

نقشه‌های رطوبت حجمی خاک با استفاده از معادله ۱۱ از تصاویر حرارتی سنجنده مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و گام زمانی ۸ روزه استخراج گردید و سپس با خروجی‌های مدل توزیعی پالم در حال با و بدون بروزسانی مقایسه گردید.

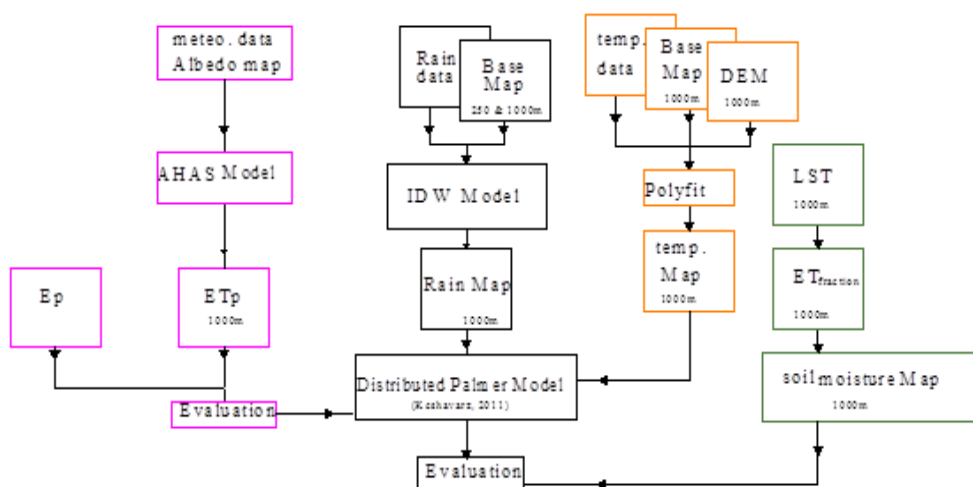
$$\theta = \exp\left(\frac{\Lambda - c_1}{c_2}\right) \quad (11)$$

در این رابطه  $\theta$  درصد رطوبت حجمی خاک،  $\Lambda$  مقدار جزء تبخیری<sup>۱</sup> و  $c_1$  و  $c_2$  به ترتیب برابر ۱/۲۸۳۶ و ۰/۴۲۱۳ است.

1. evaporative fraction

جدول ۱- خصوصیات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده.

سال‌های اخذ داده	باند‌های مورد نیاز	محصول	دقت زمانی (روز)	دقت مکانی (متر)	سنجنده	ماهواره
۱۳۸۰ و ۱۳۸۴	۲ (مرئی)	Mod09GA	1	250	MODIS	Terra
۱۳۸۰ و ۱۳۸۴	۳۱ و ۳۲ (حرارتی)	Mod11A	1	1000	MODIS	Terra

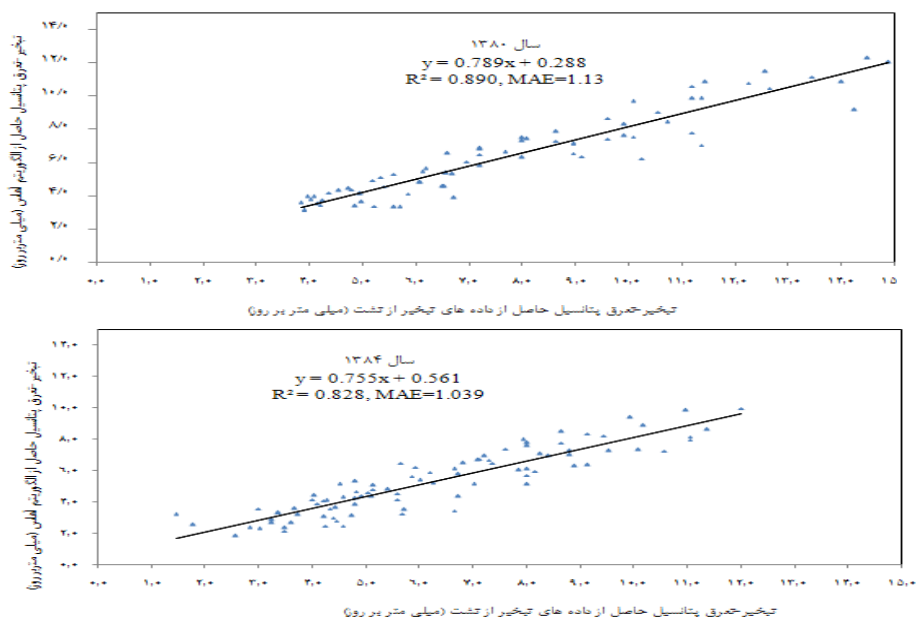


شکل ۲- فلوجارت بروزرسانی مدل توزیعی پالمر با استفاده از نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از سنجنده مادیس.

## نتایج

از داده‌های تبخیر از تشت، مقادیر ضریب تبیین و خطای مطلق آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده‌است. نتایج ارزیابی گویای آن است که، مقدار خطای استاندارد برآورد بهتر از مقادیر تا ۱/۵ میلی‌متر بر روز گزارش شده در مطالعات قبلی می‌باشد (کارلسون و همکاران، ۱۹۹۵؛ گومز و همکاران، ۲۰۰۵؛ سانچز و همکاران، ۲۰۰۸).

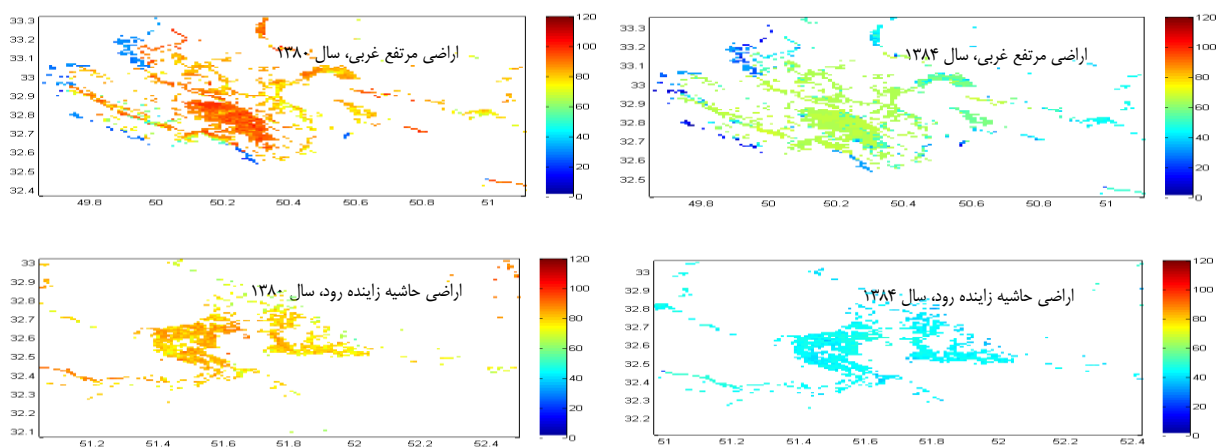
شکل ۳ رابطه خطی تبخیر-تعرق پتانسیل محاسبه شده از الگوریتم آهاس با داده‌های تبخیر از تشت را در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۴ (۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ میلادی) در ماه‌های فروردین تا اردیبهشت نمایش می‌دهد. همچنین معادله‌های خط برازش بین تبخیر-تعرق حاصل از الگوریتم آهاس و تبخیر-تعرق حاصل



شکل ۳- رابطه خطی تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از تصاویر مادیس با داده‌های تبخیر از تشت در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۴ (۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ میلادی (از بالا به پایین)) در ماه‌های فروردین تا اردیبهشت

درواقع مقدار میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل در ماه‌های انتهای دوره کشت در سال تر نسبت به سال خشک حدود ۵۰ درصد کاهش داشته‌است

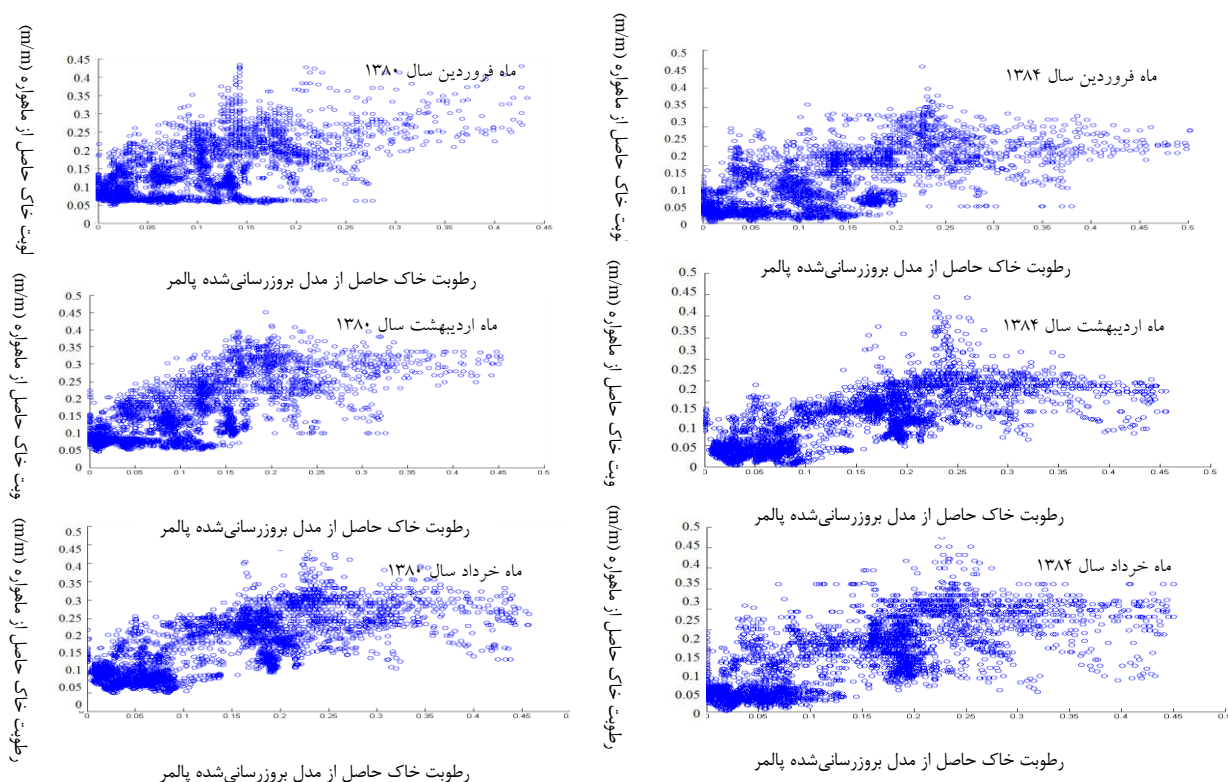
مقدار میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد به ترتیب برابر ۷۸/۸۸، ۹۶/۱۸ و ۱۱۰/۱۶ میلی‌متر بر روز در سال ۱۳۸۰ و ۶۲/۴۳، ۳۶/۳۹ و ۳۱/۴۰ میلی‌متر بر روز در سال ۱۳۸۴ می‌باشد (شکل ۴).



شکل ۴- توزیع مکانی مجموع تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه بر حسب میلی‌متر در ماه فروردین در ۱۳۸۰ و ۱۳۸۴ (سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۵ میلادی) در منطقه مورد مطالعه

تبخیر-تعرق مرجع و تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل می‌بایست مدل بروزسانی شده پالمر مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرارگیرد. بهترین روش برای ارزیابی مقایسه نتایج یک مدل با مقادیر اندازه‌گیری زمینی می‌باشد. این در حالی است که در مقیاس منطقه‌ای و بازه‌های زمانی مورد بررسی هیچگونه داده ثبت شده رطوبت خاک موجود نبوده‌است. بنابراین و بدلیل منطقه‌ای بودن مطالعه حاضر از نتایج سنجش از دور مقادیر رطوبت خاک استفاده گردید (شکل ۵). اگرچه این روش کنترل نتایج بهترین راهکار نیست ولی در حال حاضر و در این تحقیق بهترین گزینه می‌باشد.

نتایج نشان می‌دهد که مقدار منطقه‌ای تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره تر به مراتب کمتر از مقدار آن در سال خشک بوده و مقدار اختلاف آن با نزدیک شدن به ماه‌های انتهایی دوره کشت با کاهش دما در دوره تر بیشتر می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش و همچنین مطالعه‌های گذشته در زمینه بررسی کارایی روش الگوریتم آهاس (سبال) با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس در اقلیم‌های مختلف جهان از جمله اقلیم خشک و نیمه خشک (المهاب و بوسو، ۲۰۰۸) می‌توان نتیجه گرفت که روش آهاس از کارایی خوبی جهت برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند استان اصفهان برخوردار است. پس از ارزیابی نقشه‌های



شکل ۵- مقایسه رطوبت خاک عمق توسعه ریشه بر حسب متر بر متر حاصل از مدل بروزسانی شده پالمر و مقادیر استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای (A و B و C مربوط به ماه‌های فروردین تا خرداد سال ۱۳۸۰ و شکل‌های D و E و F مربوط به همان ماه‌ها در سال ۱۳۸۴).

کشت با کاهش دما در دوره تر بیشتر می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش و همچنین مطالعه‌های گذشته در زمینه بررسی کارایی روش الگوریتم آهاس (سبال) با استفاده از

نتایج نشان می‌دهد که مقدار منطقه‌ای تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره تر به مراتب کمتر از مقدار آن در سال خشک بوده و مقدار اختلاف آن با نزدیک شدن به ماه‌های انتهایی دوره

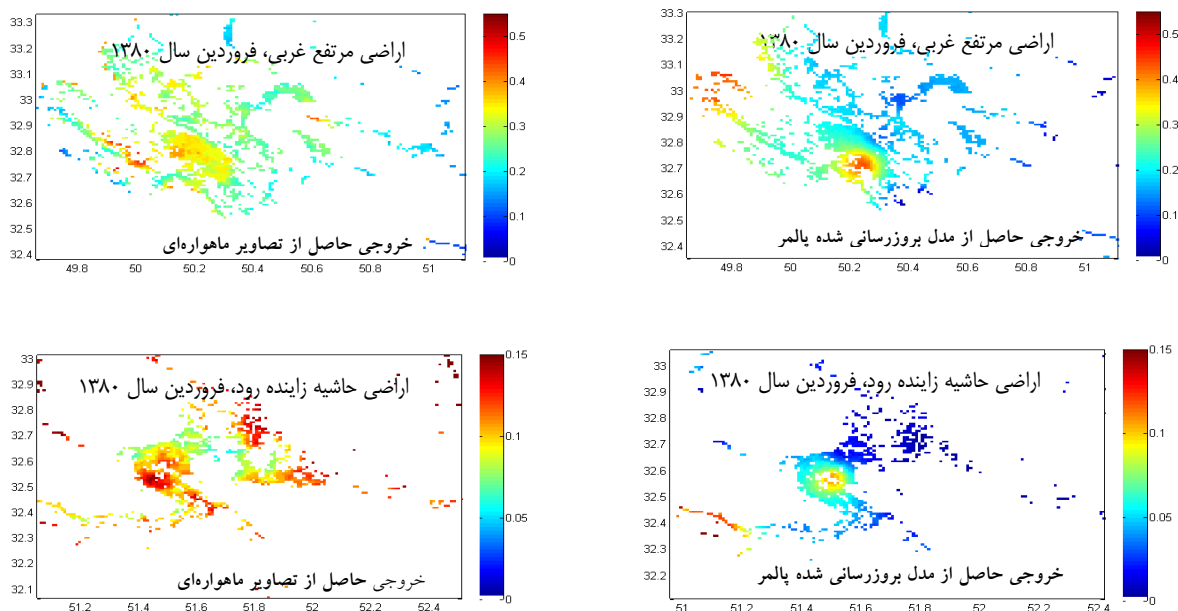


تصاویر سنجنده مادیس در اقلیم‌های مختلف جهان از جمله اقلیم خشک و نیمه خشک (المهاب و بوسو، ۲۰۰۸) می‌توان نتیجه گرفت که روش آهاس از کارایی خوبی جهت برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند استان اصفهان برخوردار است. پس از ارزیابی نقشه‌های تبخیر-تعرق مرجع و تولید نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل می‌بایست مدل روزرسانی شده پالمرد مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرارگیرد. بهترین روش برای ارزیابی مقایسه نتایج یک مدل با مقادیر اندازه‌گیری زمینی می‌باشد. این در حالی است که در مقیاس منطقه‌ای و بازه‌های زمانی مورد بررسی هیچگونه داده ثبت شده رطوبت خاک موجود نبوده‌است. بنابراین و بدلیل منطقه‌ای بودن مطالعه حاضر از نتایج سنجش از دور مقادیر رطوبت خاک استفاده گردید (شکل ۵). اگرچه این روش کنترل نتایج بهترین راهکار نیست ولی در حال حاضر و در این تحقیق بهترین گزینه می‌باشد.

جدول ۳ مقادیر ضریب تبیین و مقادیر خطای مطلق (MAE) میانگین مقادیر رطوبت خاک حاصل از مدل روزرسانی‌شده پالمرد و رطوبت خاکی که مستقیم از داده‌های ماهواره‌ای بدست آمده را در سال خشک و تر نشان می‌دهد. مدل توزیعی پالمرد بالاترین مقدار ضریب تبیین در دوره خشک را برابر ۰/۳۰۴ نشان می‌دهد (کشاورز، ۱۳۹۰). در این پژوهش با روزرسانی این ضریب به مقدار ۰/۵۳۴۸ در ماه خرداد ارتقا می‌یابد. همچنین در سال تر بالاترین مقدار این ضریب برابر ۰/۵۱۵ بوده‌است که بعد از روزرسانی به ۰/۵۲۱۶ در ماه خرداد می‌رسد. مشخص است که ورود نقشه‌های تبخیر-تعرق پتانسیل در دوره خشک به شدت بر روی اصلاح مدل تاثیر مثبت داشته‌است در حالی که در سال تر نتایج بهبود چشمگیری نشان نمی‌دهد. علت بالاتر بودن پراکندگی در سال تر می‌تواند عدم در نظر گرفتن بیلان افقی آب، تخمین ناصحیح ظرفیت آب در خاک که در سال تر چشمگیرتر است، باشد. همچنین در دوره خشک مقدار تبخیر-تعرق بالا بوده و با توجه به قابل توجه بودن مقدار آن

می‌بایست حتما از روش درستی آن را برآورد نمود چون در غیر این صورت مقدار خطای آن نیز قابل توجه خواهد بود. در دوره خشک بالاترین مقدار ضریب تبیین و کمترین مقدار خطای مطلق در ماه خرداد برابر مقادیر ۰/۵۳ و ۰/۰۵۹۵ مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد بهترین زمان برای روزرسانی استفاده از تصاویر شبیه‌سازی شده تبخیر-تعرق پتانسیل در این ماه می‌باشد که همزمان با وقوع حداکثر شاخص NDVI دوره در این ماه است. وظیفه‌دوست (۲۰۰۷) در پژوهشی داده‌های شاخص سطح برگ و تبخیر-تعرق را در ۱۸ تاریخ مختلف در طول رشد زمستانه در دوره تر ۸۴-۸۳ به منظور روزرسانی مدل SWAP و پیش‌بینی مقدار عملکرد شبیه‌سازی نمود. در این پژوهش نتایج پیش‌بینی کوتاه‌مدت میزان تولید که با روزرسانی متغیرهای درونی شاخص سطح برگ و تبخیر-تعرق انجام گردیده بسیار رضایتبخش بود (Bias=10%). نتایج تحقیقات میکا و همکاران (۲۰۰۵) نیز تایید می‌کند که مدل پالمرد در شرایط خشک نتایج بهتری را نشان می‌دهد. در واقع هرچه از ماه‌های ابتدایی دوره به انتهای آن نزدیک می‌شویم با کاهش مقدار بارندگی و افزایش دما روزرسانی مدل نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

شکل ۶ نقشه توزیع مکانی رطوبت خاک عمق توسعه ریشه مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و مدل توزیعی پالمرد را برای ماه فروردین در محدوده مورد مطالعه نمایش می‌دهد. هرچند که قضاوت بر روی این تصاویر برای کل منطقه صحیح نیست و این تصویرها مربوط ماه مربوط به خود و شرایط خاص رطوبتی و دمایی خاص آن ماه می‌باشد اما می‌توان یک نتیجه‌گیری کلی از این تصاویر بدست آورد که بطور کل مناطق حاشیه زاینده‌رود کمترین مقادیر رطوبت خاک را با استفاده از هر دو روش به خود اختصاص داد و همچنین بیشترین مقادیر رطوبت خاک نیز مربوط به مناطق مرتفع غربی می‌باشد. به هر حال بررسی‌های کیفی و بصری گویای مناسبی از شرح وضعیت منطقه نبوده و لازم است که برای بررسی‌های دقیق‌تر بصورت کمی به نتیجه بنگریم.



شکل ۶- استخراج نقشه توزیع مکانی رطوبت خاک عمق توسعه ریشه (بر حسب متر بر متر) در مناطق مختلف استان اصفهان و در زمان‌های متفاوت (A و B حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و C و D حاصل از مدل بروزرسانی شده پالم).

جدول ۲- معادله‌های خطوط برازش بین تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از الگوریتم آهاس (y) و تبخیر-تعرق پتانسیل حاصل از داده‌های تبخیر از تشت (x).

سال	معادله خط برازش	ضریب تبیین ( $R^2$ )	خطای مطلق (MAE)
۱۳۸۰	$Y=0.789x+0.288$	۰/۸۹۰	۱/۱۳
۱۳۸۴	$Y=0.755x+0.561$	۰/۸۲۸	۱/۰۳۹

جدول ۳- معیارهای ارزیابی خطا در پراکنش بین رطوبت خاک عمق توسعه ریشه حاصل از مدل بروزرسانی شده پالم و تصاویر ماهواره‌ای.

سال	ماه	ضریب تبیین ( $R^2$ )	خطای مطلق (MAE)
۱۳۸۰	فروردین	۰/۳۵۱۵	۰/۰۶۷
	اردیبهشت	۰/۵۰۹۶	۰/۰۷۱
	خرداد	۰/۵۳۴۸	۰/۰۵۹۵

بیان به تخمین دقیقی از مقادیر رطوبت خاک دست‌یافت. این پژوهش با هدف بروزرسانی مدل توزیعی پالم (کشاورز، ۱۳۹۰) توسط نقشه‌های با ارزش تبخیر-تعرق پتانسیل و تولید داده‌های منطقه‌ای رطوبت خاک برای استان اصفهان

### نتیجه‌گیری

به کمک داده‌های ماهواره‌ای می‌توان توزیع مکانی و زمانی مناسب تبخیر-تعرق را بعنوان مولفه اصلی بیان آب بصورت منطقه‌ای برآورد نموده و با ورود آن به مدل‌های

که در صورت در دسترس بودن داده‌های زمینی رطوبت خاک ارزیابی و صحت سنجی نتایج مدل از ارزش بالاتری برخوردار خواهد بود. همچنین نتایج نشان می‌دهند که کارایی مدل برورسانی شده در تخمین مقادیر رطوبت خاک برای هر دو دوره مناسب ولی در سال خشک بسیار افزایش یافته‌است، بنابراین استفاده از این مدل در منطقه خصوصاً در دوره‌های خشک توصیه می‌شود.

صورت‌گرفت. در واقع نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که چگونه با برورسانی این مدل توسط داده‌های ماهواره‌ای تبخیر-تعرق، همبستگی رطوبت حاصل از مدل پالم با داده‌های رطوبت حاصل از تصاویر ماهواره‌ای بطور چشمگیری افزایش می‌یابد. با استفاده از نتایج این پژوهش تغییرات زمانی و مکانی رطوبت خاک با دقت بالاتری در منطقه تولید شده که بی‌شک سری زمانی از تغییرات در یک دوره آماری درازمدت و بررسی میزان انحراف رطوبت خاک کاربرد وسیعی در مطالعات خشکسالی خواهد داشت. البته لازم به ذکر است

## منابع

- امین، س.، سلطانی، ع. ۱۳۸۶. تحلیل و تعمیم معادله‌های مرحله رده بندی نمایه خشکسالی پالم، نشریه دانش کشاورزی، ۱۷(۴): ۱-۱۶.
- بای بوردی، م. ۱۳۸۰. اصول مهندسی آبیاری. روابط آب و خاک. جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۷۰۹ صفحه.
- بداق جمالی، ج.، احمدیان، س.، جوانمرد، ت.، گل‌مکانی و ص.، ملکی زاده. ۱۳۷۷. ضرورت پایش وضعیت رطوبت خاک در افزایش بهره‌وری آب کشاورزی. یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۳۷۶-۳۹۰.
- جوانمرد، س.، بداق جمالی، ج.، احمدیان، ج.، قهرمان، ن. و موقر مقدم، ح. ۱۳۸۰. محاسبه نمایه شدت خشکسالی پالم در استان خراسان، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل.
- فتاحی، ا.، وظیفه دوست، م.، کشاورز، م.، ر. و نوری، ا. ح. ۱۳۹۰. توسعه و اصلاح نمایه خشکسالی پالم و صحت سنجی آن به کمک داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک در ایران، گزارش پروژه، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو (ASMERC).
- کشاورز، م. ر. ۱۳۹۰. توسعه مدل منطقه‌ای رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه خشک و صحت سنجی آن با داده‌های ماهواره‌ای مادیس، پایان نامه آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مباشری، م. ح. ۱۳۸۶. ارایه روشی جهت معتبرسازی داده های لندست 7ETM+ برای برآورد تبخیر-تعرق پس از معیوب شدن تصحیح نشده خط اسکن (SLC). پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۰: ۸۵-۹۵.
- نوروزی اقدم، ا. و. کرمی. ۱۳۸۸. بکارگیری فن آوری سنجش از دور در پایش و ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در حال بهره‌برداری. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۴۱۷-۴۲۸.

- Alley, W. M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: limitation and assumptions. J. Clim. Appl. Meteorol, 23: 1100-1109.
- Almhab, A., Busu, I. 2008. Estimation of evapotranspiration with modified SEBAL model using Landsat-TM and NOAA-AVHRR images in arid mountains area. Sec. Asia Int. Conf. Modelling & Simulation.
- Carlson, T., Capehart, W., Gillies, R. 1995. A new look at the simplified method for remote-sensing of daily evapotranspiration, Remote Sens. Environ., 54: 161-167.
- Er-Raki, S., Chehbouni, A., Duchemin, B. 2010. Combining satellite remote sensing data with the FAO-56 dual approach for water use mapping in irrigated wheat fields of a semi-arid region. Remote Sens., 2(1):375-387.

- Senay, G. B., Budde, M., Verdin, J. P., Melesse, A. M., 2007. A coupled Remote Sensing and Simplified Surface Energy Balance approach to estimate actual evapotranspiration from irrigated fields. *Sensors*, 7: 979-1000.
- Senay, G. B., Verdin, J. P. 2001. Using a GIS-Based Water Balance Model to Assess Regional Crop Performance. Fifth International Workshop on Application of Remote Sensing in Hydrology, Montpellier, France.
- Senay, G. B., Verdin, J. P. 2003. Characterization of yield reduction in Ethiopia using a GIS-Based crop water balance model. *J. Remote Sens.* 29(6): 687-692.
- Gomez, M., Oliso, A., Sobrino, J. A., Jacob, F. 2005. Retrieval of evapotranspiration over the Alpillles/ReSeDA experimental site using airborne POLDER sensor and a thermal camera. *Remote Sens. Environ.*, 96: 399-408.
- Karl, T. 1986. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25: 77-86.
- Mika J., Horváth, Sz., Makra, L., Dunkel, Z. 2005. The Palmer drought severity index [PDSI] as an indicator of soil moisture. *Phys. Chem. Earth*, 30: 223-230.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research Paper, No. 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C. Feb., 58 p.
- Parodi, N. 2002. AHVRR Hydrological Analysis System (AHAS). WRES – ITC 2002.
- Priestley, C. H. B., Taylor, R. J. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large Scale Parameters, *Mon. Weather Rev.*, 100: 81-92.
- Quiring S. M., Papakryiakou, T. N. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agric. Forest Meteorol.*, 118: 49-62.
- Sanchez, J. M., Scavone, G., Caselles, V., Valor, E., Copertino, V. A., Telesca, V. 2008. Monitoring daily evapotranspiration at a regional scale from Landsat-TM and ETM+ data: Application to the Basilicata region. *J. Hydrol.*, 351: 58-70.
- Vazifedoust, M. 2007. Development of an agricultural drought assessment system: Integration of agrohydrological modelling, remote sensing and geographical information. Doctoral Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Wigneron, J. P., Schmugge, T., Chanzy, A., Calvet, J. C. Kerr, Y. 1998. Use of passive microwave remote sensing to monitor soil moisture a review. *Agronomie: Agric. Environ.*, 18:27-43.



## Assimilation of evapotranspiration maps derived from Modis satellite data into the Palmer distributed soil moisture model

S. Ojaghloo Shahabi<sup>1</sup> – M. Vazifedoust<sup>2</sup> – A. Ashrafzadeh<sup>2</sup> – N. Pirmoradian<sup>2</sup> – M. Keshavar<sup>3</sup>

Received: 26-3-2013

Accepted: 11-9-2013

### Abstract

Soil moisture is considered as an important hydrological parameter which has a significant role in agricultural drought monitoring. Palmer model is a lumped hydrological model and has been applied widely for drought monitoring. Recently its distributed version has been developed for regional drought monitoring in Iran, but correction of evapotranspiration methods which definitely have a high effect on soil moisture residual have been less regarded. In this study, potential evapotranspiration derived from Modis satellite data and AHAS algorithm was used to reduce the uncertainty of the model caused by the input parameters. The soil moisture simulated using both original and developed Palmer distribution model. Results showed that updating Palmer distribution model during simulation increased correlation compared to simulation without any updates as coefficients of determination improved from 0.304 to 0.5348 in June. The results also showed that using potential evapotranspiration maps for dry periods had a positive effect on the model correction, while it had not significantly improvement in wet periods. The highest amount of coefficient of determination and the lowest amount of absolute error of 0.53 and 0.0595, respectively was observed in dry period for June which showed that the best time to update the images of simulated potential evapotranspiration was month June.

**Keywords:** AHAS, Modis, Potential Evapotranspiration, Soil moisture.

---

<sup>1</sup> M.Sc. Student of Water Engineering, Agricultural Science Faculty, University of Guilan

<sup>2</sup> Assistant Professor of Water Engineering Department, Agricultural Science Faculty, University of Guilan

(\*Corresponding Email Address: majid.vazifedoust@gmail.com)

<sup>3</sup> Ph. D. Student of Water Engineering Department, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran