



## برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش از دور، شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج آن با روش پنمن - مانتیث - فائو در باغات مرکبات شمال خوزستان

عزیز عظیمی<sup>۱\*</sup>، کاظم رنگزن<sup>۲</sup>، مصطفی کابلی زاده<sup>۳</sup>، محمد خرمیان<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. دکتری آبیاری و زهکشی، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:  
 دریافت: ۲۵ آبان ۱۳۹۳  
 پذیرش: ۳۰ خرداد ۱۳۹۴  
 دسترسی اینترنتی: ۲۶ دی ۱۳۹۴

### واژه‌های کلیدی:

تبخیر و تعرق  
 سنجش از دور  
 الگوریتم سبال  
 شبکه‌های عصبی مصنوعی  
 معادله پنمن - مانتیث - فائو

### چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین عوامل اتلاف آب می‌باشد. تبخیر و تعرق یک پدیده پیچیده‌ای است که به عوامل و داده‌های زیادی بستگی دارد، بنابراین برآورد دقیق میزان تبخیر و تعرق، بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد. هدف از این مطالعه برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین (سبال) و همچنین ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد. جهت محاسبه میزان سبال تبخیر و تعرق، روش الگوریتم سبال به وسیله تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گردید. در این تحقیق از چهار تصویر لندست ۸ استفاده شد که مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش، سنجش از دور و معادله پنمن - مانتیث - فائو، نشان می‌دهد که میانگین مربعات خطا (MSE) ۱/۵۴ و میانگین خطای مطلق (MAE) ۱/۰۴ میلی‌متر در روز می‌باشد. برای حل پیچیدگی فرآیند تبخیر، از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تبخیر از تشت بر اساس داده‌های هواشناسی استفاده گردید. در این تحقیق شبکه پرسپترون با الگوریتم پس انتشار خطا برای آموزش آن استفاده شد. برای آموزش شبکه از داده‌های اقلیمی روزانه ۱۳ ساله ایستگاه صفی آباد دزفول استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبات نشان داد بهترین شبکه، شبکه‌ای با همه ورودی‌ها، با یک لایه پنهان و ۲۸ نرون در لایه میانی می‌باشد. نتایج پیاده‌سازی این شبکه نشان‌دهنده، شاخص‌های آماری معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE) ۰/۰۳۲، میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۰۴۴۵ و ضریب تبیین ( $R^2$ ) ۰/۹۶۰۹ می‌باشد. مقایسه نتایج به دست آمده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با روش پنمن - مانتیث - فائو نشان می‌دهد که میانگین مربعات خطا (MSE) ۱/۱۱ و میانگین خطای مطلق (MAE) ۰/۵۲ میلی‌متر در روز می‌باشد. این نتایج، بیانگر عملکرد بهتر شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به روش سنجش از دور در برآورد میزان تبخیر و تعرق می‌باشد.

\*fdai5050@gmail.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

## مقدمه

ترکیب دو فرآیند جداگانه از دست رفتن آب از سطح خاک و آب‌های آزاد به صورت تبخیر و از گیاه به صورت تعرق، را تبخیر و تعرق می‌نامند. بیشتر مساحت ایران را مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌دهد. از طرفی میزان متوسط بارندگی در ایران حدود یک سوم متوسط بارندگی جهانی می‌باشد. این عوامل، اهمیت و ضرورت استفاده بهینه از آب در همه زمینه‌ها به خصوص بخش کشاورزی (که بیشترین مصرف آب را دارد) را نشان می‌دهد (۱ و ۹). افزایش جمعیت و کمبود منابع آب در سال‌های اخیر، بخش کشاورزی را با چالش‌های عمده‌ای در جهت تأمین نیازهای غذایی مردم و نیل به خودکفایی روبرو ساخته است (۳ و ۱۲). از این رو محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق به منظور انجام محاسبات و برنامه‌ریزی‌های مربوط به نیاز آبی محصولات کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است (۴ و ۱۱). تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان مبین این نکته است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با رابطه پنمن-مانتیت-فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتر از دیگر روابط برآورد  $ET_0$  بهتر می‌باشد و در شرایطی که داده‌های لایسیمتری در دسترس نباشد، به عنوان یک رابطه استاندارد توصیه شده است (۲، ۱۶ و ۲۲). لذا با توجه به عدم وجود داده‌های لایسیمتری در منطقه، به منظور ارزیابی الگوریتم سبال، مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده از طریق روش‌های فوق با مقادیر حاصل از روش پنمن-مانتیت-فائو مقایسه خواهد شد.

در زمینه برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از الگوریتم سبال تحقیقات بسیاری در ایران و جهان انجام گرفته است. محسنی ساروی و همکاران (۱۴) به منظور بررسی کارایی مدل سبال در محاسبه تبخیر و تعرق مناطق کوهستانی با استفاده از ماهواره مودیس، تبخیر و تعرق در حوزه آبخیز طالقان در ۲۲ روز در سال ۲۰۰۶ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از مدل سبال با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر نشان داد که مقادیر برآوردی و اندازه‌گیری شده از همبستگی بالا ( $R^2=0/88$ ) برخوردار می‌باشند. حسن‌پور و همکاران (۶) با

برآورد تبخیر و تعرق از روش سبال در شهرستان کرمان، نتایج به دست آمده از مدل سبال با مقادیر لایسمتری اندازه‌گیری شده را مقایسه کردند و دریافتند متوسط خطای نسبی در مورد تبخیر و تعرق روزانه  $6/2\%$  و در مورد تبخیر و تعرق ساعتی  $4/2\%$  می‌باشد. امینی بازیانی و همکاران (۳) به ارزیابی الگوریتم سبال در برآورد تبخیر تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ در منطقه مطالعاتی دشت همدان بهار واقع در استان همدان و مقایسه آن با روش پنمن مانیتیت پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که الگوریتم سبال با ضریب همبستگی  $0/96$ ، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)  $0/31$  و میانگین خطای مطلق (MAE)  $0/26$  از دقت قابل قبولی برخوردار است.

جهت انجام تحقیق، از تصاویر ماهواره لندست ۸ قابل دسترس در تاریخ‌های ۱۴ سپتامبر ۲۰۱۳ (۲۳ شهریور ۱۳۹۲)، ۱۶ اکتبر ۲۰۱۳ (۲۴ مهر ۱۳۹۲)، ۲۰ ژانویه ۲۰۱۴ (۳۰ دی ۱۳۹۲) و ۲۸ می ۲۰۱۴ (۷ خرداد ۱۳۹۳) قابل دانلود در سایت سازمان ملی زمین‌شناسی آمریکا استفاده گردید. علت انتخاب تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره علاوه بر رایگان بودن، قدرت تفکیک مکانی بالاتر نسبت به سنجنده مودیس و همچنین وجود آسمانی صاف و بدون ابر در منطقه در تاریخ‌های مذکور می‌باشد. برای محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و به روش پنمن-مانتیت-فائو از آمار موجود در ایستگاه هواشناسی صفی‌آباد دزفول شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت، ساعت آفتابی، حداکثر سرعت باد و میزان تبخیر از تشتت به صورت روزانه استفاده شد.

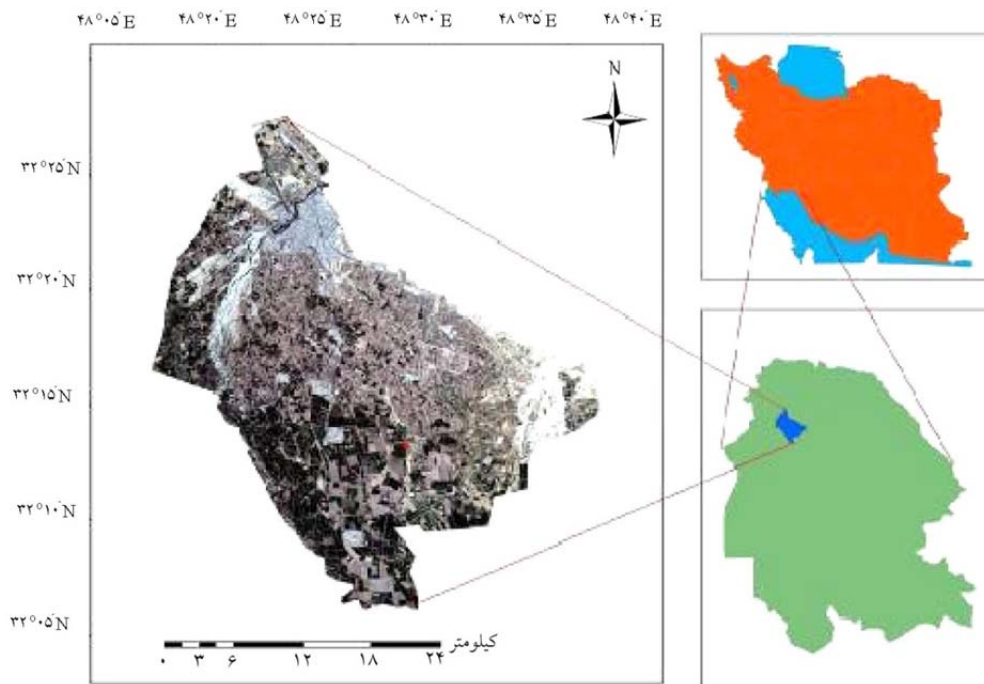
## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با مساحت  $62126$  هکتار، در ناحیه جلگه‌ای شهرستان دزفول که در ابتدای دشت وسیع و حاصل‌خیز خوزستان در حد فاصل طول شرقی  $39^{\circ} 48'$  تا  $16^{\circ} 48'$  و عرض شمالی  $06^{\circ} 36'$  تا  $28^{\circ} 32'$  واقع شده

آمار روزانه موجود در ایستگاه هواشناسی صفی‌آباد دزفول (طول جغرافیایی "۵۹° ۲۵' ۴۸" و عرض جغرافیایی "۱۲° ۱۵' ۳۲" و ۸۲ متر ارتفاع از سطح دریا) استفاده شده است.

است (شکل ۱). منطقه مورد مطالعه قسمتی از زیر حوزه دز بوده، و شامل مزارع و باغات بزرگ شرکت کشت و صنعت شهید رجایی و شرکت کشت و صنعت شهید بهشتی می‌باشد. برای محاسبه تبخیر و تعرق به روش پنمن-مانتیث-فائو از



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای و حداقل داده‌های زمینی مورد نیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌نماید. از آنجا که تصاویر ماهواره‌ای تنها می‌تواند اطلاعاتی در زمان گذر ماهواره ارائه دهند، لذا سبال می‌تواند مقدار شار تبخیر و تعرق لحظه‌ای را در زمان تصویر، برآورد نماید. شار تبخیر و تعرق برای هر پیکسل تصویر، به صورت باقیمانده توازن انرژی سطح می‌باشد.

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad [1]$$

در این رابطه؛  $\lambda ET$  شار گرمای نهان (انرژی که برای تبخیر آب به کار می‌رود)،  $R_n$  تابش خالص در سطح زمین،  $G$  شار گرمای خاک و  $H$  شار گرمای محسوس می‌باشند. تمامی

#### نرم‌افزارهای مورد استفاده

در این مطالعه از نرم‌افزار ENVI<sup>®</sup>4.8 برای پردازش تصویری و آماده‌سازی تصاویر ERDAS<sup>®</sup>9.1 برای اجرای الگوریتم سبال، نرم‌افزار REF-ET برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نرم‌افزار MatLab برای محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup>10 برای برش زدن مرز حوزه و ارائه نقشه لایه‌ها استفاده گردیده است.

#### روش تحقیق

##### الگوریتم توازن انرژی سطحی برای زمین (سبال)

مدل سبال میزان تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \times \sigma \times T_s^4 \quad [5]$$

در این رابطه؛  $\varepsilon_0$  گسیلندگی سطحی عریض باند،  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن ( $5/67 \times 10^{-8}$  وات بر متر مربع بر توان چهارم کلوین) و  $T_s$  دمای سطحی (کلوین) است.

### شار گرمای خاک (G)

شار گرمای خاک، میزان انتقال گرما در خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است. در مدل سبال G را از نسبت  $G/R_n$  ارائه شده توسط باستیانسن و همکاران (۲۰)، از رابطه ۶ تعیین گردید.

$$\frac{G}{R} = \frac{T_s}{\alpha} \times (0.0032 \times \alpha + 0.0062 \times \alpha^2) \times (1 - 0.978 \times NDVI^4) \quad [6]$$

در این رابطه؛  $T_s$  دمای سطحی بر حسب درجه سانتیگراد، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI (که با استفاده از رابطه ۷ محاسبه گردید) و  $\alpha$  آلبیدوی سطحی می باشد (۱۰).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad [7]$$

در این رابطه؛  $\rho_R$  انعکاس در باند قرمز و  $\rho_{NIR}$  انعکاس در باند مادون قرمز نزدیک می باشند. این شاخص در حقیقت نشان دهنده تراکم پوشش گیاهی است و هر قدر پوشش گیاهی متراکم تر باشد مقدار آن بیشتر است. مقدار تغییرات NDVI بین -۱ و ۱ می باشد. سطوح دارای پوشش گیاهی دارای NDVI بین صفر و یک و همچنین آب و ابر معمولاً دارای NDVI کمتر از صفر هستند (۱۸). چنانچه مقدار NDVI کمتر از صفر باشد، سطح مذکور آب تلقی شده و نسبت  $G/R_n$  برای آن برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می شود. مناطق دارای مقدار  $T_s$  کمتر از  $4^\circ C$  و  $\alpha$  بیشتر از ۰/۴۵ باشد، مناطق پوشیده از برف فرض می شوند و نسبت  $G/R_n$  برای این مناطق نیز ۰/۵ لحاظ می گردد (۱۸).

پارامترها بر حسب وات بر متر مربع هستند (۱۳).

### تابش خالص ( $R_n$ )

تابش خالص عبارت است از اختلاف جریان تابش خروجی و ورودی بوده و معیاری از مقدار انرژی موجود در سطح زمین به شمار می رود. میزان تابش خالص و اجزای آن در سطح زمین از رابطه ۲ تعیین گردید (۶).

$$R_n = (1 - \alpha) R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0) R_{L\downarrow} \quad [2]$$

در این رابطه؛  $R_{s\downarrow}$  تابش طول موج کوتاه ورودی (وات بر متر مربع)،  $R_{L\downarrow}$  تابش طول موج بلند ورودی (وات بر متر مربع)،  $R_{L\uparrow}$  تابش طول موج بلند خروجی (وات بر متر مربع)،  $\alpha$  ضریب آلبیدوی سطحی و  $\varepsilon_0$  ضریب انتشار سطحی می باشد. تابش ورودی موج کوتاه ( $R_{s\downarrow}$ )، تابش خورشیدی مستقیم و پراکنده است که به زمین می رسد و مقدار آن برای زمان تصویر با فرض شرایط آسمان صاف، از رابطه ۳ محاسبه شد (۱۹).

$$R_{s\downarrow} = G_{sc} \times \cos \theta \times d_r \times \tau_{sw} \quad [3]$$

در این رابطه؛  $G_{sc}$  ثابت خورشیدی برابر با  $1367$  وات بر متر مربع،  $d_r$  معکوس مربع فاصله نسبی بین زمین و خورشید و  $\tau_{sw}$  ضریب شفافیت اتمسفر می باشد. تابش موج بلند ورودی ( $R_{L\downarrow}$ )، شار تابش حرارتی از جو به سمت پایین است که از رابطه ۴ تعیین گردید (۱۹).

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \times \sigma \times T_a^4 \quad [4]$$

در این رابطه؛  $\varepsilon_a$  گسیلندگی جو،  $\sigma$  ثابت استفان-بولتزمن ( $5/67 \times 10^{-8}$  وات بر متر مربع بر توان چهارم کلوین) و  $T_a$  دمای هوای نزدیک سطح (کلوین) است. تابش موج بلند خروجی ( $R_{L\uparrow}$ )، شار تابش حرارتی گسیل شده از سطح زمین به جو می باشد و با استفاده از رابطه استفان-بولتزمن محاسبه گردید (۱۹).

### شار گرمای محسوس (H)

در روش سبال برای برآورد شار گرمای محسوس، ابتدا دو پیکسل شاخص انتخاب می‌شوند، یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده می‌باشد که دمای سطح زمین در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرقی برابر با تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک می‌باشد. بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود (۵). در روش سبال طبق رابطه ۱ و بر اساس مقادیر تبخیر و تعرق دو پیکسل مذکور، شار گرمای محسوس سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شود. مقدار شار گرمای محسوس به صورت زیر محاسبه می‌گردد (۱۹).

$$H = \frac{\rho_{air} \times C_{air} \times dT}{r_{ah}} \quad [۸]$$

در این رابطه؛  $\rho_{air}$  چگالی هوا (کیلوگرم بر متر مکعب)،  $C_{air}$  گرمای ویژه هوا (ژول بر کیلوگرم بر کلونین)،  $dT$  اختلاف دمای بین دو ارتفاع  $Z_1$  و  $Z_2$  (کلونین) و  $r_{ah}$  مقاومت آیرودینامیکی برای انتقال گرما (ثانیه بر متر) می‌باشد. پس از آنکه مقدار شار گرمای محسوس بر اساس شرایط جوی تصحیح گردید. مقدار شار گرمای نهان تبخیر بر اساس رابطه ۱ برای هر پیکسل محاسبه می‌گردد و سپس با استفاده از رابطه ۹ تبخیر و تعرق لحظه‌ای ( $ET_{ins}$ ) برآورد گردید (۱۹).

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad [۹]$$

در این رابطه؛  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر بوده که از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد.

$$\lambda = [2/501 - 0.0236(T_s - 273)] \times 10^6 \quad [۱۰]$$

### برآورد تبخیر و تعرق روزانه

غالباً مقدار روزانه  $ET$ ،  $ET_{24}$  کاربرد بیشتری نسبت به

مقادیر  $ET$  لحظه‌ای دارند. سبال  $ET_{24}$  را با فرض اینکه،  $ET_r F$  لحظه‌ای به صورت میانگین ۲۴ ساعته است (یعنی در طول ۲۴ ساعت تقریباً ثابت است) محاسبه می‌کند.  $ET_{24}$  را می‌توان از رابطه ۱۱ محاسبه کرد (۱۹).

$$ET_{24} = ET_r F \times ET_{r-24} \quad [۱۱]$$

در این رابطه؛  $ET_{r-24}$  مجموع  $ET_r$  در طی ۲۴ ساعت برای همان روز تصویربرداری می‌باشد که با جمع کردن مقادیر ساعتی  $ET_r$  (محاسبه شده در نرم‌افزار REF-ET) با یکدیگر در روز گذر ماهواره تعیین گردید.

### محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

مراحل ساخت یک مدل شبکه عصبی به منظور طبقه‌بندی یا پیش‌بینی شامل؛ جمع‌آوری مجموعه کافی از ورودی‌ها و خروجی‌های مورد نظر، نرمالیزه کردن داده‌ها در محدوده ۰ و ۱، تقسیم داده‌ها به سه مجموعه آموزشی، صحت‌سنجی، تست، تعیین نوع ساختار شبکه، تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نرون‌ها، تابع انتقال و الگوریتم آموزشی، آموزش شبکه، تست شبکه (مقایسه خروجی‌های محاسبه شده با خروجی‌های واقعی)، محاسبه خطای مدل، تکرار مراحل فوق با تغییر گام ۴ تا رسیدن به شبکه‌ای با کمترین خطا می‌باشد. (۱۶). در این تحقیق از داده‌های حداقل و حداکثر دما و رطوبت، حداکثر سرعت باد روزانه و ساعات آفتابی به عنوان ورودی و از میزان تبخیر از تشت به عنوان خروجی برای اعمال به شبکه استفاده شد. برای نرمال‌سازی داده‌ها از روش ماکزیمم و مینیمم داده‌ها استفاده شد. در این روش بر اساس رابطه ۱۲ داده‌ها بین مقادیر صفر و یک قرار می‌گیرند.

$$N = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad [۱۲]$$

در این رابطه؛  $N$  مقادیر نرمال شده،  $X_i$  مقادیر واقعی،  $X_{max}$  حداکثر مقادیر واقعی،  $X_{min}$  حداقل مقادیر واقعی.

$$MSE = \frac{\sum_1^K (X_k - Y_k)^2}{k} \quad [14]$$

$$MAE = \frac{\sum_1^K |X_k - Y_k|}{k} \quad [15]$$

در این رابطه‌ها؛  $K$  تعداد داده‌ها،  $X_k$  مقادیر حاصل از روش پنمن-مانتیت-فائو و  $Y_k$  مقادیر حاصل از الگوریتم سبال و یا شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشد. این مقادیر هرچه به صفر نزدیکتر باشند به این معنی است که مقادیر دارای خطای کمتری نسبت به حالت استاندارد (روش پنمن-مانتیت-فائو) می‌باشند (۸).

## نتایج

### استفاده از روش سبال

همان گونه که اشاره شد الگوریتم سبال از بخش‌های مختلفی تشکیل شده است. در این الگوریتم پارامترهایی مانند شاخص گیاهی NDVI، آلبیدوی سطحی و دمای سطحی محاسبه شدند. در جدول ۱ آمار مربوط به شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است.

### محاسبه تبخیر و تعرق به روش پنمن-مونتیت-فائو

روش پنمن-مونتیت-فائو یک روش ترکیبی برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد. در این روش گیاه مرجع، گیاهی فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر، ضریب بازتاب ۰.۲۳ و مقاومت روزنه (در مقابل تعرق) ۷۰ ثانیه بر متر می‌باشد (۱۷). معادله پنمن-مونتیت-فائو از رابطه ۱۳ تعیین گردید.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \lambda \left( \frac{900}{T + 273} \right) (e_s - e_a) u_2}{\Delta + (1 + 0.34u_2)} \quad [13]$$

در این رابطه؛  $ET_o$  تبخیر و تعرق بالقوه گیاه مرجع ( $\text{mm per day}^{-1}$ )،  $T$  دمای متوسط هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری ( $\text{ms}^{-1}$ )،  $R_n$  تابش خالص ( $\text{Mjm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )،  $G$  شار گرمای خاک ( $\text{Mjm}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )،  $e_s$  فشار بخار اشباع (kpa)،  $e_a$  فشار بخار واقعی (kpa)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $\text{KPa}^{\circ}\text{C}$ ) و  $\gamma$  ضریب ساکرومتری می‌باشد. پس از محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل از رابطه ۱۳، نتیجه حاصله در ضریب گیاهی مربوطه (باغات مرکبات) ضرب شده تا میزان تبخیر و تعرق واقعی به دست آید. در نهایت به منظور ارزیابی و دقت روش‌های به کار برده شده در پیش‌بینی تبخیر و تعرق، از معیارهای میانگین مربعات خطا (MSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد.

جدول ۱. آمار مربوط به NDVI در منطقه

تاریخ تصویر	حداکثر	حداقل	میانگین	مد	میانه
۲۰۱۳/۰۹/۱۴	۰/۸۰۹	-۰/۵۳۹	۰/۲۶۸	۰/۱۰۷	۰/۱۴۴
۲۰۱۳/۱۰/۱۶	۰/۷۷۸	-۰/۵۵۶	۰/۲۷۰	۰/۱۱۱	۰/۱۶۸
۲۰۱۴/۰۱/۲۰	۰/۸۵۰	-۰/۷۸۵	۰/۳۶۲	۰/۲۰۵	۰/۲۵۶
۲۰۱۴/۰۵/۲۸	۰/۸۱۳	-۰/۶۱۷	۰/۲۸۲	۰/۱۳۱	۰/۱۸۲

به کشت محصولات زمستانی در مزارع منطقه می‌باشد. در جدول ۲ نتایج مربوط به آلبیدو ارائه شده است.

همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بیشترین مقدار متوسط NDVI مربوط به تاریخ ۲۰۱۴/۰۱/۲۰ که مربوط

جدول ۲. آمار مربوط به آلبیدوی سطحی در منطقه

تاریخ تصویر	حداکثر	حداقل	میانگین	مد	میانه
۲۰۱۳/۰۹/۱۴	۰/۶۳۵	۰/۰۵۴	۰/۲۶۸	۰/۳۲۲	۰/۳۴۵
۲۰۱۳/۱۰/۱۶	۰/۶۳۲	۰/۰۷۱	۰/۲۵۱	۰/۱۶۳	۰/۳۵۱
۲۰۱۴/۰۱/۲۰	۰/۶۱۹	۰/۰۴۴	۰/۱۸۸	۰/۱۸۶	۰/۳۳۱
۲۰۱۴/۰۵/۲۸	۰/۶۸۱	۰/۰۵۵	۰/۲۷۱	۰/۳۲۶	۰/۳۶۸

نداشته است) و پوشش گیاهی بهتر منطقه نسبت به سایر روزها، مقدار متوسط آلبیدوی سطحی پایین تر می باشد. در جدول ۳ نتایج مقادیر مربوط به دمای سطحی زمین (برحسب درجه کلونین) آورده شده است.

بیشترین مقادیر آلبیدوی سطحی مربوط به زمین های بایر و کمترین مقدار آن مربوط به زمین های کشاورزی و رودخانه ها می باشد. در تاریخ ۲۰۱۴/۰۱/۲۰ به علت خیس بودن زمین (به دلیل بارندگی سنگین در روزهای قبل از تصویربرداری) (در سایر تاریخ ها زمین خشک و بارندگی قبل از آن ها وجود

جدول ۳. آمار مربوط به دمای سطحی در منطقه بر حسب درجه کلونین

تاریخ تصویر	حداکثر	حداقل	میانگین	مد	میانه
۲۰۱۳/۰۹/۱۴	۳۲۸/۹۸	۳۰۳/۹۱	۳۱۷/۴۳۹	۳۲۳/۵۷	۳۲۱/۱۱
۲۰۱۳/۱۰/۱۶	۳۱۹/۱۲	۲۹۷/۵۷	۳۰۷/۵۹۱	۳۱۲/۸۱	۳۰۹/۱۳۹
۲۰۱۴/۰۱/۲۰	۲۹۲/۳	۲۷۸/۳۹	۲۸۸/۰۰۸	۲۸۸/۵۵	۲۸۸/۳۳
۲۰۱۴/۰۵/۲۸	۳۳۳/۸۸	۲۹۵/۸۸	۳۱۸/۷۰	۳۱۹/۶۳	۳۱۴/۸۸

حداقل و حداکثر دما در تاریخ ۲۰۱۴/۰۱/۲۰ خیس بودن زمین می باشد که مانع از بالا رفتن دما در زمین های بایر در منطقه شده است. پس از محاسبه پارامترهای مقدماتی، با دنبال کردن الگوریتم سبال، به محاسبه پارامترهای اصلی پرداخته و پس از محاسبه  $ET_r$  و  $ET_{24}$  به کمک نرم افزار REF-ET، مقادیر تبخیر و تعرق منطقه به دست آمد.

مقادیر به دست آمده برای دمای سطحی، با روند افزایش و کاهش دمای هوا در منطقه مطابقت دارد. برای اطمینان از صحت نتایج، دمای به دست آمده با دمای اندازه گیری شده در عمق ۵ سانتی متری خاک در ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه مقایسه گردید که نتایج جدول ۴، اختلاف کمتر از دو درجه را نشان می دهد. علت اصلی پایین بودن اختلاف بین

جدول ۴. نتایج دمای حاصله از سنجش از دور و دمای اندازه گیری شده در ایستگاه هواشناسی بر حسب درجه سانتیگراد

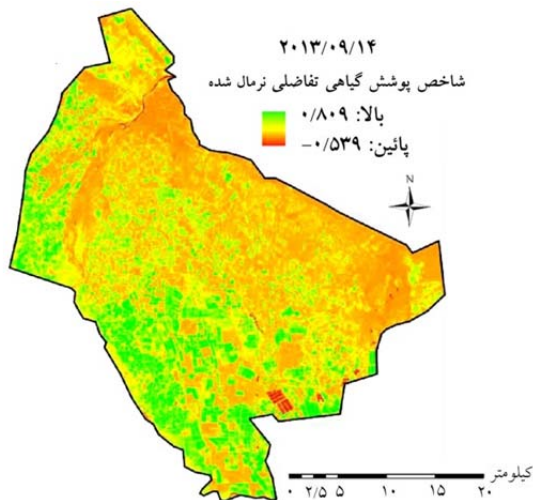
	۲۰۱۳/۰۹/۱۴	۲۰۱۳/۱۰/۱۶	۲۰۱۴/۰۱/۲۰	۲۰۱۴/۰۵/۲۸
سنجش از دور	۴۵/۴۳	۳۵/۲۴	۱۵/۰۴	۴۳/۱۵
ایستگاه هواشناسی	۴۴	۳۴/۲	۱۶/۸	۴۴/۸

شار گرمای محسوس (شکل ۷) و شار گرمای نهان تبخیر (شکل ۸) مربوط به تاریخ ۲۰۱۳/۰۹/۱۴ آورده شده است. همان گونه که در شکل های ۲ تا ۸ مشاهده می شود در نقاطی

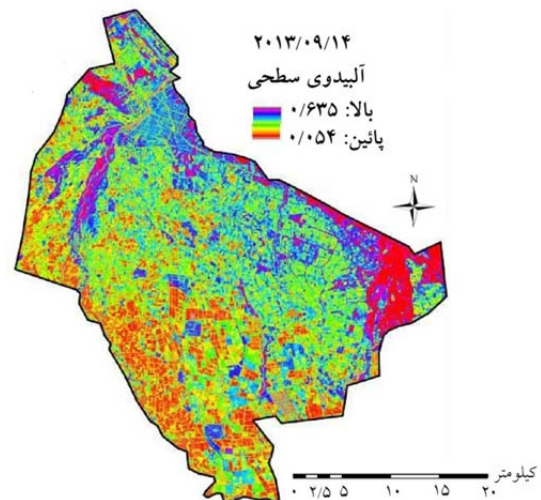
نقشه توزیع آلبیدوی سطحی (شکل ۲)، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (شکل ۳)، دمای سطح زمین (شکل ۴)، شار تابش خالص (شکل ۵)، شار گرمای خاک (شکل ۶)،

خالص بیشتر می‌باشند. از طرف دیگر تابش خالص، با آلبیدوی سطحی رابطه عکس دارد. این موضوع با معکوس شدن مقادیر حداقل و حداکثر در نقشه‌های دو پارامتر کاملاً مشخص است. شار گرمای خاک با میزان پوشش گیاهی نسبت عکس دارد این امر با معکوس شدن مقادیر حداقل و حداکثر در نقشه‌های دو پارامتر فوق مشخص است. به دلیل وجود رطوبت، در پوشش گیاهی شار گرمای نهان نیز در مناطقی که میزان پوشش گیاهی بالاتر است، بیشتر می‌باشد. در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نقشه توزیع مقادیر تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته برای هر چهار تصویر (شکل ۹، ۲۰۱۳/۰۹/۰۴؛ شکل ۱۰، ۲۰۱۳/۱۰/۱۶؛ شکل ۱۱، ۲۰۱۴/۰۱/۲۰؛ شکل ۱۲، ۲۰۱۴/۰۵/۲۸) آمده است.

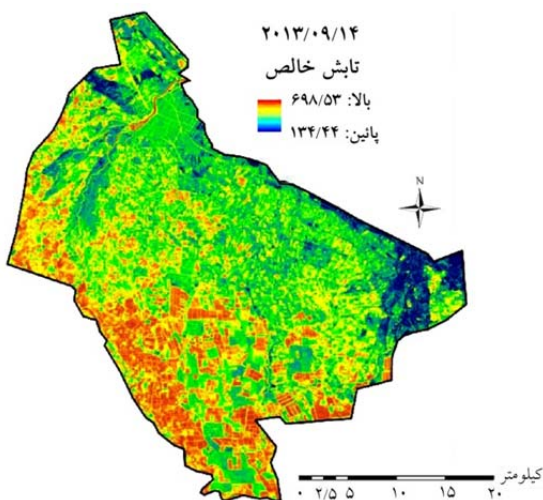
که میزان پوشش گیاهی بیشتر است، آلبیدوی سطحی به دلیل رنگ تیره‌تر این نقاط نسبت به زمین‌های بایر کمتر می‌باشد. از طرفی، با افزایش پوشش گیاهی سطح سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی سطح زمین افزایش یافته و در نتیجه امکان رسیدن نور خورشید به سطح زمین با افزایش سطح سایه، کاهش یافته و بنابراین امکان گرم شدن سطح زمین کاهش می‌یابد. بنابراین در نقاطی که پوشش گیاهی متراکم‌تر است، دمای سطح زمین کمتر است. تابش خالص، با تابش طول موج بلند ورودی و تابش طول موج کوتاه ورودی رابطه مستقیم دارد. از آنجایی که این دو پارامتر با دمای سطحی رابطه مستقیم دارند در مناطقی که دمای سطحی بالاتری دارند، مقادیر تابش



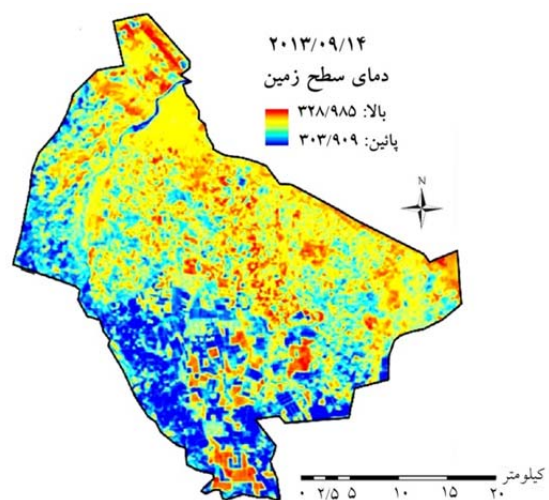
شکل ۳. نقشه توزیع شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده



شکل ۲. نقشه توزیع مقادیر آلبیدوی سطحی

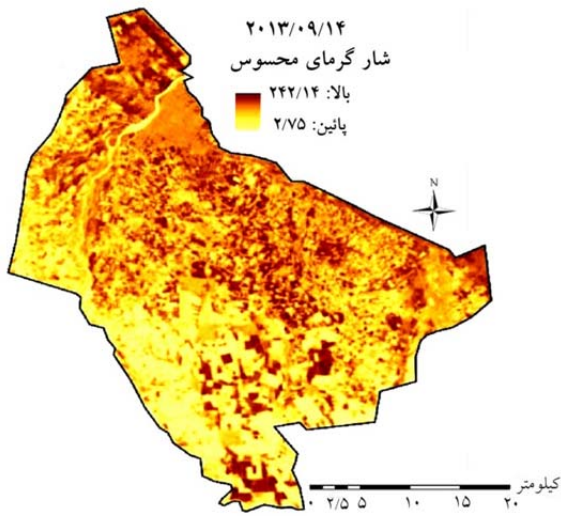


شکل ۵. نقشه توزیع تابش خالص

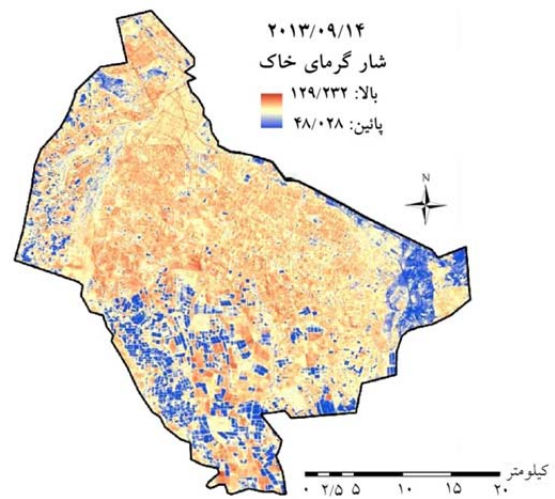


شکل ۴. نقشه توزیع دمای سطح زمین

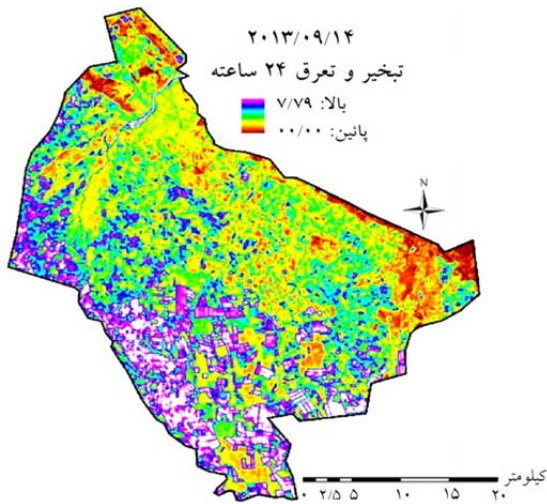




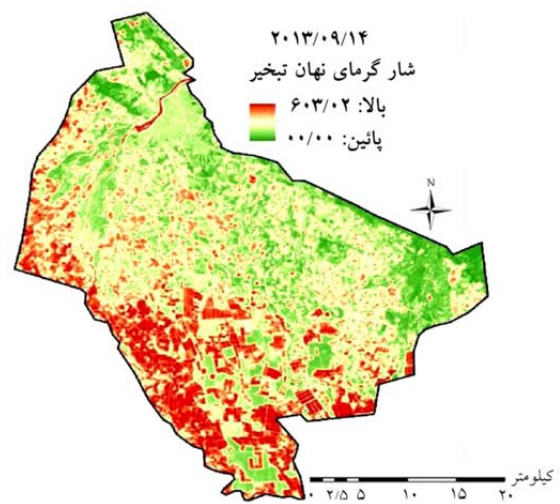
شکل ۷. نقشه توزیع شار گرمای محسوس



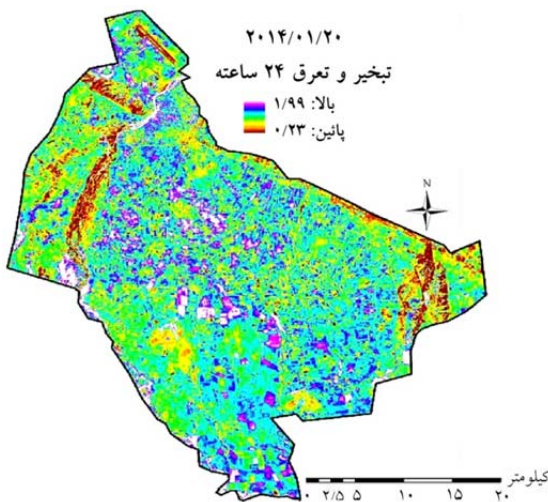
شکل ۶. نقشه توزیع شار گرمای خاک



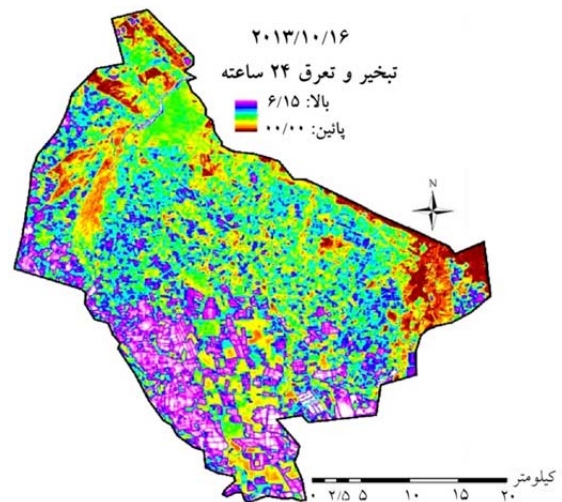
شکل ۹. نقشه توزیع تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته



شکل ۸. نقشه توزیع شار گرمای نهان تبخیر



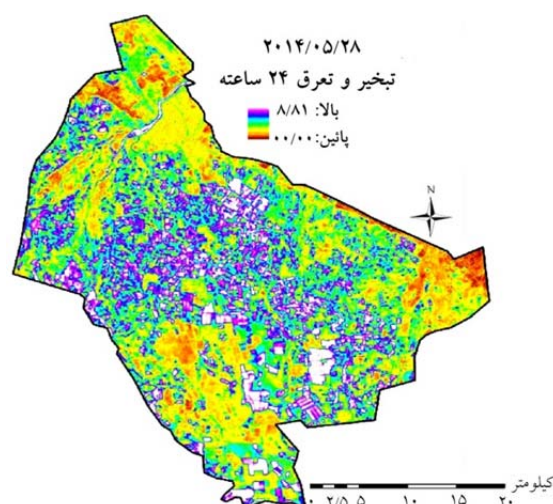
شکل ۱۱. نقشه توزیع تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته



شکل ۱۰. نقشه توزیع تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته

تانژانت سیگموئید و لوگ سیگموئید است. الگوریتم‌های یادگیری مورد استفاده در شبکه نیز LM, BR, GDX, BFG و OSS می‌باشد.

ضمناً درصد داده‌های اختصاص داده شده به داده‌های آموزشی، ارزیابی و تست به ترتیب ۷۰، ۱۵ و ۱۵٪ کل داده‌ها می‌باشد. لازم به ذکر است که ساختار شبکه بالا با توجه به مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه، و نتایج حاصل از اجرای شبکه (با الگوریتم‌ها و توابع انتقال متفاوت) به روش سعی و خطا در طول فرآیند این تحقیق انتخاب گردید.



شکل ۱۲. نقشه توزیع تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته

### تعیین متغیرهای ورودی مدل

یکی از مهم‌ترین مراحل فرآیند توسعه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، تعیین اهمیت متغیرهای ورودی می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی اهمیت هر یک از پارامترهای ورودی، از ۱۵ مدل مختلف از ترکیبات ورودی‌های موجود استفاده شده است. در جدول ۵ مدل‌های ورودی ساخته شده بر اساس پارامترهای ورودی مؤثر ارائه شده است.

پس از تهیه مدل‌های ورودی در خصوص هر کدام از مدل‌ها شبکه‌ای از نوع پیش‌خور برای پیش‌بینی تهیه گردید است. در مرحله بعد انتخاب نرون‌های لایه پنهان بستگی به پیچیدگی تابع دارد، به نحوی که هر قدر تابع دارای نقاط عطف بیشتری باشد، باید تعداد نرون‌های لایه پنهان را بیشتر در نظر گرفت (۱۵).

تعداد مطلوب نرون‌های هر لایه از طریق آزمون و خطا صورت می‌پذیرد (۲۲). سپس در مرحله آموزش، ۷۰٪ داده‌ها به شبکه شناسایی و رابطه بین داده‌های ورودی و خروجی بررسی شد. نتایج استخراج شده مدل‌های ANN در مرحله تست به صورت ورودی‌های نرمال شده در جدول ۶ ارائه شده است.

### استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

انتخاب ساختار شبکه در شبکه عصبی مصنوعی با روش سعی و خطا می‌باشد که طی آن با استفاده از ارقام مختلف لایه‌های پنهان و نرون‌های مربوط و همچنین افزایش ورودی‌ها به شبکه به صورت گام به گام می‌توان شبکه بهینه‌ای را ایجاد نمود (۷).

به منظور رسیدن به بهترین ساختار شبکه، پارامترها و شاخص‌های متعددی وجود دارد. این پارامترها شامل تعداد ورودی‌ها، تعداد لایه‌های مخفی، تعداد نرون‌های هر لایه، توابع انتقال بکار رفته در هر لایه، تغییر در مقدار درصد تقسیم‌بندی داده‌های آموزشی، ارزیابی و تست، تغییر در پارامتر نرخ یادگیری و تعداد تکرار (Epoch) می‌باشد (۱۶).

یکی از مهم‌ترین گام‌ها در پیشبرد رضایت بخشی مدل پیش‌بینی شبکه عصبی، انتخاب متغیرهای ورودی مناسب می‌باشد. به این منظور نیاز به ارزیابی عملکرد شبکه‌های عصبی با ورودی‌های مختلف می‌باشد. سعی بر این است که شبکه‌ای با کمترین خطا و بالاترین میزان همبستگی معرفی شود (۲۲). ساختار طراحی شده شبکه در این مطالعه یک شبکه پس‌انتشار می‌باشد (۲۳). توابع انتقال بکار رفته در این شبکه توابع

جدول ۵. مدل‌های ورودی ساخته شده بر اساس پارامترهای مؤثر

نام شبکه	پارامترهای بردار ورودی
ANN1	حداکثر دما + حداقل دما + حداکثر رطوبت + حداقل رطوبت + ساعت آفتاب + حداکثر سرعت باد
ANN2	حداکثر دما + حداقل دما + ساعت آفتاب + حداکثر سرعت باد
ANN3	حداکثر رطوبت + حداقل رطوبت + ساعت آفتاب + حداکثر سرعت باد
ANN4	حداکثر دما + حداقل دما + حداکثر رطوبت + حداقل رطوبت
ANN5	حداکثر دما + حداقل رطوبت + ساعت آفتاب
ANN6	حداقل رطوبت + ساعت آفتاب + حداکثر سرعت باد
ANN7	حداکثر رطوبت + ساعت آفتاب
ANN8	ساعت آفتاب + حداکثر سرعت باد
ANN9	حداکثر دما + حداقل دما
ANN10	حداکثر رطوبت + حداقل رطوبت
ANN11	حداکثر دما + حداکثر سرعت باد
ANN12	حداقل رطوبت + حداکثر سرعت باد
ANN13	حداقل دما
ANN14	ساعت آفتاب
ANN15	حداکثر سرعت باد

جدول ۶. مقایسه نتایج شبکه‌های طراحی شده بر مبنای پارامترهای ورودی

ANN	MSE	MAE	R <sup>2</sup>
ANN1	۰/۰۰۳	۰/۰۴۲	۰/۹۵۷
ANN2	۰/۰۰۳	۰/۰۴۵	۰/۹۵۲
ANN3	۰/۰۰۶	۰/۰۵۸	۰/۹۲۴
ANN4	۰/۰۰۴	۰/۰۴۸	۰/۹۴۴
ANN5	۰/۰۰۴	۰/۰۴۹	۰/۹۴۹
ANN6	۰/۰۰۷	۰/۰۶۶	۰/۸۹۶
ANN7	۰/۰۰۷	۰/۰۶۵	۰/۸۹۴
ANN8	۰/۰۱۶	۰/۰۹۷	۰/۷۷۲
ANN9	۰/۰۰۵	۰/۰۵۳	۰/۹۲۷
ANN10	۰/۰۰۷	۰/۰۶۵	۰/۸۹۵
ANN11	۰/۰۰۴	۰/۰۴۸	۰/۹۴۴
ANN12	۰/۰۰۸	۰/۰۶۹	۰/۸۷۸
ANN13	۰/۰۰۸	۰/۰۷۱	۰/۸۶۹
ANN14	۰/۰۱۹	۰/۱۰۸	۰/۶۸۶
ANN15	۰/۰۳۲	۰/۱۵۳	۰/۳۱۰

بر اساس سعی و خطای صورت گرفته در این تحقیق بهترین مدل برای شبیه‌سازی استفاده از شبکه پرسپترون با یک لایه میانی با ۲۸ نرون در لایه مخفی و استفاده از تابع لوگ سیگموئید به عنوان تابع فعالیت می‌باشد. میزان تبخیر و تعرق واقعی برآورد شده (بر حسب میلی‌متر در روز)، در باغ مورد

نظر با استفاده از روش سبال، معادله پنمن-مانتیت-فائو (پس از ضرب مقدار به دست آمده در ضریب گیاهی مرکبات) و نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی (پس از ضرب مقدار به دست آمده در ضریب تشت و ضریب گیاهی مرکبات) در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷. مقادیر تبخیر و تعرق برآورده شده

تبخیر و تعرق برآورده شده	۲۰۱۳/۰۹/۱۴	۲۰۱۳/۱۰/۱۶	۲۰۱۴/۰۱/۲۰	۲۰۱۴/۰۵/۲۸
معادله پنمن-مانتیت-فائو	۴/۹۴	۳/۵۷	۱/۸۲	۷/۲۱
الگوریتم سبال	۴/۰۴	۲/۹۴	۱/۳۸	۵/۰۳
شبکه‌های عصبی مصنوعی	۵/۸۲	۳/۴۳	۱/۳۴	۶/۶۳

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور محاسبه میزان تبخیر و تعرق از تصاویر ماهواره‌ای (الگوریتم سبال) و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. در ادامه و به منظور بررسی صحت اجرای دو روش فوق و بررسی میزان صحت نتایج به دست آمده از دو روش، میزان تبخیر و تعرق با روش پنمن-مانتیت-فائو به عنوان یک روش مرجع محاسبه شده و مقادیر عددی حاصل از دو روش با روش پنمن-مانتیت-فائو مقایسه گردید. پس از بررسی نتایج به دست آمده از الگوریتم سبال می‌توان مشاهده نمود که مطابق انتظار، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق مربوط به محل گذر رودخانه‌ها و نه‌رها و همچنین مناطقی با مقادیر NDVI بالا می‌باشد. به طوری که با کاهش NDVI مقدار تبخیر و تعرق نیز کاهش می‌یابد. ضمناً نتایج بیانگر همخوانی مقادیر تبخیر و تعرق با دمای سطح زمین و دمای هوا و همچنین تغییرات آنها می‌باشد. با بررسی مقادیر عددی تبخیر و تعرق در زمین‌های بایر همان گونه که انتظار می‌رفت، میزان تبخیر و تعرق ۲۴ ساعته در این زمین‌ها، صفر می‌باشد. البته در تاریخ ۲۰۱۴/۰۱/۲۰ کمی از صفر بالاتر می‌باشد که علت اصلی آن خیس بودن زمین و جمع شدن آب در زمین‌های مسطح منطقه می‌باشد (به دلیل بارندگی سنگین در روزهای قبل از تصویربرداری) (در تاریخ‌های دیگر زمین

کاملاً خشک بوده است). با مقایسه مقادیر حاصل از دو روش سبال و روش پنمن-مانتیت-فائو و بررسی میزان شباهت مقادیر حاصل از الگوریتم سبال با نتایج روش پنمن-مانتیت-فائو، نتایج نشان دهنده مقادیر MSE و MAE به ترتیب ۱/۵۴ و ۱/۰۴ می‌باشد. مقدار نسبتاً پایین دو پارامتر MSE و MAE نشان‌دهنده نزدیکی نتایج به دست آمده از سنجش از دور به نتایج پنمن-مانتیت-فائو بوده و لذا می‌توان چنین گفت که سنجش از دور روشی کارا به منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق در سطوح وسیع، خصوصاً در مناطقی که داده‌های هواشناسی برای آنها موجود نیست، می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از آموزش شبکه عصبی مصنوعی در ساختارهای مختلف و ورودی‌های متفاوت در برآورد میزان تبخیر، پارامتر دما بیشترین تأثیر و پارامتر حداکثر سرعت باد کمترین تأثیر را دارند. نتایج حاصل از اجرای مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داد که پارامتر دما به تنهایی حدود ۹۲/۷٪ از میزان تغییرات تبخیر از تشت را توجیه می‌کند. این میزان برای پارامترهای رطوبت، ساعت آفتاب و حداکثر سرعت باد به ترتیب ۸۹/۵٪، ۶۸/۶٪ و ۳۱٪ می‌باشد. در مقایسه نتایج به دست آمده، از شبکه‌های عصبی مصنوعی با روش پنمن-مانتیت-فائو در برآورد میزان تبخیر و تعرق، مقادیر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق به ترتیب

نتایج مدل ریاضی تفاضلات محدود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۳۴ صفحه.

۸. شهابی‌فر، م.، م. عصارى، م. کوچک‌زاده و س. م. میرلطفی. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش‌های محاسباتی تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از داده‌های لایسمتری در شرایط گلخانه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی، ۲۴(۱): ۱۳-۱۹.
۹. عبدلی، ح.، س. اسلامیان و ج. عابدی کوهپایى. ۱۳۸۹. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و مودیس برای برآورد تبخیر و تعرق از طریق سنجش از دور در مدیریت آبیاری. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۱ الی ۲ اسفند ماه.
۱۰. قبادیان، ر. ۱۳۸۸. ارزیابی دقت روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و معادلات تجربی در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در کرمانشاه. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان، ۱۹ الی ۲۱ بهمن ماه.
۱۱. قمری‌نیا، ه.، و. رضوانی، گ. مهدی‌آبادی و س. م. غلامیان. ۱۳۸۹. محاسبه تبخیر و تعرق گیاه با استفاده از روش سبال در دشت بیلوار کرمانشاه. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۱ الی ۲ اسفند ماه.
۱۲. کریمی، ع. ر.، ب. فرهادی بانسوله و ه. حصادی. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۶(۴): ۳۵۳-۳۶۴.
۱۳. گنجی‌زاده، ر. ۱۳۹۲. ارزیابی مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش از دور و مقایسه آن با روش تجربی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۶ الی ۸ اسفند ماه.
۱۴. محسنی ساروی، م.، ح. احمدی و ک. نصرتی. ۱۳۸۹. کاربرد مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق در حوزه آبخیز طالقان. اولین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا. مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان، ۲۳ الی ۲۴ آبان ماه.

برابر با ۱/۱۱ و ۰/۵۲ می‌باشد. با مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش سبال و شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان گفت، شبکه‌های عصبی مصنوعی عملکرد بهتری در برآورد تبخیر و تعرق نسبت به روش سبال دارند.

## منابع مورد استفاده

۱. اصغرزاده، ح.ع. و ح. ثنائی‌نژاد. ۱۳۸۵. تخمین تبخیر - تعرق گیاهان با استفاده از داده‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه آبخیز تنگ کنشت کرمانشاه. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۱۲ الی ۱۴ اردیبهشت ماه.
۲. امید، ر. و ف. رادمش. ۱۳۹۲. برآورد تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۶ الی ۸ اسفند ماه.
۳. امینی بازینی، س.، م. اکبری و ح. زارع ایبانه. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر تعرق با استفاده از الگوریتم سبال مطالعه موردی: دشت همدان بهار. اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست. دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان. ۳ اسفند ماه.
۴. بیات ورکشی، م.، ح. زارع ایبانه و ع. قاسمی. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن- ماتیت- فائو ۵۶. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۱ بهمن ماه.
۵. ثنائی‌نژاد، ح.، س. نوری و م. هاشمی‌نیا. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد. آب و خاک، ۲۵(۳): ۵۴۰-۵۴۷.
۶. حسن‌پور، ب.، ف. میرزایی، ص. ارشد و س. ف. ریاضی. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر و تعرق توسط الگوریتم بیلان انرژی سطح زمین. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب. ۱ الی ۲ اسفند ماه.
۷. رحمانی، غ. ر. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت عقیلی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مقایسه آن با

- Implementation, version, 1: 97.
20. Bastiaanssen W, Noordman E, Pelgrum H, Davids G, Thoreson B, Allen R. 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water-resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 131(1): 85-93.
  21. Compaoré H, Hendrickx JM, Hong S-h, Friesen J, van de Giesen NC, Rodgers C, Szarzynski J, Vlek PL. 2008. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(1): 127-140.
  22. Kişi Ö, Öztürk Ö. 2007. Adaptive neurofuzzy computing technique for evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4): 368-379.
  23. Laaboudi A, Mouhouche B, Draoui B. 2012. Neural network approach to reference evapotranspiration modeling from limited climatic data in arid regions. *International Journal of Biometeorology*, 56(5): 831-841.
  ۱۵. نیاز علیزاده مقدم، ع. ۱۳۸۶. پیش‌بینی عددی ماکسیمم دمای فرودگاه شهید بهشتی اصفهان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پایان‌نامه دوره کارشناسی رشته کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان. ۱۰۹ صفحه.
  ۱۶. هژبر، ح. ۱۳۹۱. مقایسه تبخیر و تعرق پتانسیل با روش پنمن - مانیتث اصلاح شده، مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی با داده‌های لایسیمیتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۹۹ صفحه.
  ۱۷. وزیر، ژ. و ع. سلامت. ۱۳۸۷. تبخیر و تعرق گیاهان، کمیته آبیاری و زهکشی ایران، تهران. ۳۸۹ صفحه.
  18. Allen R, Irmak A, Trezza R, Hendrickx JM, Bastiaanssen W, Kjaersgaard J. 2011. Satellite-based ET estimation in agriculture using SEBAL and METRIC. *Hydrological Processes*, 25(26): 4011-4027.
  19. Allen R, Tasumi M, Trezza R, Waters R, Bastiaanssen W. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advance Training and Users Manual-Idaho*



## Estimating of evapotranspiration using remote sensing, artificial neural network and comparison with the experimental method (Penman-Monteith-FAO)

A. Azimi <sup>1\*</sup>, K. Rangzan <sup>2</sup>, M. Kaboulizade<sup>3</sup>, M. Khoramian <sup>4</sup>

1. MSc. student of Remote sensing and Geographic Information System, Shahid Chamran University of Ahvaz

2. Assoc. Prof. College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3. Assis. Prof. College of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

4. PhD. of Irrigation, Safiabad Agricultural Research Center of Dezful

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 16 November 2014

Accepted 20 June 2015

Available online 16 January 2016

#### Keywords:

Evapotranspiration

Remote sensing

SEBAL algorithm

Artificial neural networks (ANN)

Penman-Monteith- FAO equation

### ABSTRACT

Evaporation waste of water is one of the most important factors. Because evapotranspiration is a complex phenomenon that depends on many factors and data, accurate estimation of evaporation and transpiration, is very difficult and costly. Therefore, the purpose of this study was to estimate evapotranspiration using the surface energy balance algorithm for land (SEBAL) and also evaluate the performance of artificial neural networks. To estimates the Evapotranspiration rate the method of SEBAL Algorithmby using satellite images was applied. For this purpose, four images of Landsat 8 in this study were used that by comparing the results from the two methods, Remote Sensing and Penman-Monteith-FAO equation presented MSE and MAE as respectively 1.54 and 1.04 per day. To solve the complexity of the evaporation process, Artificial Neural Networks (ANN) was used for forecasting evaporation pan based on meteorological data. Perceptron with Back-propagation algorithm was applied for training it in this study. It used daily climate data that collected during 13 years from a Safi Abad station in Dezful city for network training. The results showed that the best network was the network with all inputs along with a hidden layer and 28 Neurons in the middle layer. The implementation results of this network presented that statistical Indicators were as MSE (0.0032), MAE (0.0445),  $R^2$  (0.9609). Comparing the results from Artificial Neural Networks and Penman-Monteith-FAO as reference method showed that MSE and MAE were 1.11 and 0.52 mm per day, respectively. These results presents that the performance of Artificial Neural Networks was better than the remote sensing method in the estimation of evapotranspiration rate.

\* Corresponding author e-mail address: [fdai5050@gmail.com](mailto:fdai5050@gmail.com)