

## برآورد میزان تابش خورشیدی با استفاده از محصولات دمای سطح زمین سنجنده MODIS و

### مدل شبکه عصبی

سعید امامی فر<sup>۱\*</sup> - امین علیزاده<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۵

### چکیده

برآورد درست مقدار تابش رسیده به سطح زمین ( $R_s$ ) به عنوان یکی از پارامترهای مهم در مدل‌های بیلان انرژی، شبیه‌سازی رشد گیاهان و تبخیر- تعرق اهمیت زیادی دارد. اغلب مدل‌های پیش‌بینی تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، مبتنی بر دمای سطح زمین هستند. در این مطالعه دقت برآورد تابش خورشیدی، با استفاده از چهار مدل مختلف شبکه عصبی (با نام‌های ANN1، ANN2، ANN3 و ANN4)، با ورودی محصولات دمای سطح زمین سنجنده مودیس (مدل‌های ۱ و ۲ مبتنی بر محصولات MOD11A1 و مدل‌های ۳ و ۴ مبتنی بر محصولات MYD11A1) در ترکیب با تابش برون‌زمینی ( $R_a$ ) و نسبت ساعت آفتابی ( $n/N$ ) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر چهار مدل هوشمند شبکه عصبی با همبستگی خوبی ( $R^2 > 0.85$ ) توانستند مقدار تابش رسیده به سطح زمین را برآورد کنند. لیکن مدل‌های مبتنی بر محصولات MOD11A1 دارای دقت بالاتری نسبت به مدل‌های مبتنی بر محصولات MYD11A1 هستند. مدل شبکه عصبی ANN1 (مبتنی بر محصولات MOD11A1، نسبت ساعت آفتابی و تابش برون‌زمینی) با ضریب تعیین ( $R^2$ ) برابر ۰/۹۳۳۲ و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۱/۴۴۴۸ مگاژول بر متر مربع در روز در برآورد تابش خورشیدی نسبت به مدل‌های دیگر دارای دقت بالاتری است. همچنین نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی ANN2 (مبتنی بر جذر تغییرات دمای محصولات MOD11A1 و تابش برون‌زمینی) در مقایسه با مدل هارگریوز و سامانی که مبتنی بر داده‌های دمای هوا و تابش برون‌زمینی است، با دقت بیشتری تابش رسیده به زمین را برآورد می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** تابش خورشیدی، سنجنده مودیس، دمای سطح زمین، مدل شبکه عصبی

### مقدمه

در حال توسعه نیز به چشم می‌خورد (۱۶). در نتیجه، محققین بیشتر روی تخمین آن تلاش می‌کنند (۵، ۶ و ۱۰). با وجودی که این مدل‌ها از دقت لازم برخوردارند، ولی تابش برآورد شده فقط برای ایستگاه هواشناسی که از داده آن استفاده شده، اعتبار دارد. داده‌های ماهواره-ای، به دلایل برخورداری از مزایایی چون سطح پوشش وسیع، قابلیت تکرار، سهولت پردازش توأم با داده‌های میدانی می‌توانند به عنوان یک گزینه در جمع‌آوری اطلاعات مطرح شوند. همچنین تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پیوستگی مکانی داده‌ها، کاربرد بهتری برای مطالعات ناحیه‌ای نسبت به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی دارند (۱). بسیاری از پدیده‌های زمینی از جمله تابش رسیده به زمین به طور مستقیم با تصاویر ماهواره‌ای قابل تعیین نیست و برای برآورد آن‌ها باید مدل‌هایی با ورودی‌های داده‌های ماهواره‌ای تدوین شوند. در زمینه‌ی برآورد تابش رسیده به سطح زمین با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در ترکیب با داده‌های زمینی تاکنون مطالعاتی

تابش خورشیدی رسیده به زمین ( $R_s, MJ m^{-2} d^{-1}$ ) یکی از پارامترهای مهم تاثیر گذار در توازن حرارتی سیستم جو - زمین است (۱). برآورد درست مقدار  $R_s$  به عنوان یکی از پارامترهای مهم در مدل‌های بیلان انرژی، شبیه‌سازی رشد گیاهان و تخمین تبخیر و تعرق اهمیت زیادی دارد (۴، ۱۰، ۱۲، ۱۳ و ۱۶). بهترین راه اندازه‌گیری تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین نصب پیرانومترها در ایستگاه‌ها و خواندن اطلاعات ضبط شده توسط آن‌ها می‌باشد. اما اغلب اندازه-گیری آن در بسیاری از مناطق به دلیل مشکلات اقتصادی و فقدان امکانات بطور محدود انجام می‌شود و این نقصه حتی در کشورهای

۱ و ۲ - دانشجوی دکتری و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
\* - نویسنده مسئول: (Email: aftab2277@yahoo.com)

به عنوان یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های دمایی برآورد تابش خورشیدی، یکی دیگر از اهداف این تحقیق است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

برای انجام این تحقیق از اطلاعات ایستگاه هواشناسی اهواز واقع در استان خوزستان، که دارای عرض جغرافیایی ۳۱/۳۳ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۸/۶۷ درجه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا می‌باشد، استفاده شده است. برای تدوین مدل شبکه عصبی و مدل هارگریوز-سامانی پیش‌بینی (بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز)، مقادیر اندازه‌گیری شده تابش رسیده به سطح زمین در این ایستگاه به عنوان داده‌های واقعی استفاده شد. شکل ۱ موقعیت کلی ایستگاه اهواز را بر روی یک تصویر ماهواره ترا نشان می‌دهد.

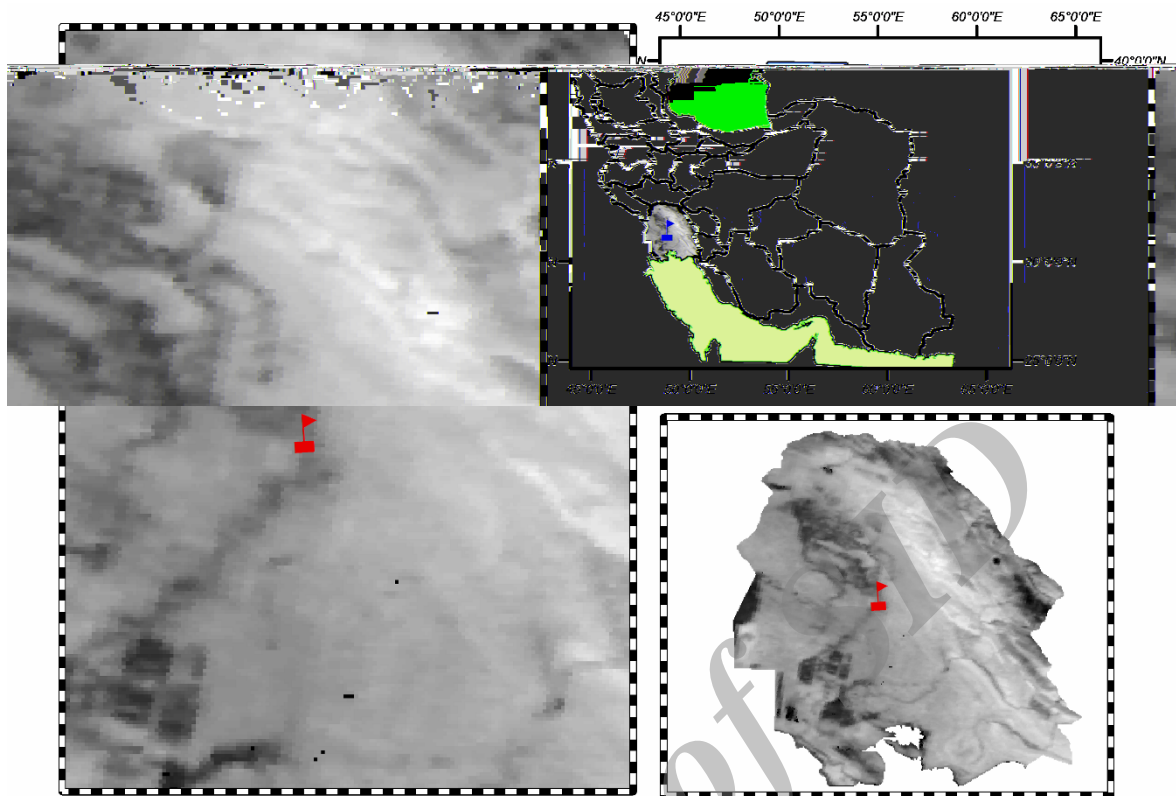
### داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق از داده‌های سنجنده مودیس که از جمله سنجنده‌های ماهواره‌های ترا و آکوا است، استفاده گردید. سنجنده مودیس بطور روزانه یکسری مشاهدات در مقیاس جهانی بر روی دریا، خشکی و اتمسفر انجام می‌دهد و دارای یک پوشش ممتد و وسیع طیفی و مکانی با قدرت تفکیک ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر است، بنابراین مطالعه و ارزیابی تغییرات بلند مدت در دریا، خشکی و اتمسفر توسط مودیس امکان‌پذیر می‌باشد. تصاویر مورد استفاده در این تحقیق جزء زیر گروه داده‌های سطح سه (L3) سنجنده مودیس با کد مشخصه MOD11A1 مربوط به ماهواره ترا و MYD11A1 مربوط به ماهواره آکوا هستند. از ویژگی‌های این محصولات این است که دارای توان تفکیک مکانی یک کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی روزانه و حاوی اطلاعات روزانه دمای سطح زمین و گسیلندگی می‌باشند. محصولات دمای سطح زمین، سنجنده مودیس از دو باند مادون قرمز حرارتی کانال‌های ۳۱ (محدوده طول موج ۱۰/۷۸ تا ۱۱/۲۸ میکرو متر) و ۳۲ (محدوده طول موج ۱۱/۷۷ تا ۱۲/۲۷ میکرو متر) با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا<sup>۲</sup> بدست آمده‌اند (۱۹ و ۲۰). در مجموع ۶۹۱ تصویر (۳۵۴ تصویر محصول MOD11A1 و ۳۳۷ تصویر محصول MYD11A1) از طریق پایگاه اینترنتی <http://modis.gsfc.nasa.gov> مربوط به سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ اخذ گردید. صاف و بدون ابری بودن هوا، دلیل انتخاب این تصاویر بود. استخراج اطلاعات دمای سطح زمین از تصاویر دریافتی در محل ایستگاه اهواز، در محیط نرم‌افزار ARCGIS9.3 توسط ابزار<sup>۵</sup> HAT انجام گرفت.

صورت گرفته است. به طور مثال، کین و همکاران (۱۴) از مدل شبکه عصبی با ورودی محصولات مختلف سنجنده مودیس<sup>۱</sup> شامل، متوسط ماهانه دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی در ترکیب با داده‌های زمینی جهت برآورد تابش خورشیدی استفاده کردند که نتایج نشان داد مدل تدوینی دارای دقت بالایی است. سنکل (۱۲) از مدل شبکه عصبی با ورودی‌هایی شامل گسیلندگی سطحی<sup>۲</sup> باند‌های ۴ و ۵ تصاویر سنجنده AVHR<sup>۳</sup> ماهواره نوا، ارتفاع سطح، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و دمای سطح زمین که به روش پنجره مجزا<sup>۴</sup> با استفاده از الگوریتم کول و همکاران (۷) تخمین زده شده بود، استفاده کرد که نتایج دارای ضریب همبستگی ۰/۹۵۳۴ و ۰/۹۳۴۱ به ترتیب برای داده‌های در نظر گرفته شده برای مرحله آموزش و تست بود. ریحیمی خوب و همکاران (۱) روش آماری سنجنش از دور که مبتنی بر همبستگی خطی بین شاخص ابر برآورد شده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص صافی هوا اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی است، را برای برآورد تابش خورشیدی رسیده زمین با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره نوا سنجنده AVHR برای منطقه جنوب شرق تهران و اسنچی و ارزیابی کردند و نتایج حاصل از آن را با یک مدل همبستگی چند متغیره تدوینی بر اساس داده‌های ۵ باند ماهواره نوا و تابش برون زمینی مقایسه کردند که نتایج نشان داد، مدل همبستگی چند متغیره با ضریب تعیین (R2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب ۰/۹۳ و ۵/۸ درصد در مقایسه با روش آماری، با دقت زیادتری تابش رسیده به سطح زمین را برآورد می‌کند. در اکثر مدل‌های تدوین شده جهت برآورد تابش خورشیدی با ورودی داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، دمای سطح زمین به عنوان یکی از ورودی‌های اصلی این مدل‌ها محسوب می‌شود. از طرفی دو پارامتر دمای بیشینه و کمینه هوا، معرف میزان انرژی تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین هستند. مطالعات نشان داده است که بین دمای سطح زمین محصولات سنجنده مودیس و دمای هوا همبستگی بالایی وجود دارد (۱۷، ۱۸، ۲۱). بر این اساس و با توجه اهمیت تابش رسیده به سطح زمین و گستردگی کاربرد آن در پروژه‌ها و مطالعات مختلف هواشناسی، اقلیم شناسی، هیدرولوژی و کشاورزی هدف از این مطالعه، بررسی دقت برآورد تابش رسیده به سطح زمین در صورت استفاده از محصولات دمایی سنجنده مودیس (MOD11A1) سنجنده مودیس ماهواره ترا و MYD11A1 سنجنده مودیس ماهواره آکوا) با استفاده از مدل شبکه عصبی است. همچنین مقایسه نتیجه بهترین مدل شبکه عصبی با روش هارگریوز و سامانی

- 1- MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- 2- Surface emissivity
- 3- Advanced Very High Resolution Radiometer
- 4- Split-Window

5- Hawth Analysis Tools



شکل ۱- موقعیت کلی ایستگاه اهواز نسبت به استان خوزستان

#### مدل شبکه عصبی

نزدیکتر شود. این امر تا رسیدن مقدار خطا به یک مقدار قابل قبول ادامه می یابد. در اینجا مرحله یادگیری شبکه به پایان رسیده و در صورتی که شبکه در برابر یک ورودی که قبلاً ندیده است قرار بگیرد می تواند خروجی مناسب از خود نشان دهد (۲). برای محدود سازی دامنه داده های خروجی از هر نرون از تابع فعالیت (انتقال یا آستانه) سیگموئیدی<sup>۴</sup> استفاده شد. اصولاً وارد کردن داده ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می شود، از این رو برای جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون ها و یکسان سازی ارزش داده های برای شبکه، در این تحقیق کلیه داده ها قبل از اعمال به شبکه با استفاده از رابطه ۱ نرمال و در محدوده [۰،۱] قرار داده شدند.

$$X_n = .5 \times \left( \frac{X_o - X_{ave}}{X_{max} - X_{min}} \right) + .5 \quad (1)$$

که در آن مقدار نرمال شده،  $X_o$  ورودی،  $X_{ave}$  میانگین داده ها،  $X_{min}$  و  $X_{max}$  به ترتیب مقدار کمینه و بیشینه داده ها است. داده های لایه ورودی مدل های شبکه عصبی تلفیقی از داده های ماهواره ای شامل دمای شب سطح زمین مربوط به محصول MOD11A1 (LSDNT بر حسب درجه سانتی گراد)، دمای شب

در این مطالعه از شبکه عصبی با ساختار پرسپترون سه لایه دینامیک و آموزش با ناظر<sup>۱</sup> استفاده شد. آموزش شبکه با استفاده از الگوریتم آموزش پس انتشار<sup>۲</sup> مارکوآت لورنبرگ<sup>۳</sup> انجام شد. شیوه مارکوآت لورنبرگ از سریعترین روش ها برای آموزش شبکه های عصبی است که در آموزش شبکه های چند لایه پرسپترون استفاده می شود. اساس این روش کمینه کردن تابع خطا بر مبنای عامل های شبکه و سرعت همگرایی بالایی آن است. الگوریتم یادگیری پس انتشار مبتنی بر قانون یادگیری اصلاح خطا می باشد. در این روش با استفاده از مجموعه وزن های تصادفی اولیه، آموزش آغاز می گردد. پس از تعیین خروجی مدل هر یک از الگوهای ارائه شده در مجموعه آموزش، خطای به دست آمده از تفاوت بین خروجی مدل و مقادیر مورد انتظار محاسبه شده و با برگشت به داخل شبکه در جهت عکس مقادیر وزن ها تصحیح می شود. پارامترهای شبکه طوری تنظیم می شوند که پاسخ واقعی شبکه هر چه بیشتر به سمت پاسخ مطلوب

- 1- Supervised training
- 2- Back propagation
- 3- Marquardt Lovenberg

4- Sigmoid function

## نتایج و بحث

بررسی همبستگی بین دمای سطح زمین و دمای هوا در مرحله اول این تحقیق، میزان همبستگی محصولات سنجنده مودیس، با دمای هوا بررسی شد. بر این اساس تغییرات زمانی دمای هوا و محصولات دمای سطح زمین سنجنده مودیس در شکل ۲ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود، دمای سطح زمین و دمای هوا دارای همبستگی خوبی با هم دارند و در این بین، همبستگی داده‌های کمینه (LSTN) (مربوط به هر دوه ماهواره ترا و آکوا) و (Tmin) در مقایسه با داده‌های بیشینه (LSTD) (مربوط به هر دوه ماهواره ترا و آکوا) و (Tmax) برای هر دو محصول دمایی سنجنده مودیس، بیشتر است. مطالعات صورت گرفته در برآورد دمای هوا نیز به طور مشابه ثابت کرده‌اند که میزان همبستگی LSTN و Tmin در مقایسه با همبستگی LSTD و Tmax بیشتر است (۸ و ۱۸). شکل ۲ همچنین نشان می‌دهد که به دلیل تفاوت بودن زمان گذر ماهواره‌های ترا و آکوا از منطقه مورد مطالعه، همبستگی Tmax با LSTDT نسبت به LSTDA بیشتر است ولی نتایج در مورد دمای کمینه بیانگر همبستگی بیشتری Tmin با LSTNA در مقایسه با LSTNT است. زمان گذر ماهواره‌های ترا و آکوا از منطقه مورد مطالعاتی متفاوت است و به همین دلیل همبستگی بین داده‌های دمای هوا و محصولات مودیس در هر دو ماهواره با هم تفاوت دارد. زمان گذر ماهواره ترا در طی روز و شب، از منطقه مورد مطالعه به وقت محلی به ترتیب بین ساعت ۹:۳۰ الی ۱۱ و ۲۱:۳۰ الی ۲۳ و زمان گذر ماهواره آکوا به ترتیب بین ساعت ۱۲:۳۰ الی ۱۴ و ۰۰:۳۰ الی ۲:۰۰ می‌باشد. بنابراین زمان گذر ماهواره ترا در مقایسه با ماهواره آکوا تطابق بیشتری با زمان وقوع دمای بیشینه دارد و عکس این موضوع در مورد دمای کمینه صادق است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که LSTDT و LSTDA نسبت به Tmax بیش برآوردی دارند، در صورتی که LSTNT و LSTNA نسبت به Tmin به ترتیب کم برآورد و بیش برآورد هستند. بنابراین دامنه تغییرات روزانه دمایی محصولات MOD11A1 نسبت به محصولات MYD11A1 دارای همبستگی بیشتری با دامنه تغییرات روزانه دمای هوا هستند که این نتیجه به وضوح در شکل ۲ نشان داده شده است.

سطح زمین مربوط به محصول MOD11A1 (LSDNA) بر حسب درجه سانتی‌گراد، دمای روز سطح زمین مربوط به محصول MOD11A1 (LSDDT) بر حسب درجه سانتی‌گراد، دمای روز سطح زمین مربوط به محصول MYD11A1 (LSDDA) بر حسب درجه سانتی‌گراد) و نسبت ساعات واقعی آفتابی روزانه بر حداکثر ساعات آفتابی روزانه (n/N) و ورودی‌های مدل هارگریوز و سامانی شامل داده‌ها کمینه و بیشینه دمای هوا (Tmin و Tmax) بر حسب درجه سانتی‌گراد) بودند. همچنین در این تحقیق پارامتر تابش برون‌زمینی (Ra) بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز) که اثر فصلی تابش خورشید را منعکس می‌کند، به عنوان یک ورودی ثابت در همه مدل‌های تدوینی در این تحقیق، استفاده شد. پارامترهای حداکثر ساعت آفتابی (N) تابش برون‌زمینی (Ra) داده اندازه‌گیری نیستند و تابعی از عرض جغرافیایی و موقع روز از سال هستند و در این مطالعه برای تعیین آن‌ها از روابط پیشنهادی آلن و همکاران استفاده شد (۳). جدول ۱ مشخصات مدل‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

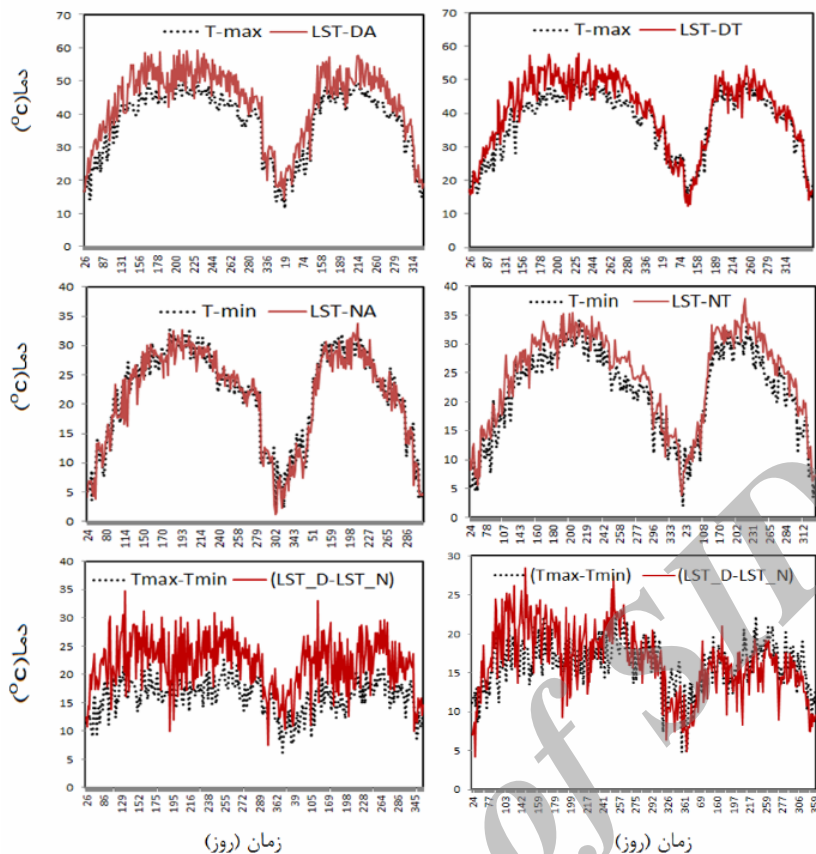
برای تعیین ساختار بهینه شبکه هریک از مدل‌ها، ابتدا بر اساس عامل‌های ورودی و خروجی، تابع فعالیت و الگوریتم یادگیری انتخاب شده و شبکه‌هایی با تعداد ۱ تا ۳۰ نرون در لایه میانی طراحی شد. شبکه‌های طراحی شده با ۷۰ درصد داده‌ها آموزش یافته، ارزیابی شد و نهایتاً صحت‌یابی داده‌ها با ۳۰ درصد داده‌های مستقل که در ساخت مدل استفاده نشده بودند، صورت گرفت. روال آموزش و صحت‌یابی برای هر ساختار تکرار شد و در نهایت ساختاری که نتایج آن حداقل اختلاف را با مقادیر مشاهده‌ای داشت (بر اساس شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R2) به عنوان ساختار بهینه معرفی شد.

## آماره‌های ارزیابی

برای ارزیابی دقت مدل‌های مورد بررسی و مقایسه نسبی آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده تابش رسیده به زمین توسط پیرانومتر، از آماره‌های ضریب تبیین (R2)، جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده شد.

جدول ۱- مشخصات مدل‌های شبکه عصبی برای تخمین تابش خورشیدی

شماره مدل	نام مدل	داده‌های ورودی
۱	ANN1	$LST_{NT}, LST_{DT}, Ra, n/N,$
۲	ANN2	$\sqrt{LST_{DT} - LST_{NT}}, Ra,$
۳	ANN3	$LST_{NA}, LST_{DA}, Ra, n/N,$
۴	ANN4	$\sqrt{LST_{DA} - LST_{NA}}, Ra,$



شکل ۲- تغییرات زمانی محصولات دمای سطح زمین سنجنده مودیس و دمای هوا (دمای سطح زمین (LST) نمودارهای سمت چپ و راست به ترتیب مربوط به محصولات MYD11A1 و MOD11A1 می‌باشند)

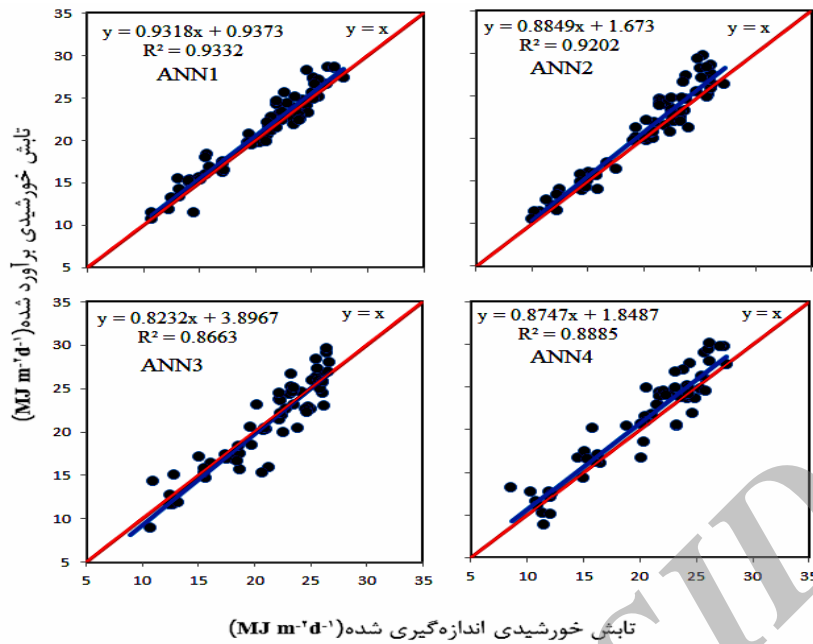
مبتنی بر داده‌های محصولات MOD11A1 (ANN2 و ANN1) و MYD11A1 (ANN3 و ANN4) است. چنان که در این جدول مشاهده می‌شود، ضریب تعیین مدل‌های ANN2 و ANN1 (به ترتیب برابر ۰/۹۲۰۱۸ و ۰/۹۳۳۲) بیشترین همبستگی را با مقادیر واقعی تابش، نشان می‌دهند با این وجود با توجه به تفاوت بسیار ناچیز ضریب تعیین مدل‌های ANN1 و ANN2 و مقادیر کمتر شاخص‌های RMSE و MBE (به ترتیب ۰/۴۴۸۴ و ۰/۴۲۴۸ مگاژول بر متر مربع بر روز) مدل ANN1، می‌توان این مدل را به عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد تابش خورشیدی معرفی کرد.

#### ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی

نتایج کلی محاسبات صورت گرفته برای چهار مدل شبکه عصبی مورد بررسی در این تحقیق با استفاده از داده‌های اختصاص یافته برای آزمایش مدل‌ها، در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول مقادیر شاخص‌های R2، RMSE و MBE که در نتیجه مقایسه مقادیر برآورد شده تابش خورشیدی با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی تدوین شده و نیز مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده تابش توسط پیرانومتر به دست آمده‌اند، نشان داده شده است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است، بر اساس شاخص ضریب تعیین هر چهار مدل با همبستگی بالایی (ضریب تعیین بالاتر از ۰/۸۶ درصد) تابش روزانه خورشید را برآورد می‌کنند و در این بین عملکرد مدل‌های

جدول ۲- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی برآورد تابش خورشیدی

شماره مدل	نام مدل	تعداد نرون‌های لایه میانی	R2	RMSE(MJ m-2d-1)	MBE(MJ m-2d-1)
۱	ANN1	۳	۰/۹۳۳۲	۱/۴۴۸۴	۰/۴۲۴۸
۲	ANN2	۸	۰/۹۲۰۱۸	۱/۶۴۹۰	۰/۷۵۱۳
۳	ANN3	۹	۰/۸۶۶۲۵	۱/۹۶۹۰	-۰/۲۲۰۳
۴	ANN4	۲۷	۰/۸۸۸۴۸	۲/۰۵۴۹	۰/۸۰۰۲



شکل ۳- پراکنش مقادیر تابش خورشیدی برآورده شده با مدل شبکه عصبی در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده

مقایسه مدل‌های شبکه عصبی با مدل هارگریوز و سامانی در این مرحله از بررسی، مدل‌های شبکه عصبی ANN2 و هارگریوز و سامانی (۱۰) با یکدیگر مقایسه شدند. هارگریوز و سامانی برای اساس تابش برون‌زمینی و اختلاف کمینه و بیشینه دمای هوا معادله زیر را برای تخمین تابش خورشید ارائه دادند.

$$R_g = K \times R_a \times \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \quad (2)$$

که در آن  $T_{max}$  و  $T_{min}$  به ترتیب بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا ( $^{\circ}C$ ) و  $K$  ضریب ثابت معادله می‌باشد. هارگریوز (۹) مقدار  $K$  را برای مناطق ساحلی و غیر ساحلی به ترتیب  $0.19$  و  $0.16$  توصیه نمود. در این مطالعه برای واسنجی ضریب  $K$  معادله هارگریوز و سامانی از معادله  $Y=kX$  که در آن  $Y$  نسبت تابش خورشیدی ( $R_s/R_a$ ) و  $X$

جزء دامنه تغییرات روزانه دمای هوا  $\sqrt{(T_{max} - T_{min})}$  است، استفاده شد. به طور مشابه از داده‌های اختصاص یافته برای آموزش و آزمون مدل ANN2 جهت واسنجی و اعتبار سنجی مدل هارگریوز و سامانی استفاده شد با این تفاوت که به جای دمای سطح زمین از داده‌های دمای هوا استفاده گردید. پراکنش مقادیر

نسبت به مقادیر  $Y$  در شکل ۲ ارائه شده

است. همانطور که ملاحظه می‌شود جزء

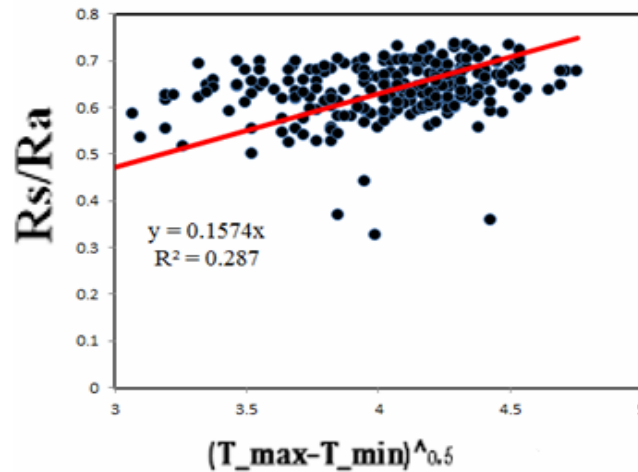
حدود ۲۸/۷ درصد تغییرات نسبت تابش خورشیدی را محاسبه می‌کند.

لیکن با توجه به این که مدل شبکه عصبی ANN2 فقط مبتنی بر داده‌های دمای سطح زمین و تابش برون‌زمینی است و با توجه به نتایج مطلوب آن، برای ایستگاه‌های فاقد دستگاه اندازه‌گیری ساعت آفتابی قابل توصیه است.

پراکنش نقاط برآورد شده و اندازه‌گیری شده واقعی به همراه بهترین خط برازش نقاط در شکل ۳ نشان داده شده است. ضریب تعیین مدل ANN1 نشان می‌شود، که مقدار  $R_s$  تا حدود  $93/32$  درصد با استفاده از تغییرات روزانه دمای سطح زمین محصولات MOD11A1، تابش برون‌زمینی و نسبت ساعت آفتابی توجیه می‌شود. دقت مدل‌های ANN1 و ANN3 به ترتیب نسبت به مدل‌های ANN2 و ANN4 با اضافه شدن نسبت ساعت آفتابی، تغییر زیادی نداشته و دلیل فیزیکی آن می‌تواند این باشد که ساعت آفتابی معرف جزء انرژی خورشیدی به سطح زمین است، که اثر خود را بصورت ضمنی در پارامترهای دمای سطح زمین گذاشته است. مقدار مثبت میانگین خطای اریب (MBE) مدل‌های ANN1، ANN2، و ANN4 نشان می‌دهد که این مدل‌ها تابش رسیده به سطح زمین را به طور متوسط به ترتیب  $0.4248$ ،  $0.7513$  و  $0.8002$  مگاژول بر متر مربع بر روز بیش‌برآورد<sup>۱</sup> و مقدار منفی میانگین خطای اریب (MBE) مدل‌های ANN3 نشان می‌دهد که این مدل‌ها تابش رسیده به سطح زمین را به طور متوسط  $0.2203$  مگاژول بر متر مربع بر روز کم-برآورد<sup>۲</sup> می‌کنند.

- 1- Overestimation
- 2- underestimation





شکل ۳- پراکنش جذر تغییرات روزانه دمای هوا و نسبت تابش خورشیدی در منطقه مورد مطالعه این تحقیق

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های آماری حاصل از ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی و مدل هارگریوز-سامانی برآورد تابش خورشیدی

شاخص‌های آماری محاسبه شده			نام مدل
MBE(MJ m-2d-1)	RMSE(MJ m-2d-1)	R2	داده‌های ورودی
۰/۷۵۱۳	۱/۶۴۹۰	۰/۹۲۰۱۸	$\sqrt{LSTDT - LSTNT}$ Ra,
۰/۶۷۸۷	۱/۹۹	۰/۸۶۵۷	$\sqrt{(T_{max} - T_{min})}$ Ra,

H-S معرف معادله هارگریوز و سامانی است

### نتیجه گیری

در این مطالعه کارایی و قابلیت کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تابش رسیده به سطح زمین با داده‌های ورودی دمای سطح زمین محصولات MOD11A1 و MYD11A1 سنجنده مودیس در ترکیب با نسبت ساعت آفتابی و تابش برون‌زمینی بررسی شد. بررسی همبستگی داده‌های دمای هوا و محصولات دمایی سنجنده مودیس نشان داد که بیشینه و تغییرات روزانه دمای هوا به ترتیب دارای همبستگی بیشتری با دمای روزانه و تغییرات روزانه دمای سطح زمین محصولات MOD11A1 هستند ولی دمای کمینه هوا دارای همبستگی بیشتر با دمای شب سطح زمین محصولات MYD11A1 است. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی ساخته شده با داده‌های ورودی محصولات MOD11A1 در مقایسه با محصولات MYD11A1، دارای عملکرد بهتری هستند. مقدار R2 مدل‌های با ورودی محصولات MOD11A1 نشان می‌دهند، که داده‌های ورودی استفاده شده در مدل‌ها، بیش از ۹۲ درصد تابش رسیده به سطح زمین را توجیه می‌کنند و اگر متغیرهای دیگری که بر RS موثر هستند به ورودی مدل‌ها اضافه شوند، دقت مدل قابل افزایش است. مقایسه نتایج مدل‌های شبکه عصبی ساخته شده با داده‌های ورودی مشابه با

با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که ضریب K در معادله هارگریوز و سامانی ۰/۱۵۷ برآورد شده که به مقدار پیشنهادی هارگریوز برای مناطق ساحلی بسیار نزدیک است. از طرفی این نتیجه با مقدار پیشنهادی رحیمی خوب (۱۵) تطابق دارد.

نتایج مقایسه تابش برآورده شده با استفاده از معادله واسنجی شده هارگریوز-سامانی و مدل ANN2 در جدول ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود مدل شبکه عصبی با دقت بسیار بالاتری نسبت به مدل هارگریوز و سامانی تابش خورشیدی را شبیه سازی می‌کند. مقدار ضریب تعیین (R2) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل هارگریوز و سامانی به ترتیب ۰/۸۶۵۷ و ۱/۹۹ بوده که در مدل ANN1 این آماره‌ها به ترتیب به ۰/۹۲۰۱۸ و ۱/۶۴۹۰ تغییر می‌یابند. عملکرد بهتر مدل‌های شبکه عصبی به این علت است که شبکه عصبی فرآیند آنالیز داده‌ها را بصورت هوشمند انجام می‌دهد به طوری که طی فرایند آموزش، رابطه منطقی بین نگاشت‌های ورودی و خروجی را آموزش می‌بیند و از آن برای محاسبه داده‌هایی که در آموزش شبکه به کار نرفته‌اند، استفاده می‌کند. در حالی که آنالیز مدل هارگریوز و سامانی تنها بر اساس برقراری مفاهیم ریاضی و آماری میان داده است.

مدل هارگریوز و سامانی که به جای دمای هوا از دمای سطح زمین محصولات MOD11A1 استفاده می‌کنند، نتایج دقیقتری نسبت به روش هارگریوز و سامانی ارائه می‌دهند.

## منابع

- ۱- رحیمی خوب ع.، صابری پ.، بهبهانی س.م.ر. و نظری فر م.ه. ۱۳۸۹. برآورد تابش خورشید رسیده به سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره نوا و روابط آماری در جنوب شرق تهران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال پانزدهم. شماره پنجاه و ششم
- ۲- منہاج م.ب. ۱۳۷۹. هوش محاسباتی (مبانی شبکه‌های عصبی). جلد اول، انتشارات دانشگاه پلی تکنیک. ۷۱۵ص
- 3- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No.56. FAO, Rome.
- 4- Almorox J. and Hontoria C. 2004. Global solar radiation estimation using sunshine duration in Spain. Energy Convers. Manag. 45: 1529-1535.
- 5- Angstrom A.K. 1924. Solar and terrestrial radiation. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 50: 121-125.
- 6- Belcher B.N. and DeGaetano A.T. 2007. A revised empirical model to estimate solar radiation using automated.
- 7- Coll C., Caselles V., Sobrino J.A. and Valor E. 1994. On the atmospheric dependence of the split-window equation for land surface temperature. International Journal of Remote Sensing; 15: 102-105.
- 8- Emamifar S., Rahimikhoob A. and Noroozi A.A. 2013. Daily mean air temperature estimation from MODIS landsurface temperature products based on M5 model tree. International Journal of Climatology.
- 9- Hargreaves, G.H. 1994. Simplified coefficients for estimating monthly solar radiation in North America and Europe. Departmental Paper, Dept. of Biol. and Irrig. Eng., Utah State Univ., Logan, Utah.
- 10- Hargreaves, G. H. and Z. A. Samani. 1998. Estimating potential evapotranspiration. J. Irrig. D. Eng. 108: 230-225.
- 11- Iziomon, M.G. and Mayer H. 2002. Assessment of some global solar radiatio parameterizations. 64(2): 1631-1643.
- 12- Ozan S, enkal. ۲۰۱۰. Modeling of solar radiation using remote sensing and arti ficial neural network in Turkey. Energy. 35: 4795-4801.
- 13- Peter E.T. and Steven W.R. 1999. An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity and precipitation. Agric. Forest Meteorol. 3: 211-228.
- 14- Qin J., Chen Z., Yang K., Liang S. and Tang W. 2011. Estimation of monthly-mean daily global solar radiation based on MODIS and TRMM products. Appl. Energy 88, 2480-2489.
- 15- Rahimikhoob A. 2010. Estimating global solar radiation using artificial neural network and air temperature data in a semi-arid environment. Renew. Energy. 35, 2131-2135.
- 16- Samani Z. 2000. Estimation solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. J. Irrig. Drain. Eng. 126(4): 265-267.
- 17- Shengpan L., Nathan J., Moore Joseph P. Messina Mark H., DeVisser Jiaping W. 2012. Evaluation of estimating daily maximum and minimum air temperature with MODIS data in east Africa. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 18: 128-140.
- 18- Vancutsem C., Ceccato P., Dinku T., Connor S.J. 2010. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. Remote Sens. Environ. 114 (2), 449-465.
- 19- Wan Z. 1999. MODIS Land-Surface Temperature Algorithm Theoretical Basis Document (LST ATBD), Version 3.3, NASA contract NAS 3137-5 (Institute for Computational Earth System Science)
- 20- Wan Z.M., Zhang Y.L., Zhang Q.C., and Li Z.L. 2002. Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer data. Remote Sensing of Environment, 83 (1-2), 163-180.
- 21- Yan H., Zhang J.H., Hou Y.Y. and He Y.B. 2009. Estimation of air temperature from MODIS data in east China. Int. J. Remote Sens. 30 (23), 6261-6275.



## Estimation of Solar Radiation Using Land Surface Temperature MODIS Sensor Data and Neural Network Model

S. Emamifar<sup>1\*</sup> - A. Alizadeh<sup>2</sup>

Received:23-02-2013

Accepted:27-10-2013

### Abstract

Estimation the amount of radiation reaching the Earth's surface ( $R_s$ ) is an important factor in the energy balance models simulation of plant growth and evapotranspiration estimation. Most Estimation models to radiation reaching the Earth's surface use satellite data and they are based on land surface temperatures. In this study, the Accuracy of solar radiation estimation is investigated Using four different models of neural networks (with the names of ANN1, ANN2, ANN3, ANN4) with the inputs Including products land surface temperature MODIS sensor (models 1 and 2 , and models 3 and 4 are based on MOD11A1 MYD11A1 products, respectively), extraterrestrial radiation ( $R_a$ ) and relative sunshine ( $n / N$ ). The results show that four neural network models are able to estimate the amount of radiation reaching the Earth's surface with good correlation ( $R^2 > .85$ ). However, models based on MOD11A1 products have a higher accuracy than models based on MYD11A1 products. Neural network model of ANN1 (based on MOD11A1 products, relative sunshine and extraterrestrial radiation ( $R_a$ )) with the coefficient of determination ( $R^2$ ) equal to .9332 and the root mean square error (RMSE) equal to 1.4448 MJ per square meter per day is more accurate on the estimation of solar radiation than other models. The results also showed that the Neural network model ANN2, comparing with Hargreaves and Samani models based on air temperature and extraterrestrial radiation, is More accurate in estimating of solar radiation.

**Keywords:** Solar radiation, MODIS sensors, Land surface temperature, Neural network model

1,2- PhD Student and Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(\*- Corresponding Author Email: aftab2277@yahoo.com)