

## Eco-Environmental Quality Evaluation Using Remote Sensing and Artificial Neural Networks (Case Study: Cities of Tabriz and Rasht)

V. Nourani<sup>1</sup>, E. Foroumandi<sup>2\*</sup>, and E. Sharghi<sup>3</sup>

### Abstract

Environmental problems are among the major problems facing humankind in the recent century, and so far, various indices have been proposed and examined to assess them. Accordingly, in this study, to evaluate the ecological environmental quality (EQ) of 500 pixels (pixel area=1km<sup>2</sup>) around the city of Tabriz (center of East Azerbaijan Province) and 500 pixels around the city of Rasht (center of Gilan Province), Iran, with different climates, the EQ index has been investigated using Artificial Neural Networks (ANN) and remote sensing techniques. Eco-environment Background Value (EBV) based on a scoring and ranking system, was used to evaluate EQ. The higher the EBV, the better the ecological environmental quality. For the modeling, indicators including vegetation index, wetness index, Land Surface Temperature (LST), and Digital Elevation Model (DEM) data as well as precipitation and temperature were exploited as input of the three-layer back propagation artificial neural network (BPANN) model. The average of the data for the past 8 years for these indicators for the study regions were entered the network; once seasonally and once annually. The analysis showed that the ANN model has acceptable performance for estimating complex environmental functions, which are affected by various environmental parameters. The best performance of the network was obtained for Tabriz region in the spring with a root mean square error (RMSE) of 0.02 and coefficient of determination (R<sup>2</sup>) of 0.95. The better network performance for Tabriz compared to Rasht may be due to the weakness of the remote sensing tool in examining areas like Gilan with high vegetation density (VD) and high relative humidity (HRH). It seems that the high VD and HRH impede proper reflection without deviation from the land surface and disrupts the reception of the required data. Analyzing the spatial correlation between EQ and the land uses, it was found that forest lands were the best eco-environmental area, whereas the urban area had the relatively worst EQ. Human activities are a major impact on the EQ in this area.

**Keywords:** Eco-environment Value Assessment, Remote Sensing, Meteorological Data, Artificial Neural Network.

Received: March 31, 2019

Accepted: July 11, 2019

## ارزیابی کیفیت محیط زیستی با استفاده از ابزار سنجش از دور و شبکه‌های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: تبریز - رشت)

وحید نورانی<sup>۱</sup>، احسان فرومندی<sup>۲\*</sup> و الناز شرقی<sup>۳</sup>

### چکیده

مشکلات محیط زیستی، یکی از مهمترین مشکلات پیش‌روی بشر در قرن اخیر است که برای بررسی آن، تا کنون شاخص‌های مختلفی تعریف و بررسی شده است. بر همین اساس، در مقاله حاضر، جهت ارزیابی کیفیت محیط زیستی برای ۵۰۰ پیکسل، هر پیکسل به مساحت یک کیلومتر مربع در شهر تبریز و اطراف آن در استان آذربایجان شرقی و همچنین ۵۰۰ پیکسل به همان مساحت در شهر رشت و اطراف آن در استان گیلان که از لحاظ اقلیم با یکدیگر متفاوت می‌باشند، از شبکه‌های عصبی مصنوعی و ابزار سنجش از دور استفاده گردید. شاخص محیط زیستی (Eco-environment Background Value) EBV، جهت این منظور، مورد بررسی قرار گرفته است. برای مدل‌سازی، از شاخص‌های پوشش گیاهی، رطوبت خاک، درخشندگی، دمای سطح زمین و داده‌های رقومی ارتفاعی که با استفاده از ابزار سنجش از دور و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره Landsat7 (ETM+) و ASTER تهیه گردید و همچنین از داده‌های مربوط به میانگین بارش و دما که با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی زمینی به دست آمد، به عنوان ورودی به شبکه عصبی مصنوعی MLP سه لایه با الگوریتم آموزش back propagation، بهره‌گیری شده است. میانگین داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته برای شاخص‌های مذکور، یک بار به صورت فصلی برای چهار فصل و بار دیگر به صورت سالانه برای مناطق مورد بررسی در اطراف تبریز و رشت جهت تخمین شاخص EBV وارد شبکه شدند. نتیجه حاصل، نشان‌گر عملکرد بهتر شبکه برای منطقه تبریز در فصل بهار با  $R=0.9961$  و  $RMSE=0.0219$  می‌باشد. به نظر می‌رسد دلیل عملکرد بهتر شبکه برای تبریز در مقایسه با رشت را می‌توان ضعف ابزار سنجش از دور در بررسی مکان‌هایی همچون گیلان دانست که پوشش گیاهی متراکم و رطوبت جوی بالایی دارند. به نظر می‌رسد تراکم پوشش گیاهی و رطوبت بالا مانع از بازتاب مناسب و بدون انحراف از سطح زمین می‌شود و در دریافت داده‌های مورد نیاز، اختلال ایجاد می‌کند. با توجه به تجزیه و تحلیل رابطه مکانی میان کیفیت محیط زیستی و کاربری مناطق، بهترین مناطق محیط زیستی مربوط به زمین‌های جنگلی می‌باشد. همچنین مناطق شهری کمترین میزان کیفیت محیط زیستی را دارا می‌باشند که فعالیت‌های انسان، بیشترین ضربه را به کیفیت محیط زیست این مناطق وارد کرده است.

**کلمات کلیدی:** ارزیابی کیفیت محیط زیستی، سنجش از دور، داده‌های هواشناسی، شبکه عصبی مصنوعی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱/۱۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۴/۲۰

1- Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2- M.Sc. Graduate, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: ehsan.frmid@yahoo.com

3- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\*- Corresponding Author

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز.

\*- نویسنده مسئول  
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

یافتن روشی مناسب برای مدل‌سازی کیفیت محیط زیستی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این رابطه، (Hornik 1991) نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی BP با یک لایه پنهان و تابع فعال‌ساز غیر خطی، تقریب‌گرهای مناسبی برای تخمین شاخص‌های محیط زیستی می‌باشند. برای مدل‌سازی پدیده‌ها، روش‌های گوناگونی می‌توان به کار برد ولی با توجه به پیچیدگی موجود در رفتار طبیعت، باید به دنبال مدلی بود که به خوبی توانایی انجام این کار را داشته باشد. در این رابطه، شبکه عصبی به عنوان یک تقریب‌گر خود یادگیر و خود انطباق‌دهنده، توانایی مطلوبی در مدل‌سازی و پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی از خود ارائه داده است. شبکه عصبی مصنوعی یک روش مؤثر برای مدیریت مقادیر زیادی از داده‌های پویا و پر از خطا، به‌ویژه هنگامی که روابط اساسی فیزیکی آنها به طور کامل شناخته نشده است، ارائه می‌دهد (Falorni et al., 2005). لذا پژوهش‌گران با بررسی‌های مختلفی که بر روی روش‌های گوناگون مدل‌سازی انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی از جمله مدل شبکه عصبی مصنوعی، توانایی قابل اعتمادی برای ارزیابی شاخص‌های پیچیده مربوط به محیط زیست را دارا می‌باشد (Lillesand et al., 2014). امروزه مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی توسعه یافته‌اند که از پر کاربردترین آن‌ها، شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP<sup>6</sup> می‌باشند (Sun et al., 2011). با توجه به رفتار پیچیده محیط‌زیست که ناشی از ویژگی‌های احتمالاتی آن می‌باشد، ارزیابی اندیس‌های مربوط به آن، نیازمند داده‌هایی از شرایط محیط‌زیست منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز، پژوهش‌گران از روش‌های مختلفی استفاده می‌نمایند. یکی از این روش‌ها، استفاده از ابزار سنجش از دور می‌باشد. محققین از این ابزار برای به دست آوردن داده‌های مربوط به ویژگی‌های محیط‌زیست استفاده‌های بسیاری کرده‌اند (Zhang, 2003; Pettorelli et al., 2005; Wang et al., 2007; ) (Wang et al., 2010).

در این مقاله، سعی بر آن است تا با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، کیفیت محیط زیستی مناطق مورد مطالعه در تبریز و رشت در ایران ارزیابی و تخمین زده شود. برای این منظور، سعی شده است که از داده‌های حاصل از ابزار سنجش از دور و ایستگاه‌های هواشناسی زمینی برای یافتن ورودی‌های مورد نیاز برای طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده گردد. در ابتدا یک شبکه عصبی مصنوعی با داده‌های مربوط به شاخص‌های محیط زیستی و شاخص کیفیت محیط زیستی پایه (EBV<sup>7</sup>) برای مناطق بررسی شده، طراحی گردید و سپس برای تخمین کیفیت محیط زیستی برای تمام مناطق مورد مطالعه گسترش یافت.

مشکلات محیط زیستی یکی از مهمترین مشکلاتی است که بشر در قرن اخیر با آن روبرو شده است. با رشد هر چه بیشتر جمعیت، انسان برای تأمین نیازهای خود، ملزم به انجام فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی است که بیشتر در عرصه محیط زیست صورت می‌گیرند و عموماً در تقابل با ساز و کارهای محیط زیست می‌باشند. این نوع از فعالیت‌ها، سبب افزایش آلودگی هوا، آب و خاک، کاهش میزان آب‌های در دسترس و از بین رفتن جنگل‌ها می‌گردند. ارزیابی، یکی از راه‌های مقبول برای رسیدن به اهداف توسعه می‌باشد. تحقیقات مختلفی به ارزیابی شاخص‌های محیط زیستی در موضوعات مختلف پرداخته‌اند. بخشی از این اندیس‌ها، اندیس‌های مربوط به کیفیت محیط زیست مناطق مختلف می‌باشند. ارزیابی شاخص‌های کیفیت محیط زیستی، یک راه و ابزار مدیریتی برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری است. ارزیابی به شناسایی، پیش‌بینی و ارزشیابی پیامدهای زیست محیطی فعالیت‌های انسانی و غیرانسانی کمک می‌کند (Niu et al., 1996; ) (Noe et al., 2006). با پیشرفت‌های اخیر در علوم جغرافیایی مانند سنجش از دور و GIS<sup>1</sup>، روش‌های تخمین شاخص‌های محیط زیستی، پیشرفت قابل توجهی داشته است (Zheng et al., 2003). با توجه به اهمیت ارزیابی و تخمین اندیس‌های محیط زیستی، تحقیقات متعددی در این زمینه انجام گرفته‌است. لذا Shi et al. (2007) با به کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN<sup>2</sup>) BP<sup>3</sup> و استفاده توأمان از داده‌های مربوط به محیط زیست برای تخمین اندیس کیفیت محیط زیستی بهره گرفتند. کیفیت زندگی انسان‌ها، علاوه بر اینکه تحت تأثیر شرایط محیط زیستی می‌باشد، تابع عوامل مختلف دیگری نیز هست که می‌توان به‌صورت توأمان آن‌ها را بررسی نمود. در همین راستا، (Ying et al. 2007)، در تحقیقی با استفاده از روش AHP<sup>4</sup> و GIS به ارزیابی یکی از شاخص‌های کیفیت محیط زیست که حاصل ترکیب طبیعت محیط زیست، بلایا، آلودگی محیط زیست و عوامل اجتماعی-اقتصادی در استان Hunan در چین بود، پرداختند. همچنین در مطالعه‌ای دیگر، Huang et al. (2009) برای ارزیابی کیفیت محیط زیستی شهری، شاخصی را تعریف کردند که شرایط اجتماعی، اقتصادی و طبیعی مکان مورد مطالعه را دربر می‌گرفت. وزن‌دهی به این شاخص‌ها با توجه به نظر کارشناسان و سلسله عملیات تحلیلی، انجام گرفت. نتیجه تحقیق، تصمیماتی برای بهبود شرایط محیط زیست شهری ارائه داد. Li et al. (2006) در مطالعه‌ای به تخمین آسیب‌پذیری محیط زیست در مناطق کوهستانی با استفاده از ابزار سنجش از دور و GIS پرداختند. در این پژوهش، مدل‌سازی عددی محیط زیستی با روش SPCA<sup>5</sup> انجام گردید. با توجه به پیچیدگی‌های موجود در رفتار محیط زیست و وابستگی آن به بسیاری از عوامل،

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۲- مناطق مورد مطالعه و داده‌ها

مناطق مورد بررسی در مقاله حاضر، بخش‌هایی از استان آذربایجان شرقی، در اطراف شهر تبریز (شکل ۱-الف)، که در شمال غرب کشور ایران واقع شده است و همچنین مناطقی در استان گیلان، در اطراف شهر رشت (شکل ۱-ب)، واقع در شمال این کشور، می‌باشند.

استان آذربایجان شرقی، بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه شمال غربی ایران محسوب می‌شود. این استان دارای آب و هوای سرد کوهستانی می‌باشد. مرکز استان آذربایجان شرقی، کلان‌شهر تبریز می‌باشد. در بیشتر نقاط این استان، گیاهان طبیعی و خودروی کوتاه به شکل‌های مرتع و گیاهان پست وجود دارد. علاوه بر این، درختان جنگلی، گیاهان مراتع طبیعی مرغوب و جنگل‌ها و بیشه‌های متنوع این منطقه را تشکیل می‌دهد. آذربایجان شرقی منطقه‌ای مرطوب است ولی به علت سرمای شدید و برف زیاد در فصل زمستان، جنگل‌های این استان همانند جنگل‌های شمال انبوه و وسیع نیست. میانگین بارش سالانه در شهر تبریز ۲۸۴/۸ میلی‌لیتر می‌باشد. این شهر به طور میانگین ۸۵ روز در سال دچار یخبندان است. بخش اول تحقیق، بر روی ۵۰۰ پیکسل به مساحت هر پیکسل یک کیلومتر مربع در

اطراف شهر تبریز در این استان انجام گرفته است. این شهر در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان تبریز از دو ناحیه کوهستانی و دشت تشکیل شده است.

بخش دوم تحقیق، بر روی ۵۰۰ پیکسل، هر پیکسل به مساحت یک کیلومتر مربع در اطراف شهر رشت در استان گیلان انجام گرفته است. رشت در ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رطوبت نسبی در این شهر ۸۰٪ بوده و میانگین بارش ۱۳۵۹ میلی‌لیتر در سال می‌باشد. طبیعت استان گیلان، پوشیده از جنگل و دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است. گیلان، انتهای غربی رشته کوه البرز و بخش غربی جلگه‌های حاشیه دریای خزر ایران را دربر می‌گیرد. کل استان گیلان مرطوب و سبز است؛ جریانات جوی غالب شمالی- جنوبی، بر فراز دریا مرطوب شده، توسط مانع قوی کوه‌های البرز مجبور به صعود می‌شوند و در نتیجه به فراوانی بر جلگه و کوه‌پایه شمال غربی رشته کوه می‌بارند. استان گیلان، دارای پوشش گیاهی غنی می‌باشد، دلیل این موضوع، ممتاز بودن اقلیم آن است.

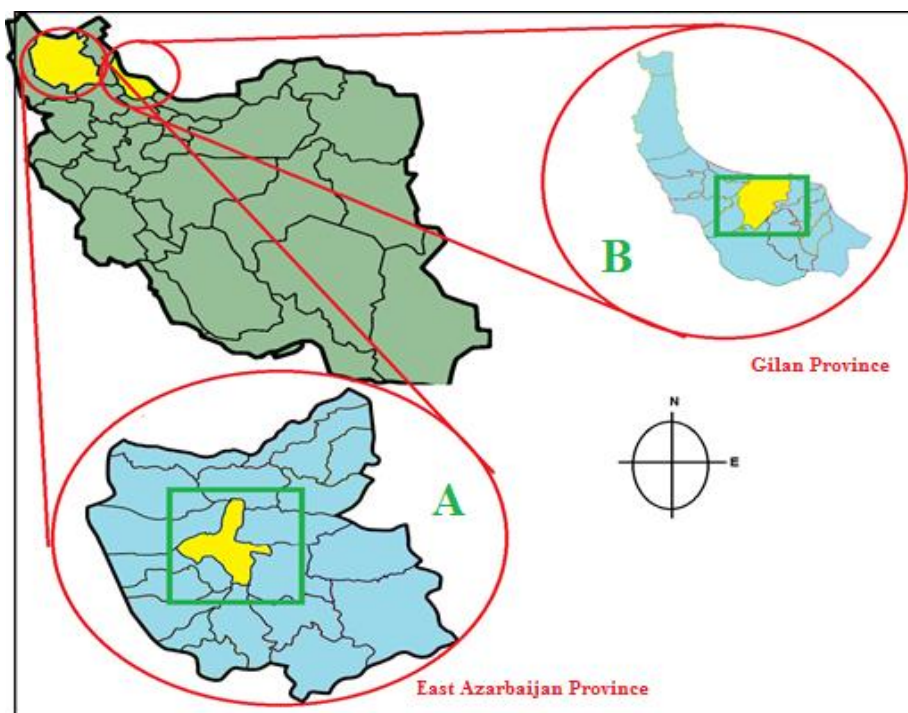


Fig. 1- The study area, (A) case study in East Azerbaijan Province (Tabriz), (B) case study in Gilan province (Rasht)

شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (الف- مورد مطالعاتی در استان آذربایجان شرقی (تبریز) ب- مورد مطالعاتی در استان گیلان (رشت))

## ۲-۲- داده‌های حاصل از ابزار سنجش از دور

پیش از هر نوع استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از جمله بررسی تغییرات و همچنین انجام محاسبات لازم جهت استخراج شاخص‌های مختلف، ضروری است که تصاویر خام برای استخراج اطلاعات مورد نیاز، تحت عملیات پیش پردازش قرار گیرند. انواع خطاها در تصاویر ماهواره‌ای شامل خطاهای هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری می‌باشند (Lillesand et al., 2014). در این مقاله، پس از اعمال تصحیح هندسی به روش تصویر به تصویر، به منظور تصحیح رادیومتریکی از روش Dark subtraction object که یکی از روش‌های تصحیح رادیومتریکی نسبی است و به‌طور گسترده در بسیاری از موارد به کار گرفته می‌شود (Chavez, 1996)، استفاده شده است.

شاخص  $NDVI^8$  به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها می‌باشد که در مطالعات بسیاری برای ارزیابی پوشش گیاهی استفاده شده است. مبنای ساختاری این شاخص وجود کلروفیل در گیاهان مختلف است که نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ، نور مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌سازد. مقدار عددی این شاخص بر اساس تعریف آن بین اعداد  $-1$  و  $+1$  تغییر می‌کند. آب، یخ و برف دارای مقادیر منفی و خاک دارای مقادیر کمتر از  $+0.5$  می‌باشد. این شاخص واکنش به اعمال فتوسنتزی را به خوبی نمایش می‌دهد که ارزش بالاتر آن نشانگر پوشش گیاهی متراکم‌تر و شاداب‌تر است که در پارامترهای محیط زیستی تأثیر به‌سزایی خواهد داشت (Pettorelli et al., 2005).

فرمول عمومی شاخص  $NDVI$  به صورت رابطه (۱) می‌باشد که در آن  $NIR$  مربوط به باند مادون قرمز نزدیک و  $Red$  مربوط به باند قرمز می‌باشد:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

رطوبت خاک، به‌ویژه رطوبت خاک سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و محیط زیست دارد. این مقوله، همچنین نقش مهمی در چرخه آبی طبیعت، به‌ویژه در توزیع آب باران بین رواناب سطحی و میزان نفوذ ایفا می‌کند. در این تحقیق از پارامتر  $NDMI^9$  که یکی از شاخص‌های حرارتی می‌باشد و می‌توان با تلفیق آن با شاخص  $NDVI$  به مقدار رطوبت خاک پی برد، استفاده شده است (Chang et al., 1991). این شاخص به‌صورت رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR) \quad (2)$$

که در رابطه (۲)،  $NIR$  مربوط به طیف مادون قرمز نزدیک و  $SWIR$  طیف مادون قرمز با طول موج کوتاه می‌باشد. دمای سطح زمین  $LST^{10}$ ، پارامتری کلیدی در مطالعات محیطی، به خصوص پیش

خشکسالی و متغیرهای مؤثر بر محیط زیست می‌باشد. این شاخص پارامتر مهمی در فیزیک سطح زمین و شارش انرژی میان زمین و اتمسفر است. دمای سطح زمین عمدتاً حاصل تابش پوشش‌های طبیعی از جمله خاک، آب، برف و پوشش گیاهی است. دمای سطح زمین که حاصل تابش پوشش‌های طبیعی از جمله خاک، آب، برف و پوشش گیاهی است، از جمله متغیرهایی محسوب می‌شود که در دامنه وسیعی از مطالعات و تحقیقات علوم زمین و محیط زیست؛ به ویژه در پروژه‌هایی که دید وسیعی از مکان در آن‌ها مورد نیاز است، کاربرد دارد (Sobrinho et al., 1991). درخشندگی محیط، دیگر پارامتری است که با استفاده از ابزار سنجش از دور قابل حصول می‌باشد. وقتی نور به یک جسم می‌تابد، مقداری از آن جذب جسم می‌شود و در نتیجه تمام آن بازتاب نمی‌گردد. در واقع درخشندگی، میزان نوری است که سنجنده از جسم می‌گیرد. در اندازه‌گیری این شاخص، عامل‌های محیط زیستی زیادی از جمله میزان ابر، هندسه محیط و زاویه تابش نور خورشید بر آن تأثیرگذار هستند. لذا این شاخص می‌تواند در تخمین کیفیت محیط زیستی کمک کند (Tool et al., 2000). داده‌های رقومی ارتفاعی ( $DEM^{11}$ )، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌های ارتفاعی مکان‌های توزیع شده روی سطح زمین می‌باشند (Tachikava et al., 2011). برای مناطق مورد بررسی در این مقاله، داده‌های رقومی ارتفاعی از تصاویر ماهواره‌ای  $ASTER$  با دقت (1 arc second: 30m) استفاده شده است.

## ۲-۳- محاسبه شاخص محیط زیستی EBV

در این مقاله کیفیت محیط زیستی مناطق مورد مطالعه با استفاده از شاخص  $EBV$  مورد سنجش قرار گرفته است. با توجه به رده‌بندی‌ها و جداول موجود، هرچه میزان این رقم بیشتر باشد، کیفیت محیط زیستی منطقه بالاتر است. جدول ۱، با توجه به وضعیت توپوگرافی، آب و هوایی، پوشش گیاهی و گونه محیط زیستی، مناطق را رده‌بندی کرده و برای هر رده، بازه‌ای به عنوان ارزش، اختصاص داده است. این رده‌بندی توسط china technical criterion for eco-environmental quality evaluation (Gazette, 2001) انجام گرفته است.

## ۲-۴- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های محاسباتی نوینی هستند که برای تخمین و پیش بینی داده مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه عصبی مصنوعی، از سه لایه ورودی، خروجی و پردازش تشکیل می‌شود. هر ورودی در شبکه عصبی دارای وزن متناظر با خود می‌باشد.

**Table 1- The scoring and ranking system of the eco-environmental background value (Shi et al., 2007)****جدول ۱- رده‌بندی EBV (Shi et al., 2007)**

Rank	EBV range	Eco-environment type	Topographical condition	Vegetable cover/Land cover	Humidity and heat
I	500-450	High coverage ratio broadleaf, conifer & broadleaf mixed eco-environment type	Moderate mountain (1000–1200 m)	Evergreen broadleaf forest; Tree cover >90%	70–80% Shady and cool
II	450-400	Moderate coverage ratio conifer & broadleaf mixed eco-environment types	Low mountains (500–1000 m)	Subtropical conifer and broadleaf mixed forest, deciduous broadleaf forest; Tree cover is 80–90%	60–70% Shady and cool
III	400-350	Low coverage ratio conifer eco-environment type	Low mountains (500–1000 m)	Conifer forest: fir, horsetail forest	40% Shady
IV	350-300	Shrub eco-environment type	Various hilly and mountainous lands	Evergreen broadleaf forest, shrub	50–60% Warm
V	300-250	Meadow & brushwood eco-environment type	Top of moderate mountains (>1200 m)	Meadow, bunch grasses (gramineae)	30% Cool
VI	250-200	Economic forest eco-environment type	Costal low hills and uplands, valley	Orchard garden, tea garden, bamboo	30% Warm
VII	200-150	Wetland eco-environment type	Plain farmland	Irrigation farming	50% Dry and heat
VIII	150-100	Arid & barren land eco-environment type	Peninsula, sand beach	Dry farming	20% Dry and heat
IX	100-50	Artificial construction eco-environment type	Plain	Residential area, buildings	20% Dry and heat

در این مقاله، از شاخص‌های NDVI، NDMI، DEM، LST، درختسنگی، میانگین دما فصلی و میانگین بارش فصلی به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی MLP با یک لایه میانی جهت ارزیابی شاخص EBV به عنوان خروجی، استفاده شده است. در صورت بالا بودن همبستگی میان شاخص‌های ورودی به شبکه عصبی، استقلال شاخص‌ها مناسب نخواهد بود و ارزیابی شاخص خروجی که در این مقاله شاخص EBV می‌باشد، دچار مشکل خواهد شد. به همین دلیل همبستگی میان شاخص‌های ورودی، با استفاده از ضریب همبستگی کنترل گردید که نتیجه حاصل، در حد فاصل ۰/۲۵ تا ۰/۲۵- نشانگر پایین بودن همبستگی میان آن‌ها می‌باشد.

تاکنون روش‌های مختلفی برای آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی معرفی شده است که شبکه‌های عصبی Back Propagated (BP) یکی از پر کاربردترین آن‌ها می‌باشند. هدف از آموزش شبکه عصبی مصنوعی به حداقل رساندن خطا میان مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر هدف با تنظیم مقادیر وزن‌ها و بایاس‌ها می‌باشد (Moisen and Frescino, 2002). ویژگی ممتاز شبکه عصبی مصنوعی قابل استفاده بودن آن در هر موردی که نیاز به یادگیری نگاشت خطی و یا غیرخطی است، می‌باشد (Elshorbagy et al., 2000). شبکه‌های عصبی مصنوعی MLP که از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی و یک لایه خروجی تشکیل شده‌اند، پر کاربردترین نوع این شبکه‌ها می‌باشند (Sun et al., 2011).

## ۲-۵- روش انجام تحقیق

در گونه محیط زیستی، پایداری و تعادل شرایط آن، تأثیرگذار می‌باشند. در این پژوهش از شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI)، رطوبت خاک (NDMI)، درخشندگی (Radiance) و دمای سطح زمین (LST) که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده Landsat7 (ETM+) استخراج شدند و همچنین داده‌های رقوم‌ی ارتفاعی ارائه شده توسط تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ASTER مورد استفاده قرار گرفتند. برای یافتن داده‌های مربوط به میانگین دما و میانگین بارش، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی استفاده گردید. کلیه داده‌های مورد استفاده قبل از ورود به شبکه‌های عصبی مصنوعی نرمال‌سازی شدند.

برای کاهش وابستگی مدل به داده‌های مربوط به یک سال، داده‌های مورد استفاده، به‌صورت میانگین داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته (۲۰۱۰-۲۰۱۷ میلادی) مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین برای بررسی تأثیر فصول بر روی مدل، داده‌های مربوط به چهار فصل سال، به صورت جداگانه برای ۸ سال اخیر میانگین‌گیری شده و وارد مدل شبکه عصبی شدند. لذا داده‌های مربوط به میزان بارش و میانگین دما به صورت ماهانه برای سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ میلادی در ۱۹ ایستگاه هواشناسی در استان آذربایجان شرقی و ۱۳ ایستگاه هواشناسی در استان گیلان از سازمان هواشناسی وزارت راه و شهرسازی اخذ گردید. در ادامه، داده‌های خام پس از بررسی و اعمال پیش پردازش‌های مورد

روش تحقیق استفاده شده در پژوهش حاضر، مطابق شکل ۲ می‌باشد. در این راستا، جهت ارزیابی کیفیت محیط زیستی، شاخص EBV که با توجه به مطالعات گذشته، یکی از مهمترین شاخص‌ها در مدیریت محیط زیست می‌باشد (Shi et al., 2007)، مورد استفاده قرار گرفته است. برای تخمین این پارامتر، تعدادی از اکولوژیست‌ها با بررسی مناطق از نظر شرایط توپوگرافی، انواع خاک، پوشش گیاهی و شرایط هواشناسی منطقه مورد مطالعه با توجه به جدول ۲ به امتیازدهی پرداختند. سپس تعدادی از مناطق به‌صورت انتخاب تصادفی، جهت بررسی میدانی انتخاب شده، با استفاده از دستگاه GPS شناسایی و در محل مورد تحقیق قرار گرفتند. در مرحله بعد، برای کاهش زمان و هزینه مورد نیاز برای تخمین این اندیس که توسط اکوتولوژیست‌ها با بررسی‌های گسترده اطلاعات نظری و میدانی انجام گرفته بود، تصمیم برای طراحی و استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی گرفته شد. برای یافتن داده‌های مورد نیاز جهت تخمین این اندیس با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، از ابزار سنجش از دور که امروزه ابزار بسیار مناسبی برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز جهت مطالعه در بسیاری از زمینه‌های علمی است، بهره‌گیری شده است. بخش دیگر داده‌های مورد نیاز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی زمینی تأمین گردید. آب، دما، میزان و نوع پوشش گیاهی، شرایط خاک، ارتفاع و الگوهای مکانی- زمانی- فصلی مربوط به آن‌ها،

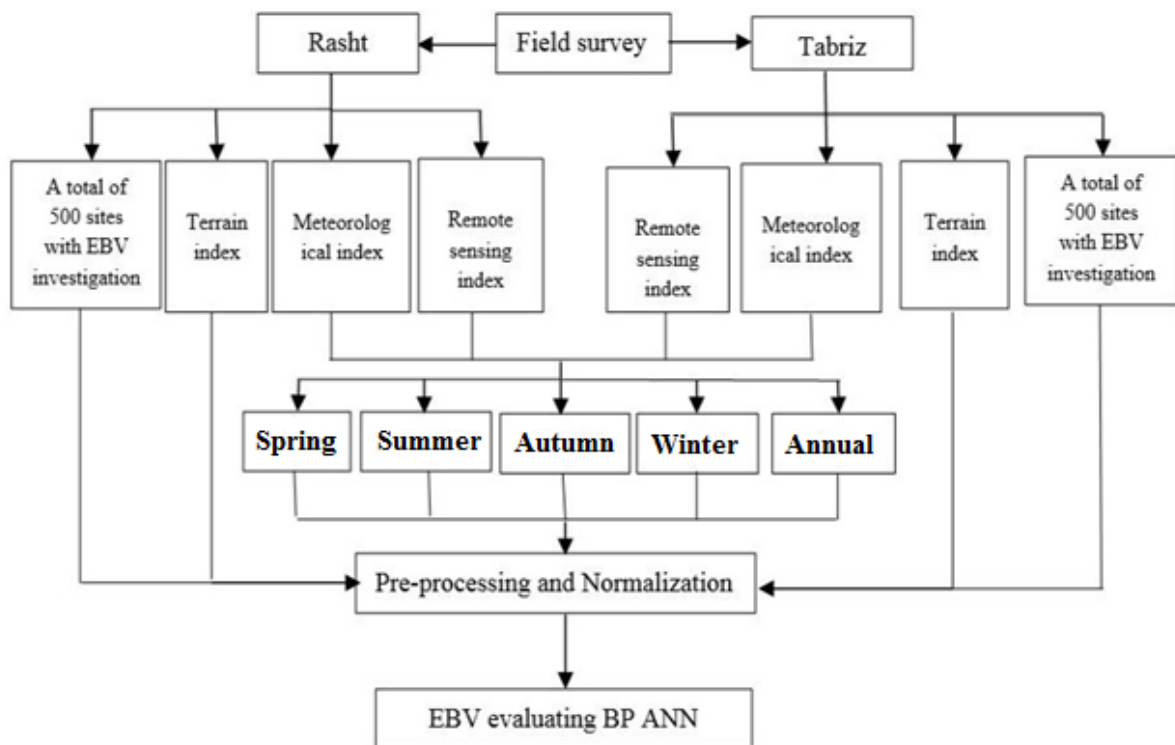


Fig. 2- Flowchart illustrating the research methodology

### شکل ۲- فلوچارت مدل‌سازی پیشنهادی

تحقیقات منابع آب ایران، سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸  
Volume 15, No. 2, Summer 2019 (IR-WRR)

$(R^2 \sim 1, RMSE \sim 0)$ .

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - C_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - C_i)^2}{N}} \quad (4)$$

**Table 2- Deriving Indexes used as ANN inputs**  
جدول ۲- داده‌های مورد استفاده به عنوان ورودی شبکه

عصبی مصنوعی		
Tools	Data sources	Indexes
Remote sensing	Landsat7 (ETM+)	NDVI
		NDMI
		Radiance
		LST
Ground measurement	ASTER	DEM
	Meteorological observation	Temperature Index
		Precipitation Index

که در روابط (۱) و (۲)،  $O_i$  بیانگر مقدار پارامتر مشاهداتی،  $\bar{O}$  میانگین مقدار پارامترهای مشاهداتی،  $C_i$  مقدار پارامتر محاسباتی و  $N$  تعداد کل داده‌های موجود است.

### ۳- نتایج و بحث

در این مقاله، شاخص محیط زیستی برای ۵۰۰ منطقه در اطراف شهر تبریز در استان آذربایجان شرقی و همچنین ۵۰۰ منطقه در اطراف شهر رشت در استان گیلان، به صورت مربع‌هایی به اضلاع ۱ کیلومتر، مورد بررسی قرار گرفته است. برای کاهش وابستگی مدل به داده‌های مربوط به یک سال، داده‌ها به صورت میانگین داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته، سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷، مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برای بررسی تأثیر فصول بر روی مدل، داده‌های مربوط به چهار فصل سال به صورت میانگین مربوط به همان ۸ سال به صورت جداگانه در محدوده مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و گیلان وارد شبکه گردید. در ادامه، کارایی مدل با ورودی داده‌ها به صورت میانگین سالانه مربوط به هشت سال اخیر برای هر دو منطقه، مورد سنجش قرار گرفت. با توجه به عملکرد بهتر مدل در فصل بهار برای هر دو منطقه مورد مطالعه، داده‌های مربوط به تبریز به صورت کامل و داده‌های مربوط به رشت فقط در فصل بهار ارائه داده خواهد شد.

### ۳-۱- داده‌های حاصل از ابزار سنجش از دور

در شکل ۳ که میانگین داده‌های NDVI برای ۸ سال گذشته وجود دارد، مشاهده گردید که میزان پوشش گیاهی در پیکسل‌هایی که بیانگر نقاط شهری می‌باشند، بسیار کم و در حد صفر می‌باشد.

نیاز بر روی آن‌ها، به صورت فصلی در ۸ سال، میانگین‌گیری شدند. برای به دست آوردن داده‌های مورد نیاز در مکان‌هایی که بین این ایستگاه‌ها واقع شده‌اند از روش کریجینگ استفاده گردید. کریجینگ روش درون‌یابی است که برای داده‌هایی که دارای روندهای موضعی مشخصی باشند، مناسب است. این روش، عمل درون‌یابی را با کمترین واریانس تخمین انجام می‌دهد که میزان خطای آن تابع مشخصات واریوگرام (ساختار فضایی) است (Stein, 2000). اگر مطالعات مربوط به واریوگرافی و تشخیص مدل واریوگرام با دقت کافی انجام شود، درون‌یابی با این روش با دقت بالایی همراه خواهد بود. برای یافتن داده‌های مربوط به سایر شاخص‌های محیط زیستی، از ابزار سنجش از دور بهره گرفته شد. ماهواره‌ها و سنجنده‌های بسیاری توسط سازمان فضایی کشورهای مختلف به فضا ارسال شده است که با توجه به ویژگی‌های سنجنده‌های موجود، سنجنده مورد نظر برای پژوهش‌های مربوط با این ابزار، انتخاب می‌گردد. در مقاله پیش‌رو، از تصاویر ماهواره Landsat7 (ETM+) با توجه به محدوده بانندی که پوشش می‌دهد و همچنین امکان این ماهواره در تهیه پوشش کامل زمین به صورت هر ۱۶ روز، برای نیل به هدف خود، از داده‌های سنجنده این ماهواره استفاده گردید. برای این منظور، ۱۲ تصویر از این ماهواره برای هر سال، از سال ۲۰۱۰-۲۰۱۷ میلادی اخذ گردید و پس از انجام پیش‌پردازش‌های مورد نیاز، میانگین‌گیری به صورت فصلی صورت گرفت؛ زیرا کیفیت محیط زیستی منطقه، تحت تأثیر شرایط چندین سال می‌باشد. همچنین از تصاویر (DEM) سنجنده ASTER برای نقشه داده‌های رقومی ارتفاعی استفاده شده است. داده‌های حاصل از ابزار سنجش از دور با تفکیک و دقت ۳۰ متری، توسط سنجنده‌های مورد استفاده، ارائه گردیدند. پیش‌پردازش تصاویر مورد استفاده، قبل از ورود به شبکه عصبی انجام گرفته و همچنین مشکل فضاهای خالی (گپ) موجود در تصاویر ارائه شده توسط سنجنده Landsat7 (ETM+) رفع شد (Zeng et al., 2013; Roy et al., 2010). برای ارزیابی کیفیت محیط زیستی از شاخص‌های محیط زیستی مطابق جدول ۲ به عنوان ورودی جهت مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد.

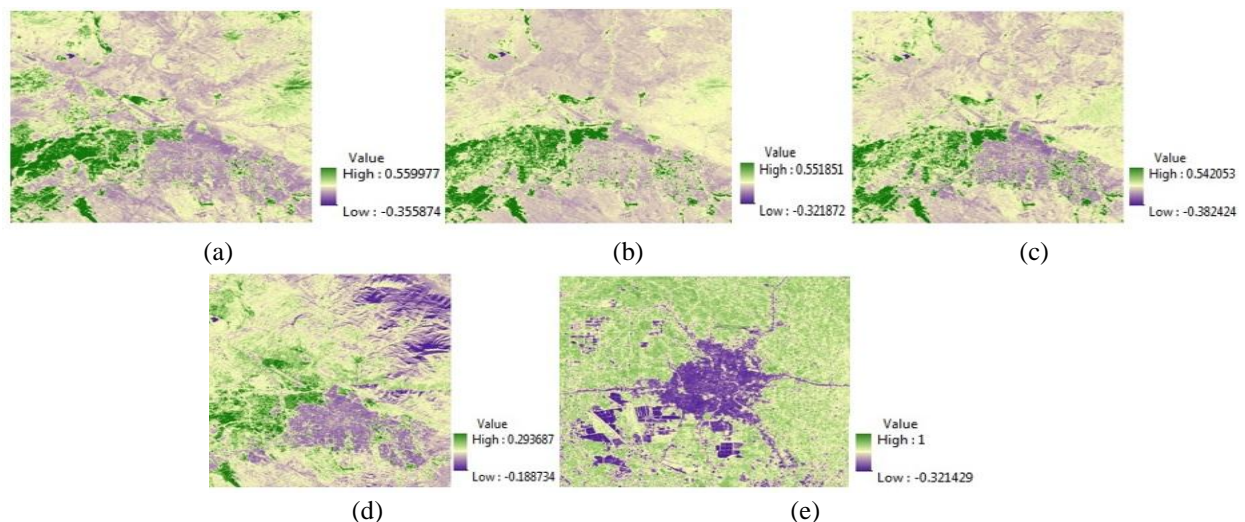
### ۲-۶- معیارهای ارزیابی

ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی به منظور سنجش دقت مدل‌ها در انجام پیش‌بینی انجام می‌گیرد. برای این منظور آماره‌های مختلفی تدوین شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ از پرکاربردترین آن‌ها ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )<sup>۱۲</sup> می‌باشند که مقادیر آنها در هر دو مرحله آموزش<sup>۱۳</sup> و صحت‌سنجی<sup>۱۴</sup> باید در محدوده مطلوب قرار گیرند. روابط (۱) و (۲) نشان‌دهنده این آماره‌ها می‌باشند

بررسی تصاویر مربوط به شاخص NDMI به صورت فصلی میانگین ۸ ساله در مناطق مورد مطالعه در شهر تبریز و مناطق اطراف مطابق شکل ۴ نشان گر این موضوع می باشد که شاخص مورد مطالعه، در فصل زمستان دارای ارزش بالایی می باشد که می توان دلیل آن را بارش های زیادی که در این فصل اتفاق می افتد، دانست. کمترین میزان این شاخص در نواحی مشابه، در فصل تابستان می باشد که میزان بارندگی ها در این فصل حداقل مقدار است. با توجه به بررسی تصاویر به دست آمده، میزان این شاخص در زمین های مربوط به دشت تبریز نسبت به سایر مناطق بیشتر می باشد. بررسی شکل ۴ نشان می دهد که میزان این شاخص در پیکسل های مربوط به مناطق شهری دارای کمترین ارزش می باشد. تصویر مربوط به شاخص NDMI در فصل بهار مربوط به مناطق مورد مطالعه در شهر رشت و مناطق اطراف، نشان گر ارزش کم این شاخص در شهر رشت نسبت به مناطق اطراف می باشد که می توان حدس زد که دلیل آن وجود عوارض شهری است.

مطابق شکل ۵، در بررسی دمای سطح زمین به صورت میانگین ۸ ساله در تبریز و مناطق اطراف، دمای قسمت های شمالی تصویر کمتر از سایر نقاط می باشد. همچنین بیشترین دما مربوط به قسمت های شمال شرقی و غربی تصویر است. در بررسی عددی دماهای به دست آمده توسط این شاخص، دمای سطح زمین در تابستان بیشتر از سایر فصول بوده و در زمستان کمترین دماها را دارا می باشند.

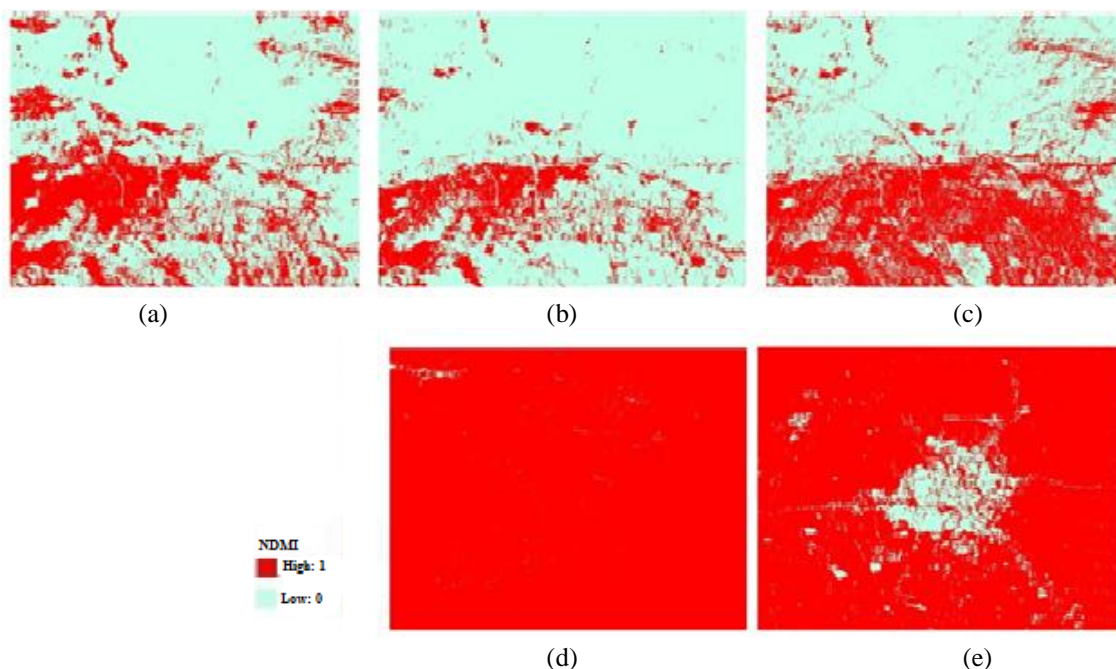
همچنین مشاهده گردید که میزان پوشش گیاهی در غرب شهر تبریز غنی تر از مناطق دیگر می باشد. این مناطق شامل زمین های هموار دشت تبریز می شوند. میزان این شاخص در شرق و شمال شرق تصویر، مقدار کمی دارد که مربوط به کوه های عون ابن علی و بابا باغی می شود. همچنین میزان پوشش گیاهی در جنوب شهر که رشته کوه سهند واقع شده است، مقدار کمی دارد. پوشش گیاهی در مناطق شمالی شهر نیز فقیر است که دلیل آن را می توان وجود کوه های یکه چین دانست. با توجه به جغرافیای شهر تبریز، که از سمت شمال، جنوب و شرق به کوهستان و از غرب به زمین های هموار دشت تبریز محدود شده است؛ نتایج حاصل از شکل ۳ قابل قبول و منطقی می باشد. همچنین مشاهده می گردد که غنی ترین پوشش گیاهی مربوط به فصل بهار و کمترین درجات این پوشش، مربوط به فصل زمستان می باشد. در منطقه مورد مطالعه در استان گیلان، مطابق شکل ۳، میزان پوشش گیاهی در پیکسل های مربوط به نقاط شهری فقیر می باشد. در این تصویر، پوشش گیاهی غنی در سایر مناطق قابل مشاهده است. شهر رشت و مناطق اطراف آن جزئی از جلگه گیلان و دشت های دریای خزر می باشد. در مقایسه شاخص های عددی تصاویر پوشش گیاهی مربوط به تبریز و رشت در فصل بهار، حداکثر میزان NDVI در رشت برابر ۱ می باشد در حالی که حداکثر میزان این شاخص در تبریز ۰/۵۵ می باشد، این امر نشان گر این موضوع است که کیفیت پوشش گیاهی این منطقه متراکم تر از تبریز می باشد.



**Fig. 3-** NDVI map of the studied areas, (a) areas studied in E-Azerbaijan in Spring, (b) areas studied in E-Azerbaijan in Summer, (c) areas studied in E-Azerbaijan in Autumn, (d) areas studied in E-Azerbaijan in Winter, (e) areas studied in Gilan in Spring.

شکل ۳- نقشه NDVI مناطق مورد بررسی (الف- آذربایجان شرقی، بهار، ب- آذربایجان شرقی، تابستان، پ- آذربایجان شرقی، پاییز، ت- آذربایجان شرقی، زمستان، ث- گیلان، بهار)



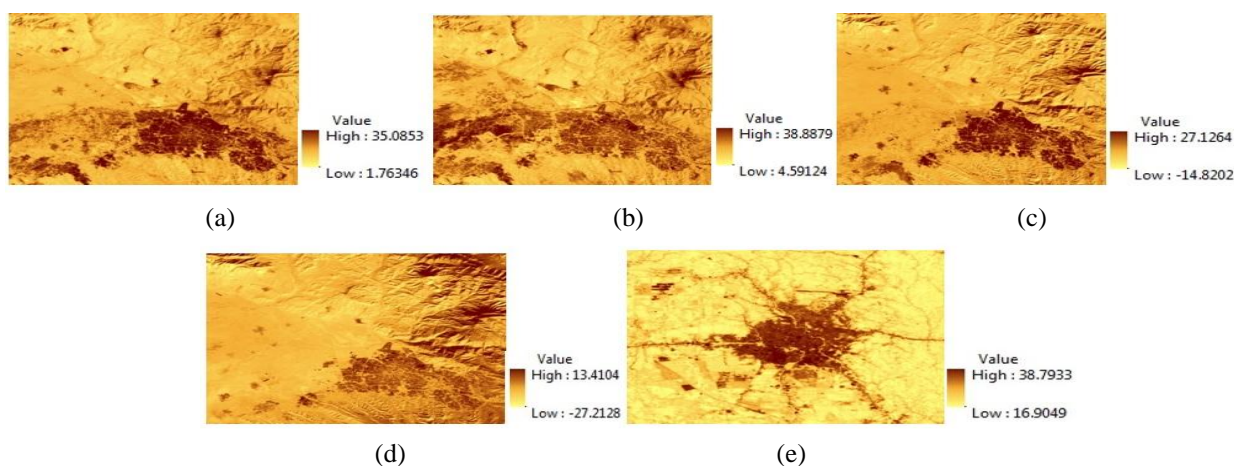


**Fig. 4- NDMI map of the studied areas, (a) areas studied in E-Azerbaijan in Spring, (b) areas studied in E-Azerbaijan in Summer, (c) areas studied in E-Azerbaijan in Autumn, (d) areas studied in E-Azerbaijan in Winter, (e) areas studied in Gilan in Spring**

شکل ۴- نقشه NDMI مناطق مورد بررسی (الف- آذربایجان شرقی، بهار، ب- آذربایجان شرقی، تابستان، پ- آذربایجان شرقی، پاییز، ت- آذربایجان شرقی، زمستان، ث- گیلان، بهار)

شهرهای تبریز و رشت نسبت به مناطق اطراف بیشتر می‌باشد که دلیل آن، فعالیت‌های انسانی متمرکز در شهرها است که سبب تولید گرما و افزایش دما در این مناطق می‌گردد.

همچنین با بررسی شکل (۵-ث) که میانگین ۸ ساله دمای سطح زمین در بهار رشت و مناطق اطراف می‌باشد، می‌توان مشاهده کرد که دمای شهر رشت، بیشتر از مناطق اطراف آن می‌باشد. با بررسی کلیه تصاویر شکل ۵، می‌توان دریافت که دمای پیکسل‌های مربوط به

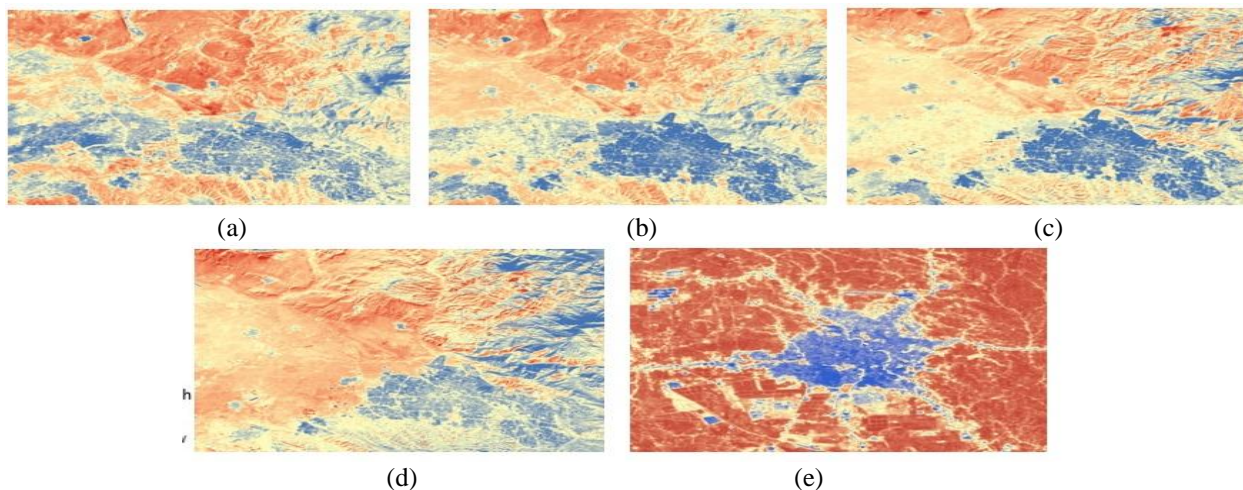


**Fig. 5- LST map of the studied areas, (a) areas studied in E-Azerbaijan in Spring, (b) areas studied in E-Azerbaijan in Summer, (c) areas studied in E-Azerbaijan in Autumn, (d) areas studied in E-Azerbaijan in Winter, (e) areas studied in Gilan in Spring**

شکل ۵- دمای سطح زمین در مناطق مورد بررسی (الف- آذربایجان شرقی، بهار، ب- آذربایجان شرقی، تابستان، پ- آذربایجان شرقی، پاییز، ت- آذربایجان شرقی، زمستان، ث- گیلان، بهار)

کمتری نسبت به سایر نقاط دارد که این امر بیانگر جذب بیشتر نور در مناطق شهری می‌باشد. در بررسی شکل (۶-ث) مشاهده می‌گردد که در فصل بهار، میزان درخشندگی در شهر رشت کمتر از سایر مناطق می‌باشد. این تصویر نیز نتیجه‌گیری انجام‌شده در ارتباط با نور جذب‌شده بیشتر در مناطق شهری را تأیید می‌کند.

مقایسه تصاویر مربوط به میانگین ۸ ساله درخشندگی در شکل ۶، نشانگر آن است که شاخص درخشندگی در قسمت‌های شمالی شهر تبریز بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. همچنین در مقایسه فصلی، میزان درخشندگی در مناطق مختلف، در فصل زمستان بیشتر از سایر فصل‌ها می‌باشد. میزان این شاخص در پیکسل‌های مربوط به شهر تبریز، ارزش



**Fig. 6- Radiance map of the studied areas, (a) areas studied in E-Azerbaijan in Spring, (b) areas studied in E-Azerbaijan in Summer, (c) areas studied in E-Azerbaijan in Autumn, (d) areas studied in E-Azerbaijan in Winter, (e) areas studied in Gilan in Spring**

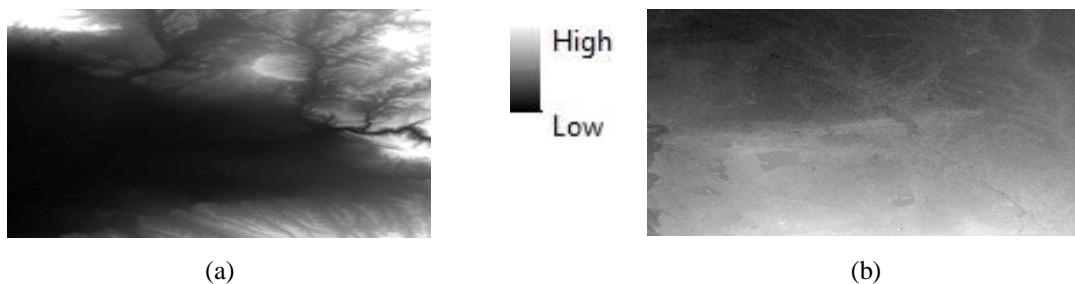
شکل ۶- درخشندگی در مناطق مورد بررسی (الف- آذربایجان شرقی، بهار، ب- آذربایجان شرقی، تابستان، پ- آذربایجان شرقی، پاییز، ت- آذربایجان شرقی، زمستان، ث- گیلان، بهار)

افزایش می‌یابد. شهر رشت به‌طور میانگین در ارتفاع ۵ متری واقع شده است.

### ۳-۲- محاسبه شاخص محیط زیستی EBV

برای محاسبه EBV در مناطق مورد بررسی در این مقاله، ابتدا تعدادی از اکولوژیست‌ها با بررسی گونه محیط زیستی، نوع و میزان پوشش گیاهی، ارتفاع مناطق از سطح آب‌های آزاد، دما و رطوبت با استفاده از جدول ۲ به امتیازدهی مناطق مورد بررسی پرداختند. میزان EBV بیشتر نشانگر کیفیت محیط زیستی بهتر آن منطقه می‌باشد. در بررسی‌های صورت گرفته در ارتباط با شاخص EBV برای مناطق مورد مطالعه در تبریز و اطراف، شهر تبریز و سایر شهرها و روستاهای اطراف این شهر در رده IX قرار گرفته‌اند. زمین‌های کشاورزی مربوط به این منطقه که اکثراً در اطراف شهرها و روستاها واقع شده‌اند، در ردیف VII قرار می‌گیرند. سایر قسمت‌های مربوط به این منطقه با توجه به ارتفاع این منطقه که بیشتر از ۱۲۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد، نوع گونه‌های محیط زیستی و شرایط آب و هوایی، در اکثر نقاط در ردیف V قرار می‌گیرند.

برای مناطق مورد بررسی در این مقاله، از تصاویر DEM ارائه شده توسط ماهواره ASTER استفاده شده است. داده‌های رقومی ارتفاعی مورد نیاز از این سنجنده به‌طور مستقیم از سایت زمین‌شناسی آمریکا، تهیه گردید. تصاویر ارائه شده توسط سنجنده ASTER به‌صورت پیکسل‌های ۳۰ متر در ۳۰ متر می‌باشد. بررسی نقشه رقومی ارتفاعی دو منطقه مطابق شکل ۷، نشان می‌دهد که مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی تغییرات ارتفاعی بیشتری نسبت به مناطق مورد مطالعه در گیلان دارند. مناطق غربی تبریز که مربوط به زمین‌های دشت تبریز می‌باشند، ارتفاع کمتری نسبت به سایر قسمت‌ها دارند. قسمت‌های شمالی، شرقی و جنوبی که ارتفاعات بلندتری دارند، کوه‌های اطراف شهر تبریز را نمایش می‌دهند. شهر تبریز به‌طور میانگین در ارتفاع ۱۳۵۰ متری از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. همچنین در بررسی نقشه مربوط به مناطق مورد مطالعه گیلان، قسمت‌های شمالی که نزدیک به دریای خزر می‌باشند، پست‌تر از سایر مناطق می‌باشند. همچنین این مناطق دارای ارتفاع کمتری نسبت به سطح آب‌های آزاد هستند. در قسمت‌های جنوبی و غربی با نزدیک شدن به رشته‌کوه‌های البرز، با متوسط ارتفاع ۳۰۰۰ متر، ارتفاع نقاط



**Fig. 7- DEM map of the studied areas, (a) areas studied in E-Azerbaijan in Spring, (b) areas studied in Gilan.**  
 شکل ۷- نقشه DEM مناطق مورد مطالعه (الف- مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی، ب- مناطق مورد مطالعه در گیلان)

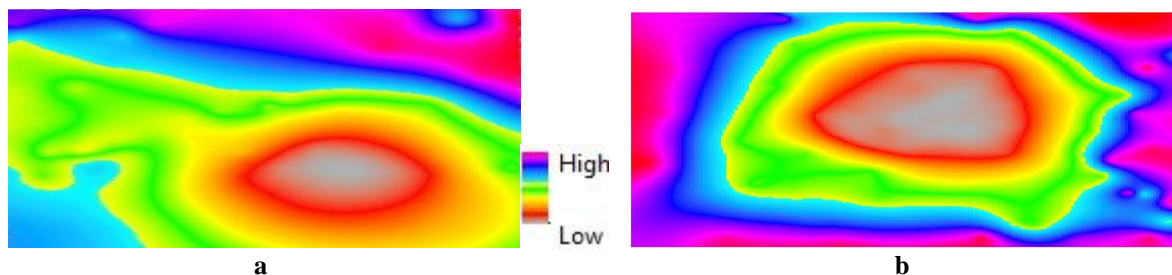
ورودی‌های مورد نیاز که در جدول ۲ به آن اشاره گردید، مطابق شکل ۹ مورد استفاده قرار گرفته است. خروجی‌های محاسبه شده توسط شبکه که در واقع outputs EBV می‌باشند با مقادیر مورد انتظار که در ابتدای بحث توسط کارشناسان تخمین زده شده است و targets EBV نامیده می‌شوند، مورد ارزیابی قرار گرفت.

در این مقاله، ۷ سری داده به عنوان نرون‌های لایه ورودی و سری داده‌های EBV در لایه خروجی قرار گرفت؛ همچنین تعداد ۱۰ نرون در لایه پنهان که با فرآیند آزمون و خطا تعیین گردید، به عنوان لایه میانی در نظر گرفته شد. در این فرآیند، ساختاری از شبکه که دارای بهترین نتایج در قالب معیار جذر میانگین مربع خطاها برای داده‌های آموزشی می‌باشد را می‌توان به عنوان ساختار مطلوب و بهینه برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار داد. قابل ذکر است که داده‌های ورودی به شبکه عصبی، نرمال‌سازی شده‌اند که این کار در بهبود نتایج و افزایش دقت پیش‌بینی تأثیر بسزایی دارد (Elshorbagy et al., 2000). ساختار مدلی ANN بهینه به صورت ۷:۱۰:۱ ایجاد گردید. در مرحله آموزش، شبکه عصبی، روابط موجود میان داده‌های ورودی و خروجی را با وزن‌ها و بایاس‌ها سنجیده و به یاد سپرد. در مرحله سنجش، این آموخته‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بررسی این شاخص برای مناطق مورد مطالعه رشت، در مناطق شهری از نوع IX می‌باشند. زمین‌های کشاورزی اطراف شهرها در رده VIII می‌باشند ولی با توجه به کیفیت بیشتر کشاورزی در این مناطق، ارزش مربوط به این زمین‌ها، از زمین‌های کشاورزی موجود در تبریز بیشتر می‌باشد. همچنین مناطقی که مربوط به زمین‌های کشاورزی و شهرها نمی‌باشند، بیشتر از نوع IV و VI می‌باشند. شکل ۸ نشان‌گر نتایج حاصل می‌باشد. مطابق با این نتایج و با بررسی‌های صورت گرفته میزان EBV در مناطق شهری در کمترین میزان خود قرار دارد. در ادامه برای اطمینان از نتایج حاصل، تعدادی از مناطق مختصات‌یابی شده و با استفاده از دستگاه GPS در محل شناسایی و مورد بررسی قرار گرفتند.

### ۳-۳- شبکه عصبی مصنوعی

در مقاله حاضر، پس از اینکه اکوتولوژیست‌ها به ارزیابی مناطق مورد مطالعه از لحاظ کیفیت محیط زیست پرداختند و با بررسی‌های مورد نیاز و با توجه به جدول ۱، به هر منطقه ارزشی تحت عنوان EBV اختصاص داده شد، برای تخمین شاخص EBV با استفاده از مدل‌سازی، مطابق با پژوهش‌ها و دانسته‌های پیشین، مدل جعبه سیاه شبکه عصبی مصنوعی MLP سه لایه با الگوریتم آموزش BP با



**Fig. 8- Eco-environmental background value (EBV) map of the studied areas, (a) areas studied in East Azerbaijan, (b) areas studied in Gilan**

شکل ۸- نقشه EBV مناطق مورد مطالعه (الف- مناطق مورد مطالعه در آذربایجان شرقی، ب- مناطق مورد مطالعه در گیلان)

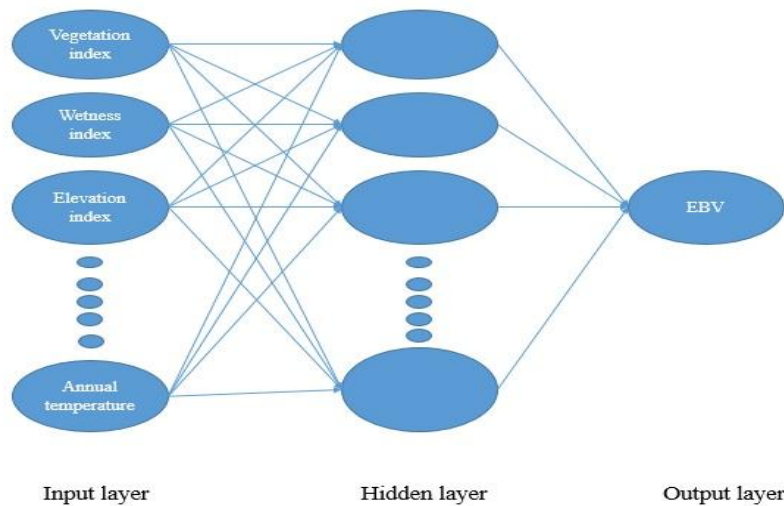


Fig. 9- Schematic of proposed ANN

شکل ۹- شبکه عصبی مصنوعی

پارامترهای مختلف مربوط به محیط زیست می‌باشند عملکرد قابل قبولی دارد.

بررسی‌های انجام گرفته در این پژوهش نشان داد که کیفیت محیط زیستی در فصل بهار، در بهترین حالت خود قرار دارد که می‌توان دلیل آن را کیفیت پوشش گیاهی و شرایط مناسب آب‌وهوایی دانست. در این مقاله نتیجه گردید که در مقایسه صورت گرفته میان ۴ فصل مورد بررسی در هر دو منطقه جهت تخمین شاخص EBV، مدل در فصل بهار بهترین عملکرد را از خود نشان داد که می‌تواند دلیل آن را مناسب بودن شرایط جوی مانند رطوبت و دما و همچنین کیفیت پوشش گیاهی مناسب در این فصل دانست؛ زیرا رده‌بندی‌های مربوط به کیفیت محیط‌زیست با توجه به گونه‌های محیط‌زیستی، تراکم و کیفیت پوشش گیاهی و شرایط خاک منطقه ارائه می‌گردد که در این فصل در بهترین حالت خود قرار دارند. در مقایسه عملکرد شبکه با داده‌های سالیانه نیز، شبکه در فصل بهار عملکرد بهتری از خود نشان داد. همچنین مقایسه عملکرد مدل در مناطق مورد مطالعه استان‌های گیلان و آذربایجان شرقی، نشان داد که مدل در استان آذربایجان شرقی عملکرد بهتری دارد. با توجه به تراکم و غنای پوشش گیاهی استان گیلان نسبت به استان آذربایجان شرقی و همچنین رطوبت جوی بالای این منطقه و عملکرد مدل که به داده‌های ورودی آن وابسته است؛ می‌توان حدس زد دلیل نتیجه بهتر حاصل، ضعف تصاویر ماهواره‌ای در ارائه داده‌های دقیق در مناطق با پوشش گیاهی متراکم و شرایط جوی با رطوبت بالا می‌باشد. دلیل این امر، کاهش بازتاب مؤثر از سطح زمین به دلیل شاخ و برگ درختان و جنگل‌ها و انحراف زاویه به علت رطوبت موجود می‌باشد.

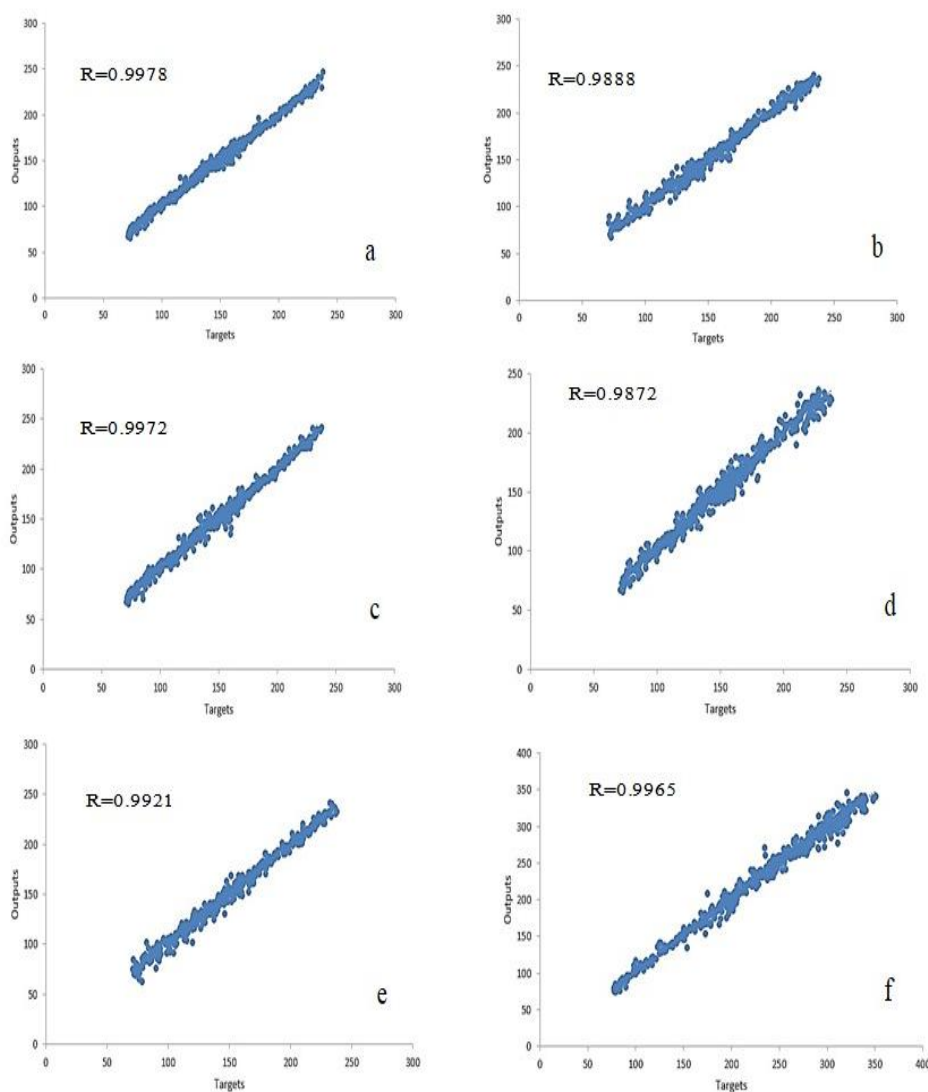
در هر دو منطقه، از ۵۰۰ پیکسل مورد مطالعه، ۳۵۰ پیکسل در مرحله آموزش، ۷۵ پیکسل در مرحله صحت‌سنجی و ۷۵ پیکسل در مرحله آزمایش به‌طور انتخاب تصادفی<sup>۱۵</sup>، مورد استفاده قرار گرفتند. داده‌های مورد استفاده در مرحله آزمایش در واقع برای تعیین بهترین گام تکرار به کار رفته‌اند.

همان‌گونه که گفته شد، مدل‌سازی برای مناطق استان آذربایجان شرقی، به صورت جداگانه برای چهار فصل صورت گرفت و نتایج حاصل، نشان داد که در مدل اجرا شده برای فصل بهار  $R=0.9961$  و  $RMSE=0.0219$  در فصل تابستان  $R=0.9719$  و  $RMSE=0.0443$  برای فصل پاییز شاهد  $R=0.9832$  و  $RMSE=0.02846$  و در فصل زمستان  $R=0.9346$  و  $RMSE=0.0673$  را ارائه می‌دهد. در ادامه داده‌های موجود برای ۸ سال گذشته در فصل‌ها که به صورت جداگانه در شبکه وارد شدند، به صورت در هم آمیخته وارد شبکه گردید. در واقع داده‌ها به صورت داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته به صورت سالیانه و نه فصلی، تشکیل شدند. نتایج حاصل با بررسی سالیانه داده‌ها، همچنین مدل مربوط به مناطق  $R=0.9822$  و  $RMSE=0.0486$  مورد بررسی در استان گیلان برای داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته در چهار فصل و سالانه طراحی گردید. بهترین نتیجه مربوط به اجرای مدل در فصل بهار با  $R=0.9798$  و  $RMSE=0.0303$  می‌باشد. در جدول ۳ خلاصه عملکرد شبکه‌ها در مناطق و گام‌های زمانی مورد بررسی در این پژوهش، به‌طور مختصر ارائه شده‌است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مقاله، می‌توان گفت که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی، جهت تخمین توابع پیچیده محیط زیستی که تحت تأثیر

**Table 3- Results of the study**

جدول ۳- نتایج حاصل از پژوهش

Study area	Time step-Season	RMSE	R (train)	R (test)
Tabriz	Seasonal-Spring	0.0219	0.9978	0.9961
	Seasonal-Summer	0.0443	0.9888	0.9719
	Seasonal-Autumn	0.0284	0.9972	0.9832
	Seasonal-Winter	0.0673	0.9872	0.9346
	Annually	0.0486	0.9921	0.9822
Rasht	Seasonal-Spring	0.0303	0.9965	0.9798



**Fig. 10- Comparison of computed and observed EBV, (a) comparison in spring in E-Azerbaijan regions, (b) comparison in summer in E-Azerbaijan regions, (c) comparison in autumn in E-Azerbaijan regions, (d) comparison of computational and observational EBV in winter in E-Azerbaijan regions, (e) comparison of computational and observational annual EBV in E-Azerbaijan, and (f) comparison of computational and observational EBV in spring in Gilan regions**

شکل ۱۰- مقایسه EBV محاسباتی و مشاهداتی (الف- مقایسه در فصل بهار مناطق آذربایجان شرقی، ب- مقایسه در فصل تابستان مناطق آذربایجان شرقی، ج- مقایسه در فصل پاییز مناطق آذربایجان شرقی، د- مقایسه EBV محاسباتی و مشاهداتی در فصل زمستان مناطق آذربایجان شرقی، ه- مقایسه EBV محاسباتی و مشاهداتی در سالانه مناطق آذربایجان شرقی، و- مقایسه EBV محاسباتی و مشاهداتی در فصل بهار مناطق گیلان)

شکل ۱۰ نشان‌دهنده رابطه میان مقادیر مورد تخمین توسط شبکه عصبی مصنوعی برای EBV مناطق مورد مطالعه و مقادیر مشاهده شده EBV که توسط اکوتولوژیست‌ها به مناطق اختصاص یافته بود، می‌باشد. میزان R و نزدیکی خط برازش به نیم‌ساز اول و سوم، نشان‌گر رابطه قوی بین این مقادیر است.

#### ۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

افزایش جمعیت، توسعه شهرها، پیشرفت اقتصاد و سایر فعالیت‌های انسانی فشار زیادی بر محیط‌زیست وارد کرده است. نظارت و پیش‌بینی کیفیت محیط‌زیستی برای تنظیم قوانین و مقررات مربوط به توسعه و پیشرفت برای جلوگیری از وارد کردن صدمات جدی به محیط‌زیست مورد نیاز می‌باشد. در این مقاله، برای مدل‌سازی کیفیت محیط‌زیستی، از شاخص‌های پوشش گیاهی، رطوبت خاک، درخشندگی، دمای سطح زمین و داده‌های راقومی ارتفاعی که با استفاده از ابزار سنجش از دور به‌دست آمدند و همچنین از داده‌های مربوط به بارش و دما که از مشاهدات ایستگاه‌های هواشناسی زمینی به‌دست آمد، به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی سه لایه، بهره‌گیری شد. میانگین داده‌های مربوط به ۸ سال گذشته، برای دو شهر با اقلیم‌های متفاوت، یک‌بار به صورت فصلی و بار دیگر به صورت سالانه وارد مدل شبکه عصبی شدند. در واقع این مقاله تخمین کیفیت محیط‌زیستی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی را به صورت مکانی-زمانی-فصلی مورد بررسی قرار داد. مقایسه نتایج، نشانگر عملکرد بهتر شبکه در فصل بهار در هر دو منطقه می‌باشد که می‌توان دلیل آن را شرایط مناسب‌تر آب‌وهوایی، کیفیت بیشتر پوشش گیاهی و نزدیک‌تر بودن شرایط محیط‌زیستی به پارامترهای در نظر گرفته شده جهت تخمین‌های صورت گرفته در فصل بهار نسبت به سایر فصل‌ها دانست. مقایسه عملکرد مدل در مناطق مورد مطالعه در استان‌های گیلان و آذربایجان شرقی، نشان داد که مدل در استان آذربایجان شرقی عملکرد بهتری دارد. با توجه به نتایج حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آمده برای شاخص پوشش گیاهی NDVI که در اکثر پیکسل‌های مربوط به مناطق مورد بررسی در استان گیلان برابر با ۱ بوده و همین شاخص برای آذربایجان شرقی در بهترین حالت برابر ۰/۵۱ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت دلیل عملکرد بهتر حاصل، ضعف تصاویر ماهواره‌ای در ارائه داده‌های دقیق در مناطقی با تراکم پوشش گیاهی بالا می‌باشد. همچنین رطوبت بالای جوی در استان گیلان مانع از بازتاب مناسب و بدون انحراف نور می‌شود. با بررسی این مقاله، می‌توان نتیجه گرفت که شبکه‌های عصبی مصنوعی، روشی مناسب برای پیش‌بینی و تخمین کیفیت محیط‌زیستی می‌باشند. با توجه به این موضوع که این مقاله برای دو منطقه که در تقسیمات اقلیمی، از جمله مناطق نیمه خشک و معتدل و مرطوب می‌باشد، انجام گرفت؛ به‌نظر می‌رسد تخمین این شاخص

در مناطق خشک، می‌تواند ادامه دهنده این مقاله باشد. در این مقاله، اکثر پارامترهای مورد استفاده مربوط به شرایط محیط‌زیستی می‌باشد. لذا می‌توان برای ارزیابی کیفیت محیط‌زیستی، نقش پارامترهای توپوگرافیک را افزایش داد. برای مثال می‌توان پارامتر شیب زمین را وارد مدل نمود. در ادامه، پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های محاسبات نرم و جعبه سیاه برای تخمین انواع شاخص‌های محیط‌زیستی استفاده کرد.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- Geographic Information System
- 2- Artificial Neural Network
- 3- Back Propagation
- 4- Analytic Hierarchy Process
- 5- Sparse Principal Component Analysis
- 6- Multilayer Perceptron
- 7- Eco-environment Background Value
- 8- Normalized Difference Vegetation Index
- 9- Normalized Difference Moisture Index
- 10- Land Surface Temperature
- 11- Digital Elevation Model
- 12- Route Mean Square Error
- 13- Train
- 14- Test
- 15- Random

#### ۵- مراجع

- Chang JT, Wetzel PJ (1991) Effects of spatial variations of soil moisture and vegetation on the evolution of a prestorm environment: A numerical case study. *Monthly Weather Review* 119(6):1368-1390
- Chavez PS (1996) Image-based atmospheric corrections -revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 62(9):1025-1035
- Elmore AJ, Mustard JF, Manning SJ, Lobell DB (2000) Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. *Remote Sensing of Environment* 73(1):87-102
- Elshorbagy A, Simonovic SP, Panu US (2000) Performance evaluation of artificial neural networks for runoff prediction. *Journal of Hydrologic Engineering* 5(4):424-427
- Falorni G, Teles V, Vivoni ER, Bras RL, Amaratunga KS (2005) Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. *Journal of Geophysical Research, Earth Surface* 110(F2):1-20

- Singh K, Deshpande NV, Sakalley B, Rajak SN, Kelsy J (1991) Satellite remote sensing for surface water assessment and management of Bhopal Lake-An integrated approach. *Remote Sensing Applications*, Centre MP Council of Science & Technology Bhopal, India
- Sobrino J Coll C, Caselles V (1991) Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA-11 AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sensing of Environment* 38(1):19-34
- Stein ML (2012) Interpolation of spatial data: some theory for kriging. Springer Science and Business Media
- Sun Z, Guo H, Li X, Lu L, Du X (2011) Estimating urban impervious surfaces from Landsat-5 TM imagery using multilayer perceptron neural network and support vector machine. *Journal of Applied Remote Sensing* 5(1):053501
- Tachikawa T, Kaku M, Iwasaki A, Gesch D, Oimoen M, Zhang Z, Abrams M (2011) ASTER global digital elevation model version 2–Summary of validation results August 31, 2011. Pasadena, California: Jet Propulsion Laboratory
- Toole DA, Siegel DA, Menzies DW, Neumann MJ, Smith RC (2000) Remote-sensing reflectance determinations in the coastal ocean environment: impact of instrumental characteristics and environmental variability. *Applied Optics* 39(3):456-469
- Wang L, Qu JJ, Zhang S, Hao X, Dasgupta S (2007) Soil moisture estimation using MODIS and ground measurements in eastern China. *International Journal of Remote Sensing* 28(6):1413-1418
- Wang W, Huang D, Wang XG, Liu YR, Zhou F (2010) Estimate soil moisture using trapezoidal relationship between remotely sensed land surface temperature and vegetation index. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 7(6):8703-8740
- Ying X, Zeng GM, Chen GQ, Tang L, Wang KL, Huang DY (2007) Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality- A case study of Hunan Province, China. *Ecological Modelling* 209(2-4):97-109
- Zeng C, Shen H, Zhang L (2013) Recovering missing pixels for Landsat ETM+ SLC-off imagery using multi-temporal regression analysis and a regularization method. *Remote Sensing of Environment* 131(1):182-194
- Zhang GP (2003) Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing* 509(1):159-175
- Roy DP, Ju J, Kline K, Scaramuzza PL, Kovalsky V, Hansen M, Zhang C (2010) Web-enabled Landsat
- Goh ATC (1995) Back-propagation neural networks for modeling complex systems. *Artificial Intelligence in Engineering* 9(3):143-151
- Hornik K (1991) Approximation capabilities of multilayer feed forward networks. *Neural Networks* 4(2):251-257
- Hsu KL, Gupta HV, Sorooshian S (1995) Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process. *Water Resources Research* 31(10):2517-2530
- Huang B, Wang S, Yang H (2009) City Eco-Environment Quality Assessment Based on GIS and RS. *Journal of Tongji University (Natural Science)* 6:20-28
- Lappalainen H, Honkela A (2000) Bayesian non-linear independent component analysis by multi-layer perceptrons. *Advances in Independent Component Analysis* 1:93-121
- Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J (2014) Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons
- Marsalek J, Maksimovic C, Zeman E, Price R (2013) Hydroinformatics tools for planning, design, operation and rehabilitation of sewer systems. Springer Science & Business Media 44
- Moisen GG, Frescino TS (2002) Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological modeling* 157(2):209-225
- Niu WY, Harris WM (1996) China: The forecast of its environmental situation in the 21st century. *Journal of Environmental Management* 47(2):101-114
- Noe RA, Hollenbeck JR, Gerhart B, Wright PM (2006) Employee separation and retention. *Human Resource Management: Gaining a Competitive Advantage* 5:425-456
- Pettorelli N, Vik JO, Mysterud A, Gaillard JM, Tucker CJ, Stenseth NC (2005) Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution* 20(9):503-510
- Rajae T, Nourani V, Zounemat-Kermani M, Kisi O (2010) River suspended sediment load prediction: application of ANN and wavelet conjunction model. *Journal of Hydrologic Engineering* 16(8):613-627
- Schalkoff RJ (1997) Artificial neural networks. New York: McGraw-Hill.1
- Shi Z, Li H (2007) Application of artificial neural network approach and remotely sensed imagery for regional eco-environmental quality evaluation. *Environmental Monitoring and Assessment* 128(3):217-229

Zhang XL, You XX, Liu XS, Huang HG (2003) A study on forest ecological environment gradient with remote sensing, GIS and expert system. In Proceedings of the 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics 4:2374-2378

Data (WELD): Landsat ETM+ composited mosaics of the conterminous United States. Remote Sensing of Environment 114(1):35-49

Gazette S (2001) State environmental protection Administration of China. Chinese Environmental Statistical Gazette