

مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال دوازدهم، شماره بیست و سوم، پاییز و زمستان ۱۳۹۳

## پیش‌بینی سرما و یخبندان‌های دیررس بهاره حوضه زاب

با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه

جاوید جامعی (دکتری اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه تبریز)

[javid\\_jamehi@yahoo.com](mailto:javid_jamehi@yahoo.com)

ابراهیم مسگری (کارشناس ارشد اقلیم در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه پیام نور تهران، نویسنده مسئول)

[mesgari.Ebrahim@gmail.com](mailto:mesgari.Ebrahim@gmail.com)

امامعلی عاشری (استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشگاه پیام نور تهران)

### چکیده

**هدف:** هدف از این پژوهش، پیش‌بینی دماهای حداقل به‌عنوان یکی از عناصر مهم اقلیمی در پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان است.

**روش:** از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی دماهای حداقل ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت استفاده شده است. بدین منظور، از دوره آماری ۱۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۴) ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر- سردشت و توابع و امکانات موجود در نرم‌افزار MATLAB برای آموزش و آزمون این مدل‌ها بهره گرفته شد. سپس، به بررسی شاخص‌های عملکرد شبکه، از جمله ضریب تعیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، درصد نسبی خطا و ضریب همبستگی پرداخته شد.

**یافته‌ها:** علاوه بر تأیید توانایی شبکه‌های عصبی مصنوعی، یافته‌ها نشان داد که حداکثر خطای این مدل با داده‌های واقعی در ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت، به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد است که توانایی قابل توجه این مدل را در مدل‌سازی پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان نشان می‌دهد. **نتیجه‌گیری:** استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دماهای حداقل برای تعیین سرمای دیررس بهاره با توجه به تعیین خطای آموزشی، می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

**کلیدواژه‌ها:** دمای حداقل، پیش‌بینی، سرمای دیررس، زاب، شبکه‌های مصنوعی

## ۱. مقدمه

آب‌وهوا یکی از عوامل مهم طبیعی است که در تمام مراحل زندگی، به‌خصوص در نحوه بهره‌برداری انسان تأثیری زیادی دارد. انتخاب نوع لباس، مسکن، نوع کشت، نوع معماری و عمران و انتخاب سکونتگاه‌ها متأثر از عوامل آب‌وهوایی است. می‌توان گفت شرایط اقلیمی سطح زمین و درنهایت، الگوهای گردش اتمسفر نقش مهمی در سازمان‌دهی و شکل‌دهی به محیط‌زیست دارند (علی‌جانی، ۱۳۸۱). تأثیر عوامل آب‌وهوایی بر روی محصولات کشاورزی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد؛ بنابراین، اگر در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی نسبت به نقش عوامل و عناصر جوی آگاهی کافی وجود نداشته باشد، توفیق چندانی حاصل نخواهد شد؛ زیرا، به‌اثبات رسیده است که در بیشتر موارد، بازده کم محصولات کشاورزی در نتیجه حفظ‌نشدن و ناتوانی در ایجاد شرایط متعادل جوی است. کنترل عوامل جوی و اقلیمی توسط انسان ناممکن است؛ اما انسان با تلاشی که برای ارتقای دانش خود نسبت به تأثیر عوامل جوی دارد و با به‌کاربردن مطالعات و بررسی‌هایی که بر روی روند تغییرات عوامل جوی دارد، می‌تواند توانمندی خود را در کاهش خسارات ناشی از عوامل جوی به‌مرحله اجرا درآورد. افت درجه حرارت و وقوع یخبندان، در مراحل مختلف رویشی و زایشی برای محصولات کشاورزی مخاطره‌انگیز می‌باشد که درنهایت، موجب محدودیت تولید می‌شود؛ زیرا، گیاهان حساس به سرما مثل گیاهان یک‌ساله و همچنین، اندام‌های حساس به سرما مانند گل‌های درختان میوه در دماهای بین ۲- تا ۵- درجه به‌شدت صدمه می‌بینند. از آنجایی که سالانه خسارات زیادی به کشاورزان و باغداران به‌دلیل وقوع یخبندان و در نتیجه، سرمازدگی محصولات وارد می‌شود، باید راهکارهای مناسبی برای کاهش خسارات ناشی از آن ارائه شوند. در این راستا می‌توان با مطالعه و بررسی تاریخ‌های شروع و خاتمه یخبندان‌ها و الگوهای فشار، برای پیش‌بینی و پیش‌آگاهی و برنامه‌ریزی در مقیاس محلی و ملی استفاده کرد. کشور ایران و به‌تبع آن استان آذربایجان غربی و حوضه زاب، در نیمه پایین منطقه معتدله شمالی قرار گرفته‌اند و مخاطرات محیطی مانند تغییرات و نوسانات دمایی، بارندگی، ترسالی و خشکسالی مشخصه ذاتی آن‌ها می‌باشند. در بین این مخاطرات، سرماهای شدید و یخبندان هر سال یا هر چند سال در ایران و به‌خصوص در

شمال غرب حادثه می‌آفریند و موجب بروز مشکلاتی می‌گردد و در ابعاد مختلف، برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای ملی و منطقه‌ای را دچار رکود می‌کند و بحران‌های گسترده‌ای را به لحاظ اجتماعی و اقتصادی ایجاد می‌کند. وقوع سرماهای شدید علاوه بر ایجاد مشکلات در بخش کشاورزی، صنعتی، عمرانی و غیره، باعث پدید آمدن بیماری‌ها، یخبندان، راه‌بن‌دان، تصادفات جاده‌ای و مشکلات متعدد اقتصادی و اجتماعی می‌شوند؛ اما همانطور که می‌دانیم، یکی از پدیده‌های مهم جوی و اقلیم‌شناسی، سرمای شدید و یخبندان شدید است که بر حسب شدت و تداوم و گسترش آن‌ها، بر فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، حمل‌ونقل، انرژی و مسایل زیست‌محیطی و فعالیت‌های جانداران تأثیر بسزایی دارد. با توجه به حساسیت تشخیص به‌موقع و دقیق دماهای حداقل، لازم است از شاخص‌های نو و جدید که خطاهای بسیار کمی در امر پیش‌بینی دارند استفاده شود؛ بر این اساس، در این مقاله با استفاده از شاخص شبکه‌های عصبی به مطالعه سرماها و یخبندان‌های شدید دیررس بهاره در منطقه می‌پردازیم.

## ۲. پیشینه تحقیق

در ارتباط با ادبیات تحقیق، در عرصه بین‌المللی، هواشناسان و اقلیم‌شناسان از شبکه‌های عصبی مصنوعی در پژوهش‌های متفاوت برای پیش‌بینی بارش، دماهای حداکثر، دماهای حداقل و ... بهره‌جسته‌اند که می‌توان در مبحث بارش به پژوهش‌های هانگ، بابل، ویساکول، و تریپاتی<sup>۱</sup> (۲۰۰۸) در زمینه شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش بانکوک تایلند اشاره کرد. وانگ و شینگ<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) بارش ژینگ‌ژوی چین را به کمک رگرسیون عمومی شبکه‌های عصبی پیش‌بینی کردند. در پژوهشی دیگر، پروین و همکاران به مدل‌سازی پیش‌بینی بارش تابستانه حوضه آبریز زاب با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه پرداختند. در مبحث دماهای حداکثر، می‌توان به پژوهش حسینی و مسگری (۱۳۹۲) با عنوان «مدل‌سازی دماهای حداکثر شهر تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی» اشاره کرد.

احتمال وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها که به ترتیب در پاییز و بهار اتفاق می‌افتند، براساس آستانه‌های موردنظر، در ایالت‌های ساحلی و جنوب‌شرقی اقیانوس اطلس بررسی شده‌اند. یک روش احتمالی برای

1. Hung, Babel, Weesakul, & Tripathi
2. Wang & Sheng

ایجاد مجموعه‌های اولین و آخرین آستانه‌های دمایی پایین به‌کار گرفته شده است که برای تعیین احتمالات وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها با آستانه معلوم، استفاده می‌شود. با استفاده از یک مثال عددی، برازش تاریخ-های وقوع یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار با توزیع نرمال مطالعه شده است (وایلن<sup>۱</sup>، ۱۹۸۸). تجزیه و تحلیل یخبندان‌ها در نواحی اقلیمی جنوب ایالات متحده با استفاده از دوره آماری ۳۰ ساله در ۳۴۲ ایستگاه یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهار برای ۱۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و در سطح ۹۰٪ برای هر ایستگاه محاسبه شده است. هر سطحی در چهار آستانه درجه حرارت ۳۶، ۳۲، ۲۸ و ۲۶ درجه فارنهایت محاسبه و بررسی شده است. نقشه‌های نواحی اقلیمی جنوب ایالات متحده، گسترش الگوهای یخبندان را در هر آستانه درجه حرارت برای ۱۰٪، ۵۰٪ و سطح‌های ۹۰٪ نشان می‌دهند. در پاییز، نمودار زمان وقوع بیانگر احتمال رخداد یخبندان بعد از زمان وقوع است. همچنین، در بهار، نمودار زمان وقوع نشان‌دهنده احتمال رخداد یخبندان قبل از زمان وقوع است (ویگا، رابینز، و جریمس<sup>۲</sup>، ۱۹۴۴). علل، ویژگی‌ها و پیش‌بینی یخبندان‌های بهاره ایران با روش سینوپتیک بررسی شده است. در این پژوهش، ۶۲ مورد یخبندان بهاره طی ۲۰ سال (۱۳۶۶-۱۳۴۷) با استفاده از آمار روزانه تعداد ۶۰ ایستگاه هواشناسی کشور، از نظر شدت، تداوم و گسترش مکانی بررسی گردیده‌اند. با استفاده از نقشه‌های روزانه هوا در سطح زمین و سطح هم‌فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال و نقشه‌های ضخامت، منشأ و مسیر سیستم‌های فشاری عامل یخبندان‌ها از نوع انتقالی می‌باشد و تقریباً در تمام موارد جابه‌جایی محورهای فرود در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال و پرفشارهای مهاجر در سطح زمین از غرب مدیترانه به سوی ایران و سپس، ادغام آن‌ها با فرود و پرفشار معمول و شدید سیبری به وقوع یخبندان‌های بهاره می‌انجامد (براتی، ۱۳۷۵). همچنین، در این راستا می‌توان به تحقیق مؤتمن (۱۳۸۵) در مورد تحلیل سرمای بهاره بر سردرختی منطقه خوی و پژوهش ناصرزاده (۱۳۸۲) در زمینه تجزیه و تحلیل یخبندان پاییزه و بهاره استان لرستان اشاره کرد. محققان داخل کشور پژوهش‌هایی را در زمینه دماهای حداقل با استفاده از شبکه‌های عصبی انجام داده‌اند که در این بین می‌توان به پژوهشی که اسفندیاری، حسینی، احمدی، و محمدپور (۱۳۹۲) با عنوان «مدل‌سازی پیش‌بینی سرماهای دیررس بهاره در شهرستان سقز با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه» انجام داده‌اند، اشاره کرد. در این تحقیق، محققان علاوه بر تأیید توانایی مدل پرسپترون

1. Waylen
2. Vega, Robbins, & Grymes

چندلایه به این نتیجه رسیدند که حداکثر خطای این مدل با داده‌های دمای حداقل سقر، کمتر از ۰/۸ درجه سلسیوس است. همچنین، در پژوهشی دیگر، هوشیار، حسینی، و مسگری (۱۳۹۱) به مدل‌سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی، غیرخطی و چندگانه و شبکه‌های عصبی پرداختند. تحقیق مورد بحث، توانایی قابل توجه مدل شبکه‌های عصبی را در پیش‌بینی دماهای حداقل در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی نشان می‌دهد.

به‌طور کلی می‌توان گفت هنوز مطالعات جامعی در مورد پیش‌بینی روزانه دمای حداقل منطقه انجام نشده است؛ این در حالی است که شناخت حداقل دماها و پیش‌بینی سرماهای زودرس منطقه از ضروریات توسعه کشاورزی منطقه است؛ بر این اساس، در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از روش‌های شبکه عصبی، به مدل‌سازی پیش‌بینی سرما و یخبندان‌های دیررس بهاره حوضه زاب پردازیم.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

#### ۳.۱. روش تحقیق

در این پژوهش، از شبکه‌های عصبی مصنوعی (از مؤلفه‌های هوش مصنوعی) که از روش‌های نوین در زمینه پیش‌بینی عناصر اقلیمی و ابزاری قدرتمند در زمینه مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی هستند، برای پیش‌بینی دماهای حداقل ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت استفاده شده است. بدین منظور، از دوره آماری ۱۸ ساله (۱۳۷۴-۱۳۹۱) ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر- سردشت و توابع و امکانات موجود در نرم‌افزار MATLAB برای آموزش و آزمون این مدل‌ها بهره گرفته شد و متغیرهای میانگین ماهانه حداقل رطوبت نسبی، فشار سطح ایستگاه، مجموع بارش و ساعت آفتابی، به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته شدند. سپس، به بررسی شاخص‌های عملکرد شبکه، از جمله ضریب تعیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، درصد نسبی خطا و ضریب همبستگی پرداخته شد.

#### ۳.۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه زاب از نظر سیاسی شامل شهرستان‌های پیرانشهر و سردشت در آذربایجان غربی و قسمتی از بانه در استان کردستان می‌باشد (شکل ۱). شهرستان‌های سردشت و پیرانشهر در جنوب غربی استان آذربایجان غربی و شهرستان بانه در شمال غربی استان کردستان واقع هستند. جهت جغرافیایی

حوضه زاب در کردستان موکریان، در شمال به اشنویه (شینو)، در شرق به شهرستان مهاباد، بوکان و سقز و در غرب، به مرز بین‌المللی عراق محدود است. حوضه زاب بین ۳۶ درجه و ۳ دقیقه و ۳۶ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی در کردستان موکریان قرار دارد (خضری، ۱۳۷۹، ص. ۱۷).

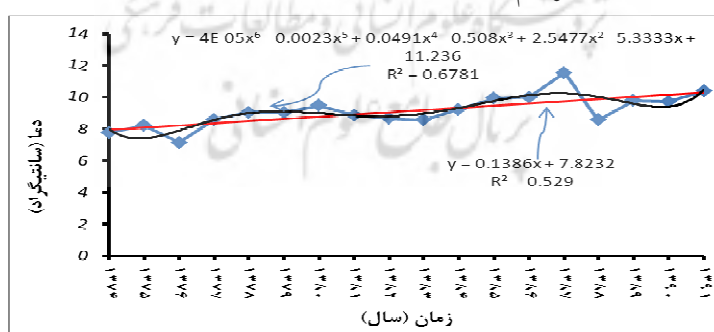


شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

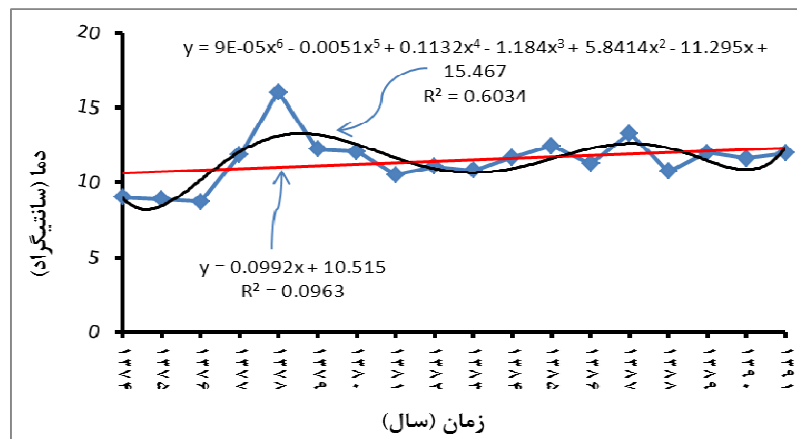
روند تغییرات حداقل دما در فصل بهار ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر و سردشت در سال‌های ۱۳۹۱-

۱۳۷۴، در شکل‌های (۲) و (۳) ترسیم شده است:



شکل ۲- روند تغییرات دمای حداقل فصل بهار ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر (۱۳۷۴-۱۳۹۱)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۳- روند تغییرات دمای حداقل فصل بهار ایستگاه سینوپتیک سردشت (۱۳۷۴-۱۳۹۱)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

در ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت، متوسط دمای سالانه به ترتیب ۱۲/۳ و ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین حداکثر دمای سالانه پیرانشهر و سردشت، به ترتیب برابر با ۱۸/۱ و ۱۷/۱ است و میانگین حداقل دمای سالانه، به ترتیب ۶/۵ و ۹/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد که کمترین مقدار دمای ماهانه در پیرانشهر و سردشت، مربوط به ماه بهمن است و همچنین، بیشترین مقدار دمای ماهانه در ایستگاه پیرانشهر و سردشت مربوط به ماه مرداد می‌باشد (جدول ۱):

جدول ۱- مشخصات آماری دمای ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر و سردشت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

| ایستگاه سینوپتیک | میانگین دمای سالانه | میانگین حداکثر دمای سالانه | میانگین حداقل دمای سالانه | حداکثر مطلق دما | حداقل مطلق دما |
|------------------|---------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------|----------------|
| پیرانشهر         | ۱۲/۳                | ۱۸/۱                       | ۶/۵                       | ۳۹/۲            | -۲۸/۶          |
| سردشت            | ۱۱/۸                | ۱۷/۱                       | ۹/۳                       | ۳۸/۶            | -۱۸/۴          |

### ۳.۳. بررسی قدرت پیش‌بینی شبکه

برای مقایسه قدرت پیش‌بینی شبکه‌های عصبی، شاخص‌های عملکردی مختلفی وجود دارند که در این پژوهش، شاخص‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا

(MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، درصد نسبی خطا (Error) و ضریب همبستگی (R) به‌کار گرفته شده‌اند که این شاخص‌ها در روابط (۱) تا (۶) نشان داده شده‌اند.

ضریب تعیین، معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر با یک می‌باشد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷):

رابطه (۱):

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^K X_k Y_k}{\sqrt{\sum_{k=1}^K X_k^2 \sum_{k=1}^K Y_k^2}}$$

مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا نیز که بهترین مقدار آن‌ها برابر با صفر است، از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷):

رابطه (۲):

رابطه (۳):

$$MAE = \frac{\sum_{k=1}^K |X_k - Y_k|}{K}$$

در روابط بالا،  $X_k$  مقادیر مشاهداتی،  $Y_k$  مقادیر برآورد شده و  $K$  تعداد داده‌ها می‌باشند. برای محاسبه درصد نسبی خطا و میانگین مربعات خطا نیز از روابط زیر استفاده شده است که از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر می‌کند (کارآموز، رضایی، و رضوی، ۱۳۸۵):

رابطه (۴):

$$Error_i = \frac{Obs_i - For_i}{Obs_i} \times 100$$

رابطه (۵):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs_i - For_i)^2$$

در روابط بالا،  $Error_i$  خطای مدل برای برآورد حداقل دما در ماه  $i$ ام و  $Obs_i$  و  $For_i$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و برآورد شده حداقل دما در ماه  $i$ ام و  $n$  تعداد کل داده‌های مشاهداتی است.

ضریب همبستگی نیز براساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود که هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی است (خلیلی، خداشناس، و داوری، ۱۳۸۵).



درواقع، ضریب همبستگی ابزاری ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی کاربرد بسیاری دارد (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷).  
رابطه (۶):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})(y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{i=1}^n (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}}$$

که در آن،  $y_{act}$  مقادیر واقعی،  $\bar{y}_{act}$  میانگین مقادیر واقعی،  $y_{est}$  مقادیر پیش‌بینی شده و  $\bar{y}_{est}$  میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲).

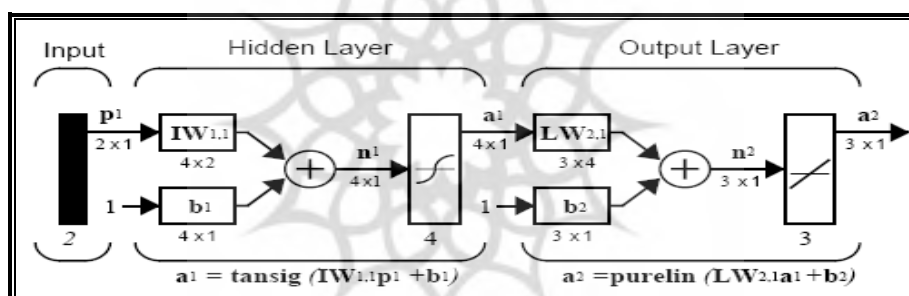
#### ۴. مبانی نظری تحقیق

##### ۱.۴. شبکه‌های عصبی

شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم پردازشگر اطلاعات توده‌ای هستند که به صورت موازی قرار گرفته‌اند و عملکردی شبیه به شبکه عصبی مغز انسان دارند (هاپفیلد<sup>۱</sup>، ۱۹۸۲، ص. ۲۵۵۵). در این روش سعی می‌شود براساس روابط ذاتی بین داده‌ها، نگاشتی غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد. ایده اصلی شبکه عصبی بر مبنای شبیه‌سازی عملکرد مغز انسان است و در مقیاس خیلی کوچک می‌تواند مانند شبکه‌های زیستی قدرت یادگیری داشته باشد و این یادگیری را تعمیم دهد (فتاحی، محمدی، و همایی، ۱۳۸۷، ص. ۲۱۰). در واقع، این سیستم‌ها در مدل‌سازی ساختار نوروسیناپتیکی مغز بشر می‌کوشند (منهاج، ۱۳۸۴) و ابزار ریاضی قدرتمندی هستند که با تقلید ساده از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده‌اند (فولاپ، جوزا، و کارامر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۸، ص. ۷۵۴). این سیستم‌ها قدرت انعطاف و تصحیح‌پذیری زیادی در انطباق خود با داده‌های موجود را دارند (رنجیتان، اهرت، و گرت<sup>۳</sup>، ۱۹۹۵، ص. ۱۳۴)؛ به طوری که می‌توانند مجهز به سازمان‌دهی شوند و نظم و هماهنگی موجود در داخل این داده‌ها را پیدا کنند و براساس مجموعه‌ای از شواهد (بردارهای ورودی) وقوع و بزرگی یک پدیده را پیش‌بینی نمایند (کنراد و روهل<sup>۴</sup>،

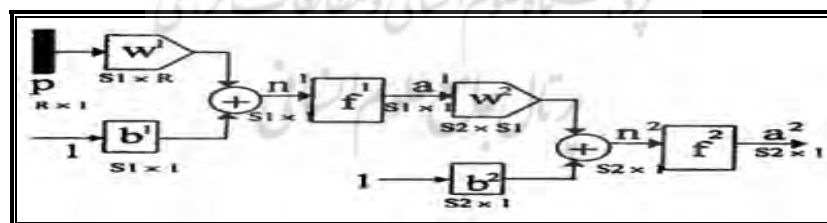
1. Hopfield
2. Fulop, Jozsa, & Karamer
3. Ranjithan, Eheart, & Garrett
4. Conrads & Roehle

۱۹۹۹، ص. ۳). ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی یک لایه انتقال‌دهنده و وسیله‌ای برای تهیه کردن داده‌ها است. لایه خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه می‌باشد؛ بنابراین، خروجی مدل را معرفی می‌کند. لایه پنهان که از نرون‌های پردازشگر تشکیل شده است، محل پردازش داده‌ها است. در هر لایه پنهان، شمار لایه‌ها و نرون‌ها با روش آزمون و خطا مشخص می‌شوند (اصغری مقدم، نورانی، و ندیری، ۱۳۸۷، ص. ۳). شبکه‌های عصبی از لحاظ نوع شبکه به دو گروه شبکه‌های پیشخور و پسخور تقسیم می‌شوند که در این بررسی از شبکه‌های پیشخور (شکل ۴) و ساختار پرسپترون چندلایه (MLP) (شکل ۵)، به دلیل کاربرد بیشتر در مسائل اقلیم‌شناسی استفاده گردید (حسینی، ۱۳۸۸، ص. ۲۸). در شبکه‌های پرسپترون چندلایه، هر نرون در هر لایه به تمام نرون‌های لایه قبل متصل می‌باشد. به چنین شبکه‌هایی، شبکه‌های کاملاً مرتبط می‌گویند (منهاج، ۱۳۸۴، به نقل از اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۴- شبکه پیشخور

مأخذ: دموت و بیل، ۲۰۰۲



شکل ۵- شبکه پرسپترون چندلایه MLP

مأخذ: منهاج، ۱۳۸۴

شبکه‌های عصبی، یکی از روش‌های بدیع و در حال تحول هستند که در موضوعات متنوعی از قبیل الگوسازی، شناخت الگو، خوشه‌بندی و پیش‌بینی به‌کار رفته‌اند و نتایج مفیدی داشته‌اند (اصغری اسکوئی، ۱۳۸۱، ص. ۶۹) و روش کارآمدی در علوم مربوط به آب‌وهوا هستند و علت اصلی مقبولیت و استفاده روزافزون از آن‌ها، قدرت و سرعت بالای آن‌ها در شبیه‌سازی فرایندهایی است که درک و شناخت درستی از آن وجود ندارد یا بررسی آن‌ها با دیگر روش‌های موجود بسیار دشوار و وقت‌گیر است. می‌توان اظهار داشت که مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدلی قوی با توانمندی زیاد است که می‌توان با دیدگاهی مثبت در پیش‌بینی مسائل اقلیمی به آن نگرست؛ به‌خصوص اینکه قادر است قانون حاکم بر داده‌ها، حتی داده‌های مغشوش را استخراج نماید (دهقانی و احمدی، ۱۳۸۷، ص. ۱۷۹). مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که استفاده از روش شبکه‌های عصبی برتری خاصی نسبت به روش‌های آماری کلاسیک نظیر رگرسیون ساده و چندمتغیره دارد (پریوتک<sup>۱</sup>، ۱۹۶۶) و (چالولاکو، سيساننا و اسپریلیس<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). و یکی از رویکردهای امیدوارکننده برای پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان می‌باشد.

در این پژوهش، برای پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره و یخبندان از شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل پرسپترون چندلایه استفاده شده است. برای این کار از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک پیرانشهر و سردشت استفاده شده است. داده‌های مرتبط از اداره هواشناسی شهرستان‌های مربوط اخذ شدند. سپس، اقدام به ماتریس‌بندی و محاسبه ساختارهای مختلف ورود داده‌ها به شبکه گردید که در نهایت، با استفاده از روش ضریب همبستگی و رگرسیونی در نرم‌افزار SPSS/21، به ارتباط بین پارامترهای اقلیمی با حداقل دما پرداخته شد. سرانجام، چهار متغیر میانگین ماهانه حداقل رطوبت نسبی، فشار سطح ایستگاه، مجموع بارش و ساعت آفتابی که بیشترین همبستگی را با متغیر مورد مطالعه نشان دادند، برای ۵ ماه قبل در جهت پیش‌بینی حداقل دمای ماه ششم در پیرانشهر و سردشت انتخاب گردیدند. این کار در محیط برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB2010 انجام گرفت. سپس، نمودارهای مربوط در محیط Excel ترسیم شدند. از ۱۸ سال دوره آماری موجود، حدود ۱۴ سال برای آموزش شبکه و ۳ سال باقی‌مانده در مرحله تست شبکه به‌کاربرده شده‌اند.

1. Prybutok
2. Chaloulako, Saisana, & Spyrellis

## ۵. یافته‌های تحقیق

نتایج حاصل از بررسی بهترین متغیرهای ورودی به مدل شبکه عصبی نشان داد که با انتخاب متغیرهای میانگین ماهانه حداقل رطوبت نسبی، فشار سطح ایستگاه، مجموع بارش و ساعت آفتابی به‌عنوان ورودی، یک مدل پرسپترون سه لایه، با ۵ نرون در لایه ورودی، یک نرون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی مارکواریت-لونبرگ (LM) می‌باشد که بهترین خروجی ممکن (میانگین ماهانه حداقل دما) را دارا است و در این حالت، شبکه بهترین نتیجه ممکن را ارائه می‌دهد. پارامترهای آموزشی بهینه آن برای پیش‌بینی دماهای حداقل شهرستان پیرانشهر و سردشت در جدول‌های (۲) و (۳) آورده شده‌اند:

## جدول ۲- پارامترهای آموزشی بهینه به‌کاربرده شده در مدل شبکه عصبی در ایستگاه پیرانشهر

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

| Parameter<br>Model | Number of Neuron in hidden layer |     | Function of Hidden Layer | Function of Output Layer | Epoch | Goal  | Average Of Error | Correlation Coefficient (R) | Training Algorithm |
|--------------------|----------------------------------|-----|--------------------------|--------------------------|-------|-------|------------------|-----------------------------|--------------------|
|                    | اول                              | دوم |                          |                          |       |       |                  |                             |                    |
| فروردین            | ۵                                | -   | Tansig                   | purelin                  | ۴     | ۰/۰۰۵ | ۲/۱۲             | ۰/۸۲                        | Lm                 |
| اردیبهشت           | ۵                                | -   | Tansig                   | purelin                  | ۳     | ۰/۰۰۵ | ۰/۹۳             | ۰/۸۰                        | Lm                 |
| خرداد              | ۵                                | -   | Tansig                   | purelin                  | ۳     | ۰/۰۰۵ | ۱/۹۹             | ۰/۸۳                        | Lm                 |

## جدول ۳- پارامترهای آموزشی بهینه به‌کاربرده شده در مدل شبکه عصبی در ایستگاه سردشت

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

| Parameter<br>Model | Number of Neuron in hidden layer |     | Function of Hidden Layer | Function of Output Layer | Epoch | Goal  | Average Of Error | Correlation Coefficient (R) | Training Algorithm |
|--------------------|----------------------------------|-----|--------------------------|--------------------------|-------|-------|------------------|-----------------------------|--------------------|
|                    | اول                              | دوم |                          |                          |       |       |                  |                             |                    |
| فروردین            | ۵                                | -   | tansig                   | purelin                  | ۳     | ۰/۰۰۵ | ۰/۴۷             | ۰/۸۰                        | Lm                 |
| اردیبهشت           | ۵                                | -   | tansig                   | purelin                  | ۳     | ۰/۰۰۵ | ۰/۳۶             | ۰/۸۴                        | Lm                 |
| خرداد              | ۵                                | -   | tansig                   | purelin                  | ۳     | ۰/۰۰۵ | ۰/۶۷             | ۰/۹۰                        | Lm                 |

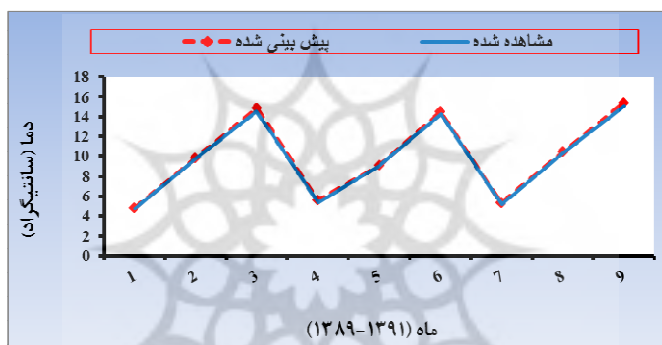
پس از پیش‌بینی میانگین حداقل دمای ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱ برای تعیین میزان خطای مدل‌ها، داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده به‌وسیله مدل شبکه پرسپترون چندلایه، با یکدیگر مقایسه شدند که هرکدام از شاخص‌ها نتایج قابل‌قبولی را ارائه داده‌اند (جدول ۴). درنهایت، نمودار داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده در شکل‌های (۶) و (۷)

ترسیم گردیدند. همانطور که مشاهده می‌گردد، اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده از همدیگر بسیار ناچیز است که این نشان‌دهنده کارایی مناسب این شبکه‌ها در پیش‌بینی دماهای حداقل برای تعیین سرمای دیررس در این پژوهش بوده است.

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل پرسپترون چندلایه (MLP) در پیرانشهر و سردشت

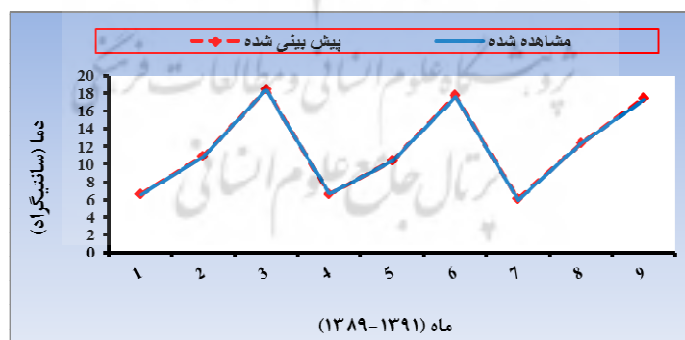
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

| ایستگاه  | MSE  | RMSE | MAE  | Er   | R <sup>2</sup> | R    |
|----------|------|------|------|------|----------------|------|
| پیرانشهر | ۰/۰۱ | ۰/۱۰ | ۰/۰۴ | ۱/۶۸ | ۰/۹۹           | ۰/۸۲ |
| سردشت    | ۰/۰۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۴۷ | ۰/۹۹           | ۰/۸۵ |



شکل ۶- مقادیر میانگین دمای حداقل واقعی و پیش‌بینی شده پیرانشهر در ماه‌های فصل بهار (۱۳۸۹-۱۳۹۱)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

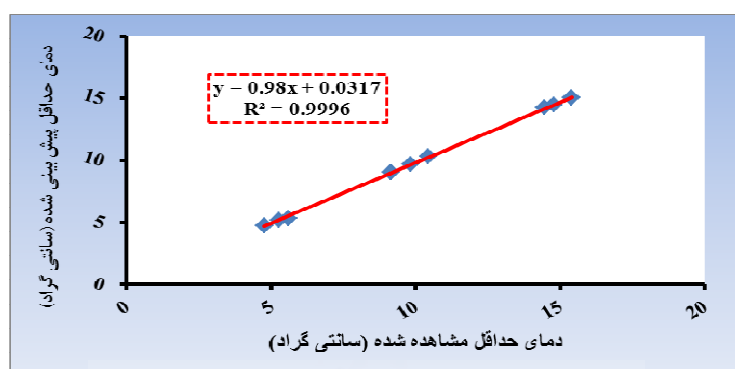


شکل ۷- مقادیر میانگین دمای حداقل واقعی و پیش‌بینی شده سردشت در ماه‌های فصل بهار

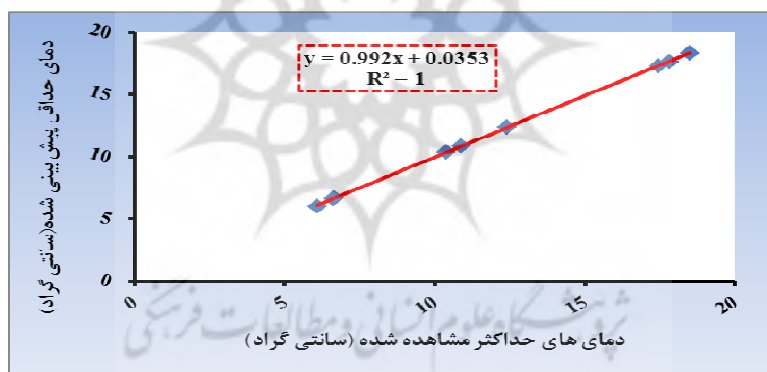
(۱۳۸۹-۱۳۹۱)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

در شکل‌های (۸) و (۹)، نمودار و معادله رگرسیونی مربوط به مدل، برای هریک از ایستگاه‌ها ترسیم گردید.



شکل ۸- معادله رگرسیونی بین مقادیر میانگین دمای حداقل مشاهده شده و پیش‌بینی شده ایستگاه پیرانشهر در ماه‌های فصل بهار (۱۳۸۹-۱۳۹۱)  
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲



شکل ۹- معادله رگرسیونی بین مقادیر میانگین دمای حداقل مشاهده شده و پیش‌بینی شده ایستگاه پیرانشهر در ماه‌های فصل بهار (۱۳۸۹-۱۳۹۱)  
مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پیش‌بینی دقیق دماهای حداقل، برای پیش‌بینی زمان وقوع و شدت یخبندان در دست‌یابی به استراتژی‌های کاهش آسیب‌رسانی به گیاهان بسیار مؤثر است؛ بنابراین، ضرورت ارائه مدل مناسبی

برای پیش‌بینی دماهای حداقل اهمیت پیدا می‌کند و می‌توان اقدامات حفاظتی و پیش‌گیرانه برای مصون‌ماندن نسبی از خطرات این پدیده مطرح نمود. یکی از روش‌های شناخته‌شده برای پیش‌بینی، استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی است (سیاری، بنایان، علیزاده، و بهیار، ۱۳۸۹) که در مطالعه حاضر برای پیش‌بینی سرمای دیررس بهاره در شهرستان پیرانشهر و سردشت ارزیابی و بررسی شدند. بررسی تأثیر استفاده از متغیرهای اقلیمی به ورودی مدل نشان داد که مدلی با چهار متغیر، شامل میانگین ماهانه حداقل رطوبت نسبی، فشار سطح ایستگاه، مجموع بارش و ساعت آفتابی در پنج ماه قبل برای پیش‌بینی میانگین حداقل دمای ماه بعد، دقیق‌ترین مدل است؛ زیرا، با خطای کمتر از ۵٪ و همبستگی خوب، دمای حداقل را برآورد کردند. پارامترهای ذکرشده، دوره آماری ۱۸ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۴) را در برمی‌گیرند. نتایج حاصل از اجرای مدل‌های مختلف نشان داد که در این بررسی، بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میانگین دمای حداقل، یک مدل پرسپترون سه لایه با ۵ نرون در لایه ورودی، یک نرون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی مارکوارت-لونبرگ با ضریب همبستگی ۰/۸۲ و ۰/۸۵، به ترتیب برای ایستگاه‌های پیرانشهر و سردشت می‌باشد. مقدار متوسط درصد نسبی خطا نیز به ترتیب ۱/۶۸٪ و ۰/۴۷٪ به دست آمده است. نتایج حاصل از این بررسی، یافته‌های تحقیقات حسینی (۱۳۸۸) در اردبیل، اسفندیاری، حسینی، آزادی مبارکی، و حجازی‌زاده (۱۳۸۹) در سنندج، اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۲) در سقز، حسینی و مسگری (۱۳۹۲) در تهران را اثبات می‌کند. در نهایت، با توجه به نتایج تحقیق و ارزیابی مدل می‌توان اظهار داشت که استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دماهای حداقل، برای تعیین سرمای دیررس بهاره با توجه به تعیین خطای آموزشی می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد. با گذشت زمان و افزایش اطلاعات در دسترس، دقت این روش‌ها نیز افزایش می‌یابد و برای پیش‌بینی‌های فصلی، سالانه و بلند مدت نیز کاربرد خواهند داشت که نتایج آن‌ها در بخش کشاورزی، بلکه در مدیریت منابع سوخت، صنایع، شیوع بیماری‌ها، حمل‌ونقل و تصادفات جاده‌ای، خطوط انتقال آب و غیره می‌تواند مؤثر باشد و ما را در اجرای روش‌های مقابله با سرما و جلوگیری از خسارات ناشی از آن و نیز مدیریت منابع یاری نماید.

## کتابنامه

۱. اسفندیاری، ف.، حسینی، س.ا.، آزادی‌مبارکی، م.، و حجازی‌زاده، ز. (۱۳۸۹). پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP). فصلنامه جغرافیا (انجمن جغرافیایی ایران)، ۸(۲۷)، ۴۵-۶۵.
۲. اسفندیاری، ف.، حسینی، س.ا.، احمدی، ح.، و محمدپور، ک. (۱۳۹۲). مدل‌سازی پیش‌بینی سرماهای دیررس بهار در شهرستان سقز با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه (MLP). دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران. بازیابی در ۲۰ تیر ۱۳۹۲ از [http://www.civilica.com/Paper-PWSWM02-PWSWM02\\_004.html](http://www.civilica.com/Paper-PWSWM02-PWSWM02_004.html)
۳. اصغری اسکویی، م. (۱۳۸۱). کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی. مجموعه مقاله‌های اولین همایش معرفی و کاربرد مدل‌های ناخطی پویا و محاسباتی در اقتصاد (صص. ۱۴۵-۱۲۱)، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.
۴. اصغری مقدم، ا.، نورانی، و.، و ندیری، ع. (۱۳۸۷). مدل‌سازی بارش دشت تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله دانش کشاورزی دانشگاه تبریز، ۱۸(۱)، ۱-۱۵.
۵. براتی، غ.ر. (۱۳۷۵). طراحی و پیش‌بینی الگوهای سینوپتیک یخبندان‌های بهار ایران (رساله دکتری منتشر نشده). دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۶. حسینی، س.ا. (۱۳۸۸). برآورد و تحلیل دماهای حداکثر شهرستان اردبیل با استفاده از مدل تئوری شبکه‌های عصبی مصنوعی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد منتشر نشده). دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۷. حسینی، ا.، و مسگری، ا. (۱۳۹۲). مدل‌سازی دماهای حداکثر شهر تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. بازیابی در ۲۰ تیر ۱۳۹۲ از [http://www.civilica.com/Paper-ICEHH02-ICEHH02\\_053.html](http://www.civilica.com/Paper-ICEHH02-ICEHH02_053.html)
۸. خضری، س. (۱۳۷۹). جغرافیای طبیعی کردستان موکریان با تأکید بر حوضه زاب. تهران: انتشارات ناقوس.
۹. خلیلی، ن.، خداشناس، س.، و داوری، ک. (۱۳۸۵). پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. بازیابی در ۳ شهریور ۱۳۹۲ از [http://www.civilica.com/Paper-WRM02-WRM02\\_104.html](http://www.civilica.com/Paper-WRM02-WRM02_104.html)



۱۰. دهقانی، ا.، و احمدی، ر. (۱۳۸۷). تخمین آبدهی حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. *اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب*، دانشگاه زابل، زابل، ایران. بازیابی در ۲ مرداد ۱۳۹۲ از [http://www.civilica.com/Paper-ICWC01-ICWC01\\_133.html](http://www.civilica.com/Paper-ICWC01-ICWC01_133.html)
۱۱. سیاری، ن.، بنایان، م.، علیزاده، ا.، و بهیار، م. ب. (۱۳۸۹). بررسی امکان پیش‌بینی زمان وقوع یخبندان با استفاده از روش تشخیص الگوها. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۴(۱)، ۱۱۷-۱۰۷.
۱۲. صداقت‌کردار، ع.، و فتاحی، ا. (۱۳۸۷). شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران. *مجله جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان و بلوچستان*، ۶(۱۱)، ۷۶-۵۹.
۱۳. علیجانی، ب. (۱۳۸۱). *اقلیم‌شناسی سینوپتیک*. تهران: انتشارات سمت.
۱۴. فتحی، پ.، محمدی، ی.، و همایی، م. (۱۳۸۷). مدل‌سازی هوشمند سری زمانی آورد ماهانه ورودی به سد وحدت سندج. *مجله آب و خاک (علوم صنایع و کشاورزی)*، ۲۳(۱)، ۲۲۰-۲۰۹.
۱۵. کارآموز، م.، رضانی، ف.، و رضوی، س. (۱۳۸۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی. *هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، تهران، ایران. بازیابی در ۴ مرداد ۱۳۹۲ از [http://www.civilica.com/Paper-WRM02-WRM02\\_092.html](http://www.civilica.com/Paper-WRM02-WRM02_092.html)
۱۶. مؤتمن، ق. (۱۳۸۵). *تحلیل یخبندان‌های شمال غرب آذربایجان و تأثیر سرمای بهاره بر سردرختی منطقه خوی* (پایان‌نامه کارشناسی ارشد منتشر نشده). دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
۱۷. منهای، م. ب. (۱۳۸۴). *مبانی شبکه‌های عصبی (هوش محاسباتی)*. تهران: مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
۱۸. ناصرزاده، م. ح. (۱۳۸۲). *تجزیه و تحلیل یخبندان‌های زودرس پاییزه و دیررس بهاره در استان لرستان* (پایان‌نامه کارشناسی ارشد منتشر نشده). دانشگاه تربیت معلم، تهران، ایران.
۱۹. هوشیار، م.، حسینی، س.، ا.، و مسگری، ا. (۱۳۹۱). مدل‌سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی. *مجله اندیشه جغرافیایی*، ۱۲(۸۲)، ۴۲-۲۴.
20. Chaloulako, A., Saisana, M., & Spyrellis, N. (2003). Comparative assessment of neural networks and regression models for forecasting summertime ozone in Athens. *Science Total Environment*, 313, 1-13.
21. Conrads, P. A., & Roehle, E. A. (1999). Comparing physics-based and neural network models for simulating salinity, temperature and dissolved in a

- complex, tidally affected river Basin. *Proceeding of the South Carolina environmental conference*, Myrtle Beach. Retrieved July 10, 2012, from <http://sc.water.usgs.gov/publications/abstracts/NN-modelcomparison-Abstract.html>
22. Demuth, H., & Beale, M. (2002). *Neural network toolbox users guide*. Retrieved April 8, 2012 from [http://cda.psych.uiuc.edu/matlab\\_pdf/nnet.pdf](http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/nnet.pdf)
23. Fulop, I. A., Jozsa, J., & Karamer, T. (1998). A neural network application in estimating wind induced shallow lake motion. *Hydro Informatics*, 98(2), 753-757.
24. Hung, N. Q., Babel, M. S., Weesakul, S., & Tripathi, N. K. (2008). An artificial neural network model for rainfall forecasting in Bangkok. *Hydrology and Earth Sciences Discussion*, 5(3), 1413–1425.
25. Hopfield, J. J. (1982). Neural network and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 79(1), 2554-2558.
26. Prybutok, Y. (1996). Neural network model forecasting for prediction of daily maximum ozone concentration in an industrialized urban area. *Environmental Pollution*, 92(3), 349-357.
27. Ranjithan, J., Eheart, J., & Garrett, J. H. (1995). *Application of neural network in groundwater remediation under condition of uncertainty*. Retrieved May 3, 2013, from <http://ebooks.cambridge.org/chapter.jsf?bid=CBO9780511564482&cid=CBO9780511564482A023>
28. Vega, A. J., Robbins, K. D., & Grymes, J. M. (1994). *Frost/freezing analysis in the Southern climate region*. Retrieved October 8, 2013, from <http://www.srh.noaa.gov/oun/?n=climate-freeze>
29. Wang, Z. L., & Sheng, H. H. (2010). Rainfall prediction using generalized regression neural network: Case study Zhengzhou. *International Conference on Computational and Information Sciences*, Zhengzhou, China. Retrieved July 7, 2013, from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5709512>
30. Waylen, P. R. (1988). Statistical analysis of freezing temperatures in central and Southern florida, *Journal of Climatology*, 8(6), 607-628.