

## پیش‌بینی تاریخ آخرین یخبندان‌های بهاری در غرب و شمال غرب ایران

حسن ذوالفقاری\* - دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه رازی  
غلامرضا زاهدی - استادیار دانشکده‌ی فنی و مهندسی، دانشگاه رازی  
طیبه سجادی فر - کارشناسی ارشد آب‌وهواشناسی دانشگاه رازی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۲/۲۳      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۵/۰۸

### چکیده

آخرین روز یخبندان برای ۱۷ ایستگاه همدید هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران، بر اساس داده‌های روزانه یک دوره‌ی آماری بیست‌ساله از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵، با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. پس از آزمون الگوریتم‌ها و شبکه‌های گوناگون، در نهایت، شیوه‌ی پس‌انتشار خطا، به‌عنوان بهترین و دقیق‌ترین شیوه‌ی تحلیلی انتخاب شد و برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌ها بر اساس متغیرهای ورودی شامل: اولین روز یخبندان، حداقل مطلق دما، رطوبت نسبی در ساعت ۳ گرینویچ، میانگین رطوبت نسبی، فشار متوسط آخرین روز یخبندان، فشار متوسط روز ماقبل آخر یخبندان و ابرناکی در آخرین روز یخبندان، آموزش داده شدند. آخرین روز یخبندان نیز، خروجی شبکه در نظر گرفته شد. نتایج بررسی نشان داد که پیش‌بینی آخرین روز یخبندان بهاری در بین تمامی ایستگاه‌های همدید هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران، براساس شبکه‌ی پس‌انتشار خطا، با دقت بالایی امکان‌پذیر است. خطای به‌دست آمده در تمام موارد پایین بود. بالاترین خطای شبکه بین ایستگاه‌ها، متعلق به اراک با ۱/۱۱۴۲ درصد و کمترین آنها مربوط به مهاباد با ۰/۲۵۴ درصد است. در پهنه‌بندی منطقه بر اساس پیش‌بینی انجام شده، تأثیر عامل ارتفاع و توپوگرافی، با وضوح بالایی آشکار شد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌ی عصبی مصنوعی، آخرین روز یخبندان، پیش‌بینی، شمال غرب و غرب ایران.

## مقدمه

آبوهوا یکی از مهم‌ترین عوامل طبیعی است که تأثیرهای زیادی بر نحوه بهره‌برداری انسان از محیط دارد. نوع مسکن، لباس، فعالیت‌های کشاورزی و دیگر فعالیت‌های زندگی ما، تا حدود زیادی متأثر از عوامل آبوهوایی است. یخبندان یکی از پدیده‌ها و بلاهای جوی خسارت‌بار است که پیامدهای مهمی بر جنبه‌های گوناگون زندگی انسان، به‌ویژه کشاورزی و تولید مواد غذایی دارد. یخبندان هنگامی رخ می‌دهد که دمای سطح زمین و اشیایی که در پیوند با زمین هستند به کمتر از صفر درجه سلسیوس برسد (روزنبرگ، ۱۹۹۲). بیشترین خسارات یخبندان نه در زمستان، بلکه با نام یخبندان پیش‌رس و دیرپا در پاییز و بهار رخ می‌دهد (کاوینی، ۱۳۸۶). اما وجود سرمای بهاره، به‌ویژه هنگام گلدهی، در بعضی از سال‌ها آسیب‌هایی جدی به محصولات وارد می‌کند. با ملایم‌تر شدن هوا، گیاهان شروع به رویش و جوانه‌زدن می‌کنند و در این حالت مقاومت کمی نسبت به سرمای ناگهانی هوا دارند (نوحی، ۱۳۸۳). مقاومت به سرما در همه‌ی اندام‌های گیاهی یکسان نیست، برای مثال، جوانه‌ها در مقایسه با سایر اندام‌های گیاهی به سرمای حساس‌تر و آسیب‌پذیرتر هستند (طلایی، ۱۳۷۷) و به همین دلیل یخبندان‌های بهاره، هر سال خسارات فراوانی به محصولات کشاورزی وارد می‌کنند. برای نمونه، در فرارفت هوای سرد در اسفند ۱۳۸۲، پس از گرم شدن نسبی هوا و باز شدن شکوفه‌ها، نوسان‌های شدید دمای در سطح وسیعی از کشور ایجاد شد. این سرمای نابهنگام که به زلزله‌ی سبز معروف شد، زیان‌هایی افزون بر ۱۱۰۰ میلیارد ریال به باغداران و کشاورزان استان آذربایجان شرقی وارد کرد (نوحی و همکاران، ۱۳۸۶). در سرمای فروردین سال ۱۳۸۴ حدود ۱۰ هزار هکتار از باغ‌های سیب استان خراسان رضوی آسیب دیدند و میزان خسارت حدود ۱۷۰ میلیارد تومان برآورد شد (کمالی و همکاران، ۱۳۸۶).

علیجانی (۱۳۸۱) دوره‌های یخبندان، شروع و پایان آن را برای تمام ایران با منحنی‌های هم‌ارزش نشان داده است. علیزاده (۱۳۷۳) برای خراسان تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان‌ها را بر اساس تجزیه و تحلیل‌های آماری تعیین کرده و با پیش‌بینی این تاریخ‌ها، برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در نقشه‌های هم‌ارزش یخبندان و طول دوره رشد ترسیم کرده است. کمالی (۱۳۸۰) نیز بر اساس آمارهای دمای حداقل روزانه‌ی ۴۷ ساله‌ی ایستگاه هواشناسی تهران، تاریخ وقوع اولین سرما و یخبندان‌های پاییزه و آخرین سرما و یخبندان‌های بهاره را با احتمالات مختلف مورد بررسی آماری قرارداد داده است. خلجی (۱۳۸۰) پیش‌بینی سرماهای دیررس بهاره و زودرس پاییزه را در استان چهارمحال بختیاری انجام داد و در آن بهترین توزیع احتمال برای هر ایستگاه را مشخص کرده و بر اساس همان، توزیع احتمال وقوع دوران سرما و یخبندان را ارائه داده است. در همین استان برای منطقه‌ی سامان، احتمال تجربی و دوره‌ی بازگشت حداقل دما را در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت - که زمان گلدهی بادام است - تعیین شده است (کاوینی و همکاران،

(۱۳۸۱). در تحقیقی که بهیاری (۱۳۸۲) در مورد سرمازدگی روز هفتم اردیبهشت سال ۸۲ در استان چهارمحال بختیاری انجام داد، در تمام ساعات از دو روز قبل و بعد از وقوع یخبندان، متغیرهای هواشناسی را مورد بررسی قرار داد، تا عوامل مؤثر دینامیکی و هم‌دیدگی را روی سرمازدگی و یخبندان این استان بشناسد. هژبرپور و علیجانی (۱۳۸۶) یخبندان‌های استان اردبیل را با روش سینوپتیک مطالعه کرده و مشخص کردند که بیشترین یخبندان‌های استان از نوع انتقالی هستند که در دوره‌ی سرد سال از آبان تا فروردین رخ می‌دهند و یخبندان‌های شدید و فراگیر استان، ناشی از استقرار یک پرفشار در سطح زمین و یک ناوای عمیق در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال هستند.

مجرد (۱۳۷۶) در مطالعه‌ی خود در مورد منطقه‌ی آذربایجان، تعریف جدیدی از یخبندان ارائه داده است، همچنین این پژوهشگر، ویژگی‌های یخبندان را به‌صورت منظم بر مبنای شانزده شاخص استخراج و تحلیل کرده است، در این پژوهش نشان داده شده که همبستگی‌های خطی و معکوسی بین شروع و پایان یخبندان در این منطقه وجود دارد؛ اما قبادی دارابخانی (۱۳۸۰)، برای منطقه غرب ایران نشان داده است که تاریخ‌های شروع و پایان یخبندان مستقل از یکدیگرند، به این معنا که ارتباط معناداری بین تاریخ‌های شروع و خاتمه‌ی یخبندان در غرب ایران وجود ندارد.

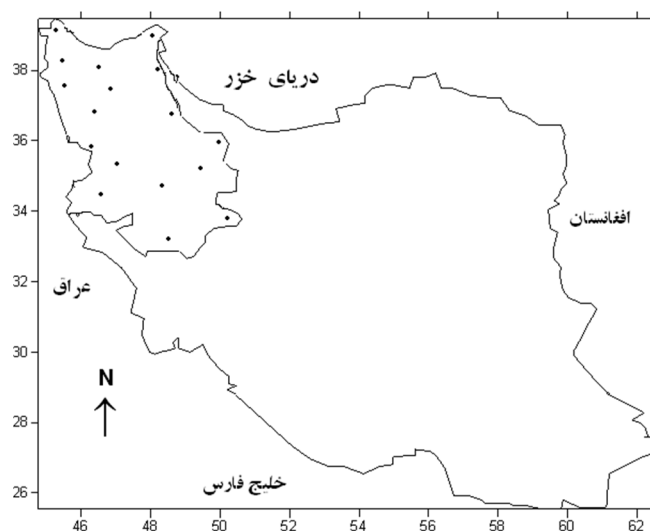
به‌تازگی روش شبکه‌های عصبی مصنوعی، به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد در پیش‌بینی پدیده‌های مختلف، از جمله پدیده‌های اقلیمی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های عصبی مصنوعی، در واقع شبیه‌سازی تفکر مغز انسان از طریق مدل‌سازی سلول‌های عصبی است (علیجانی و قویدل رحیمی، ۱۳۸۴). می‌توان از شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی استفاده کرد. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی به داده‌هایی مربوط می‌شوند که مستقل نبوده و به‌طور متوالی به هم وابسته‌اند (علیاری شوره دلی و دیگران، ۱۳۸۳). همچنین امروزه کاربرد این روش در شبیه‌سازی تغییرات عناصر اقلیمی، از طریق مدل‌های گردش عمومی در مقیاس منطقه‌ای، گسترش زیادی یافته است (کولیبالی و همکاران، ۲۰۰۵). ایمران و همکاران (۲۰۰۵) نیز بر این باورند که شبکه‌های عصبی، افزون‌بر پیش‌بینی کوتاه‌مدت، در مدل‌سازی روند تغییرات دمایی نتایج دقیقی دارد. رحیمی خوب و همکاران (۱۳۸۶: ۳۷۵). دمای بیشینه‌ی هوای خوزستان را بر اساس داده‌های ماهواره نوا و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند که نشان داد دقت مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی در این پیش‌بینی قابل قبول است.

با وجود مطالعات فراوانی که در زمینه‌های گوناگون با استفاده از روش شبکه‌های عصبی انجام گرفته است، در زمینه‌ی پیش‌بینی تاریخ وقوع آخرین یخبندان بهاره یا حتی دیگر زمینه‌های یخبندان در ایران، محققان در جریان جست‌وجوهای خود به مطالعه‌ای در این زمینه برخورد نکردند. این پژوهش با این فرض که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی، می‌تواند پیش‌بینی‌های قابل پذیرش و حتی دقیق‌تری از آغاز یخبندان‌های

بهاره در منطقه ارائه کند و همچنین با این هدف که در صورت مناسب بودن این روش در پیش‌بینی آغاز یخبندان در منطقه، دست‌اندرکاران بتوانند با اطمینان بیشتری در برنامه‌ریزی‌های خود به آن استناد کنند، انجام گرفته است. نتایج این پژوهش می‌تواند گام کوچکی در راستای مبارزه‌ی اصولی و پیشگیرانه از پیامدهای یکی از مهم‌ترین مخاطرات جوی در این بخش از کشور به‌شمار رود که با وجود توان‌های محیطی بالا، بارها در معرض یخبندان‌های بهاری قرار گرفته است.

### روش پژوهش

آمار روزانه‌ی تعدادی از متغیرهای اقلیمی برای هفده ایستگاه هواشناسی سینوپتیک از شمال غرب و غرب کشور (شکل شماره‌ی ۱) که دارای آمار کامل‌تری بودند، برای یک دوره‌ی بیست‌ساله از ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در نقشه‌ی منطقه و ایران

پیش از هر اقدامی ابتدا تلاش شد که عوامل اقلیمی یا متغیرهای مؤثر بر آخرین روز یخبندان مشخص شوند. بدین ترتیب پس از بررسی تعداد زیادی متغیر اقلیمی و تحلیل‌های آماری مقدماتی، در نهایت متغیرهای زیر، به‌منزله‌ی عوامل اصلی تأثیرگذار بر پیش‌بینی آخرین روز یخبندان مورد استفاده قرار گرفت. گفتنی است شماره‌ی روزها بر اساس تقویم زراعی از اول مهر تا ۳۱ شهریور انتخاب شده است.

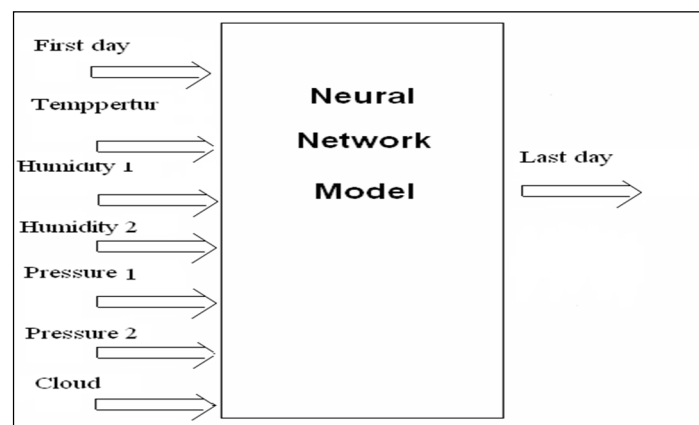
۱. آخرین روز یخبندان؛

۲. حداقل مطلق دمای روزانه؛

۳. سرعت باد در ساعت ۰۳ گرینویچ برای آخرین روز یخبندان؛

۴. جهت باد در ساعت ۰۳ گرینویچ برای آخرین روز یخبندان؛
۵. رطوبت نسبی روزانه در آخرین روز یخبندان؛
۶. رطوبت در ساعت ۰۳ گرینویچ برای آخرین روز یخبندان؛
۷. میانگین فشار روزانه در آخرین روز یخبندان؛
۸. میانگین فشار روزانه در روز قبل از آخرین روز یخبندان؛
۹. ابرناکی در آخرین روز یخبندان؛
۱۰. اولین روز یخبندان.

داده‌های استخراج شده وارد نرم‌افزار آماری SPSS شد و از طریق رگرسیون چندگانه و تحلیل خوشه‌ای، میزان ارتباط عوامل با آخرین روز یخبندان سنجیده شد. به دلیل ارتباط ضعیف و همبستگی ناچیز جهت و سرعت باد با آخرین روز یخبندان، این متغیرها حذف شدند و بدین ترتیب، فقط متغیرهای آخرین روز یخبندان، حداقل مطلق دمای روزانه، رطوبت نسبی روزانه در آخرین روز یخبندان، رطوبت نسبی در ساعت ۳ به وقت گرینویچ برای آخرین روز یخبندان، میانگین فشار روزانه در آخرین روز یخبندان، میانگین فشار روزانه در روز قبل از آخرین روز یخبندان، ابرناکی در آخرین روز یخبندان و نخستین روز یخبندان برای ورود به مدل، انتخاب شدند.



شکل ۲. طرح‌واره‌ی ساده ورودی‌ها و خروجی‌ها در مطالعه‌ی آخرین روز یخبندان

در مرحله‌ی بعدی برای هر ایستگاهی به‌طور جداگانه، جدولی تنظیم شد. روزهای نخستین و آخرین روز یخبندان با شماره روزهای کشاورزی تطبیق داده شد. در مرحله‌ی بعد، داده‌ها به نرم‌افزار مطلب<sup>۱</sup> وارد شدند (شکل شماره ۲). در نهایت با استفاده از نرم‌افزار سورفر<sup>۲</sup> نقشه‌ها رسم شد و نمودارها نیز با نرم‌افزار مطلب ترسیم شدند.

در پژوهش پیش رو از نسخه ۷/۶ نرم افزار مطلب استفاده شده است. این نرم افزار امکان طراحی، ساخت، یادگیری و ارزیابی شبکه های عصبی مصنوعی را در اختیار کاربر قرار می دهد و دربرگیرنده ی شبکه های مختلف با قوانین آموزشی متفاوت است. شبکه های مورد استفاده در این پژوهش، از نوع شبکه های پس انتشار خطا بودند که دارای الگوریتم های گوناگونی هستند. پس از بررسی های مقدماتی مورد نیاز، درنهایت از روی نقاط شکست، بهترین نقاط برای آزمون و آموزش انتخاب شدند. پس از آزمون روش های مختلف و ترسیم نمودارهای تک تک متغیرها برای تمام ایستگاه ها، درنهایت دوازده نقطه برای آموزش و هشت نقطه برای آزمون شبکه انتخاب شد. برای نمونه، جدول شماره ۱ مجموع نقاط آموزش و آزمون را برای ایستگاه کرمانشاه نشان می دهد.

جدول ۱. تمام نقاط آموزش و آزمون در ایستگاه کرمانشاه

Cloud	Press 2	Press 1	Humi 2	Humi 1	Temp	First Day	Last Day	Year
۸	۱۰۲۵/۲	۱۰۲۱/۷	۵۲/۲	۷۴	-۱	۴۰	۱۸۳	۱۹۸۶
۰	۱۰۲۷/۵	۱۰۲۶/۷	۴۱/۶	۷۲	-۱/۴	۵۳	۲۱۳	۱۹۸۷
۰	۱۰۲۵/۹	۱۰۲۴/۱	۶۱/۸	۹۲	-۱/۲	۵۲	۱۹۷	۱۹۸۸
۰	۱۰۲۰/۴	۱۰۲۳/۷	۵۲/۵	۴۸	۰	۵۴	۱۹۱	۱۹۸۹
۱	۱۰۲۴/۱	۱۰۲۴/۸	۶۹/۵	۹۶	-۱	۶۲	۱۹۵	۱۹۹۰
۰	۱۰۲۲/۲	۱۰۲۰/۱	۵۸/۴	۹۰	۰	۵۳	۱۸۷	۱۹۹۱
۰	۱۰۲۱/۴	۱۰۲۲/۵	۵۵/۶	۸۶	-۰/۴	۶۳	۱۹۴	۱۹۹۲
۰	۱۰۲۴/۵	۱۰۲۲/۶	۴۹/۶	۷۰	۰	۵۹	۲۱۵	۱۹۹۳
۰	۱۰۲۶/۴	۱۰۲۷/۱	۵۰/۹	۸۳	-۰/۲	۵۴	۱۷۸	۱۹۹۴
۰	۱۰۲۶	۱۰۲۴/۲	۴۷/۱	۸۱	۰	۴۹	۱۹۸	۱۹۹۵
۰	۱۰۲۷/۵	۱۰۲۲/۱	۵۵/۴	۸۳	۰	۴۲	۱۹۷	۱۹۹۶
۰	۱۰۲۷/۵	۱۰۲۱/۸	۴۵/۴	۶۷	-۰/۶	۳۷	۲۰۵	۱۹۹۷
۶	۱۰۲۵	۱۰۲۴/۴	۶۶/۱	۸۹	۰	۳۷	۱۹۳	۱۹۹۸
۰	۱۰۱۹/۷	۱۰۲۳/۱	۵۷	۷۷	-۳	۷۵	۱۸۸	۱۹۹۹
۰	۱۰۲۵/۲	۱۰۲۱/۵	۴۵/۹	۸۳	۰	۴۲	۱۸۹	۲۰۰۰
۰	۱۰۱۸/۷	۱۰۲۵/۲	۵۰/۱	۷۵	۰	۴۷	۱۷۸	۲۰۰۱
۰	۱۰۳۳/۱	۱۰۳۱/۳	۴۴/۵	۶۵	-۳/۴	۵۸	۱۷۱	۲۰۰۲
۰	۱۰۲۲/۱	۱۰۲۳/۲	۴۴/۱	۷۵	۰	۵۷	۱۹۳	۲۰۰۳
۴	۱۰۱۴/۶	۱۰۱۴/۵	۴۹	۶۲	۰	۴۵	۲۰۹	۲۰۰۴
۰	۱۰۲۶/۶	۱۰۲۷/۶	۵۴/۴	۸۱	-۰/۶	۶۳	۱۹۹	۲۰۰۵

از بین الگوریتم ها، مواردی که کمترین میزان خطای پیش بینی را نشان می دهند، به عنوان شبکه ی مناسب برگزیده شدند و بدین ترتیب آخرین روز یخبندان برای ایستگاه های مورد مطالعه، پیش بینی شد.

در نهایت با استفاده از میانگین اعداد پیش‌بینی شده، نقشه‌های هم‌ارزش یخبندان منطقه با استفاده از نرم‌افزار سورفر، ترسیم شد.

## یافته‌های پژوهش

### الف- آموزش شبکه با داده‌های اصلی

ابتدا با استفاده از داده‌های اصلی، برنامه‌ی آموزش و آزمون شبکه، طراحی و نوشته شد. از راه آزمون و خطا بهترین تعداد نرون لایه‌ی میانی و بهترین آموزش برای هر الگوریتم به دست آمد. از بین شبکه‌هایی که برای هر الگوریتم ایجاد شد، بهترین شبکه ذخیره و سپس برنامه‌ی آزمون برای شبکه‌ای که از پیش آموزش داده شده بود، نوشته شد. بدین ترتیب معلوم شد که نتایج شبکه برای هیچکدام از ایستگاه‌ها قابل پذیرش نبود؛ چون میزان خطا در حد بالایی قرار داشت.

### ب- آموزش شبکه با داده‌های به دست آمده از تقسیم ارقام به بیشینه‌ی هر ستون

در مرحله‌ی بعدی، مقادیر بیشینه‌ی جداول متعلق به هر کدام از ایستگاه‌ها مشخص شده و تک‌تک داده‌ها به آنها تقسیم شد و سپس بار دیگر بر مبنای همان دسته‌بندی اولیه، نقاط آموزشی و آزمونی جدا شدند. بدین ترتیب داده‌های جدیدی به دست آمد که شبکه‌ها با این داده‌ها آموزش داده شدند. نتایج بررسی نشان داد که باز هم خطا بالاست و نمی‌توان این روش را به عنوان روش مناسب برای پیش‌بینی پذیرفت.

### ج - آموزش شبکه با داده‌ها به شیوه‌ی پردازشگری<sup>۱</sup>

روش دیگری که مورد استفاده قرار گرفت، روشی به نام پردازشگری بود که داده‌ها را به صورت مقادیر  $1+1$  - قرار داده و تبدیل به مقادیر نرمال می‌کرد. نتایج این روش در تمام موارد پذیرفتنی بود و خطای بسیار کمتری نسبت به شبکه‌های دیگر داشت. پس از به دست آمدن جدول مورد قبول، از بین الگوریتم‌ها بهترین آنها که شامل کمترین میزان خطای شبکه<sup>۲</sup> کمتری داشت، به عنوان شبکه‌ی مناسب، برگزیده شد.

### انتخاب الگوریتم پس انتشار<sup>۳</sup>

در این مرحله پس از آزمون الگوریتم‌های مختلف، روش پس انتشار خطا انتخاب شد که دارای خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به بقیه بود. شبکه‌های پس انتشار، شبکه‌هایی چندلایه با تابع انتقال غیرخطی و قاعده یادگیری هستند که از بردار ورودی و هدف برای برآورد یک تابع، یافتن رابطه میان ورودی و خروجی و

1. Preprocessing  
2. Test error  
3. Back propagation

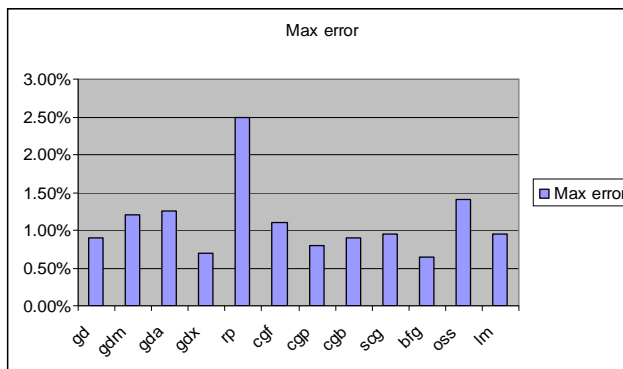
دسته‌بندی ورودی‌ها بر اساس روش تعیین شده‌ی محقق، استفاده می‌شود.

یک شبکه‌ی پسانتشار خطا شامل بایاس یا مقدار استاندارد، یک لایه‌ی سیگموئید و یک لایه‌ی خروجی خطی است که توانایی برآورد هر تابعی با نقاط ناپیوسته‌ی محدود را دارد. شبکه‌ی پسانتشار خطا یک الگوریتم با شیب نزولی است که در آن، وزن‌های شبکه در جهت معکوس کارایی حرکت می‌کنند (کیا، ۱۳۷۸: ۷۵)؛ یعنی اینکه داده‌های ورودی در جهت خروجی جریان می‌یابند و برای به‌دست آوردن خطای شبکه با خروجی مورد انتظار مقایسه می‌شوند. این خطای شبکه به طرف ورودی جریان می‌یابند و روی وزن‌های ارتباطی سرشکن می‌شود. به بیان دیگر، در این روش تلاش می‌شود تا با تغییر وزن‌های لایه‌های مختلف، تابع خطا به حداقل رسانده شود. در هر تکرار، سیگنال نمونه‌ی ورودی در ورودی شبکه ظاهر می‌شود و سپس به لایه‌های بعدی انتقال می‌یابد تا بردار خروجی متناظر آن تولید شود. سپس مقدار تابع خطا با توجه به تابع بردار خروجی مطلوب متناظر و بردار خروجی واقعی محاسبه می‌شود و سیگنال خطای منتج شده در شبکه، رو به عقب منتشر می‌شود تا وزن‌های مربوط به لایه‌های مختلف شبکه بهینه شوند. تابع خطای خروجی در هر حلقه‌ی تکرار، محاسبه شده و وزن‌های هر لایه در جهت کم کردن خطا، اصلاح می‌شوند (ترکمنی آذر، ۱۳۷۵). روش انتخاب شده باید از نوع شبکه‌های با سرپرست باشد. تعدادی از الگوریتم‌های پسانتشار بسیار گند عمل کردند، اما برای یافتن بهترین شبکه، تمام آنها برای همه‌ی ایستگاه‌ها مورد آزمون قرار گرفتند. جدول ۲ نتایج بررسی الگوریتم‌های مختلف را برای ایستگاه کرمانشاه نشان می‌دهد. شکل‌های ۳ و ۴ نیز به‌صورت نموداری، نتیجه‌ی بررسی را برای همین ایستگاه نمایش می‌دهند. همان‌گونه که معلوم است، شبکه scg با ۰/۴۱۵۳ درصد، بهترین الگوریتم مورد بررسی است.

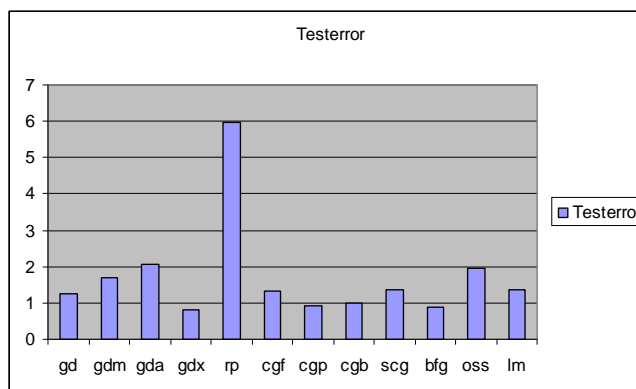
جدول ۲. میزان خطا برای ایستگاه کرمانشاه بر اساس شبکه‌های مختلف

تابع	خطای آزمون	حداکثر خطا
Kermanshah gd	۲۳۷۸ / ۱	۹ / ۰
Kermanshah gdm	۷۰۷۵ / ۱	۲ / ۱
Kermanshah gda	۰۶۴۶ / ۲	۲۵ / ۱
Kermanshah gdx	۸۲۴۱ / ۰	۷ / ۰
Kermanshah rp	۹۵۲۸ / ۵	۵ / ۲
Kermanshah cgf	۳۳۶۹ / ۱	۱ / ۱
Kermanshah cgp	۹۱۹۰ / ۰	۸ / ۰
Kermanshah cgb	۰۱۱۶۲ / ۱	۹ / ۰
Kermanshah scg	۳۷۳۱ / ۱	۹۵ / ۰
Kermanshah bfg	۸۹۵۷ / ۰	۶۵ / ۰
Kermanshah oss	۹۶۳۴ / ۱	۴ / ۱
Kermanshah lm	۳۷۲۸ / ۱	۹۵ / ۰



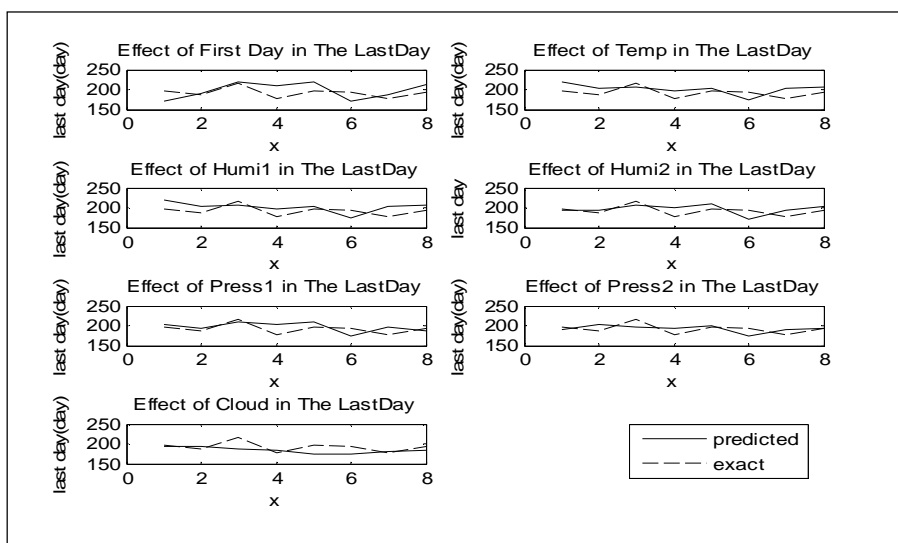


شکل ۳. میزان بالاترین خطا برای ایستگاه کرمانشاه



شکل ۴. میزان خطای شبکه‌ها برای ایستگاه کرمانشاه

شکل شماره ۵ نیز هماهنگی بین منحنی نخستین روز یخبندان با مقدار پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد، یعنی اینکه در مورد این ایستگاه، هر چه اولین روز یخبندان دیرتر آغاز شده است، آخرین روز یخبندان نیز دیرتر رخ داده است.

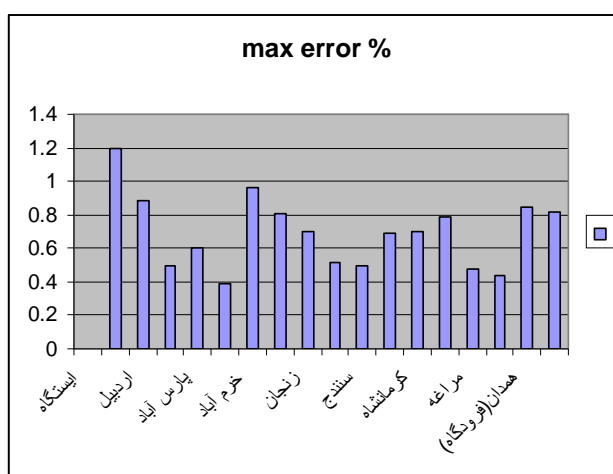


شکل ۵. میزان تأثیر هر کدام از ورودی‌ها بر آخرین روز یخبندان پیش‌بینی شده برای ایستگاه کرمانشاه

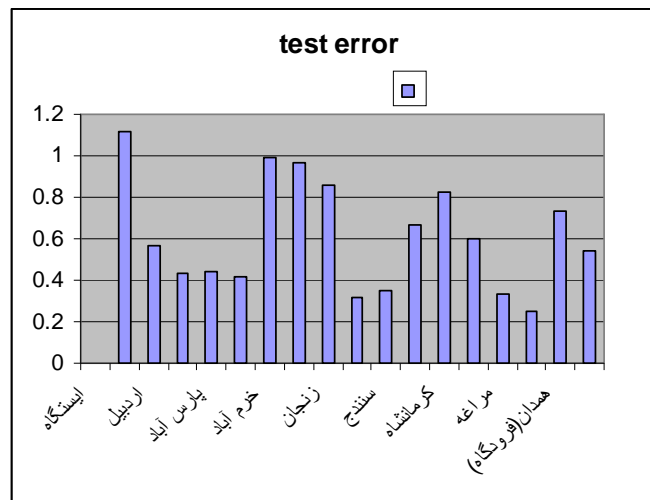
نتایج به دست آمده برای تمام ایستگاه‌ها در جدول شماره ۳ و شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. همان‌گونه‌ای که مشاهده می‌شود، ایستگاه مهاباد دارای کمترین میزان خطا است و ایستگاه اراک نیز بالاترین میزان خطا را دارد. اما به طور کلی نتایج به دست آمده در تمام ایستگاه‌ها نشان داد که میزان خطای شبکه در کل، قابل قبول است.

جدول ۳. نتایج شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مورد همی ایستگاه‌ها

ردیف	ایستگاه	تابع	حداکثر خطا	حداقل خطا	خطای آزمون
۱	اراک	gda	۱/۲	۰/۴۵	۱/۱۱۳۲
۲	اردبیل	gda	۰/۸۸۵۴	۰/۰۱۶۹	۰/۵۶۷۴
۳	ارومیه	cgp	۰/۴۹۹۲	۰/۰۱۹۷	۰/۴۳۵۶
۴	پارس آباد	gdx	۰/۶۰۳۷	۰/۰۱۳۹	۰/۴۴۴۷
۵	تبریز	scg	۰/۳۸۶۷	۰/۱۴۲۳	۰/۴۱۵۳
۶	خرم آباد	oss	۰/۹۵۵۶	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۲۹
۷	خوی	cgf	۰/۸۰۳۱	۰/۰۲۸۱	۰/۹۶۶۶
۸	زنجان	cgf	۰/۷۰۱۲	۰/۰۲۱۵	۰/۸۵۶۹
۹	سقز	rp	۰/۵۲	۰/۱۷	۰/۳۱۷۱
۱۰	سنندج	lm	۰/۵۰	۰/۰۱	۰/۳۴۸۰
۱۱	قزوین	cgb	۰/۶۸۶۴	۰/۰۸۲۱	۰/۶۷۰۰
۱۲	کرمانشاه	gdx	۰/۶۹۹۹	۰/۱۴۰۷	۰/۸۲۴۱
۱۳	ماکو	gdm	۰/۷۸۳۳	۰/۰۰۵۶	۰/۶۰۳۸
۱۴	مرآغه	scg	۰/۴۷۹۵	۰/۰۰۴۱	۰/۳۳۱۴
۱۵	مهاباد	gdm	۰/۴۳۶۳	۰/۱۰۸۳	۰/۲۵۴۰
۱۶	همدان (فرودگاه)	cgp	۰/۸۴۵۵	۰/۰۵۸۹	۰/۷۳۲۱
۱۷	همدان (نوژه)	cgp	۰/۸۱۵۳	۰/۰۷۹۲	۰/۵۴۰۴



شکل ۶. میزان خطای شبکه‌ی ایستگاه‌ها



شکل ۷. میزان بالاترین خطای ایستگاه‌ها

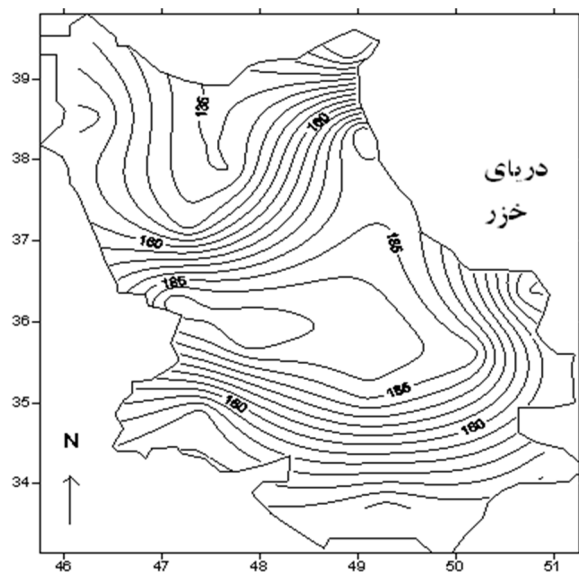
### پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه

تعداد روزهای یخبندان، می‌تواند نشانگر شدت زمستان در یک منطقه باشد. جدول ۴، نتایج پیش‌بینی یخبندان و تعداد روزهای یخبندان را در گستره‌ی مطالعاتی نشان می‌دهد. همان‌گونه که داده‌های جدول نشان می‌دهند، بیشترین روزهای یخبندان سالانه در سقز، نوژه، زنجان و اردبیل دیده می‌شود؛ اما ایستگاه‌های آذربایجان با وجود داشتن عرض جغرافیایی بالاتر، طول فصل یخبندان کوتاه‌تری دارند (شکل شماره‌ی ۸). این مطلب بسیار واضح تأثیر عامل ارتفاع و توپوگرافی را در طول فصل یخبندان نشان می‌دهد. در ایران دمای هوا به‌شدت تابع ارتفاع، عرض جغرافیایی و محتوای رطوبتی جو است. اثر ارتفاع بر دمای هوا بسیار چشمگیرتر و صدها برابر اثر عرض جغرافیایی است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۵۲). برای مثال با توجه به شکل و جدول شماره‌ی ۴، پارس‌آباد با وجود دارا بودن بالاترین عرض جغرافیایی و کمترین ارتفاع در منطقه‌ی مورد مطالعه، از کمترین تعداد روزهای یخبندان برخوردار است. شکل در مورد رخ دادن آخرین روز یخبندان بسیار شبیه پهنه‌بندی طول فصل یخبندان است که در این مورد هم تأثیر عامل ارتفاع مشخص است (اشکال ۹ و ۱۰).

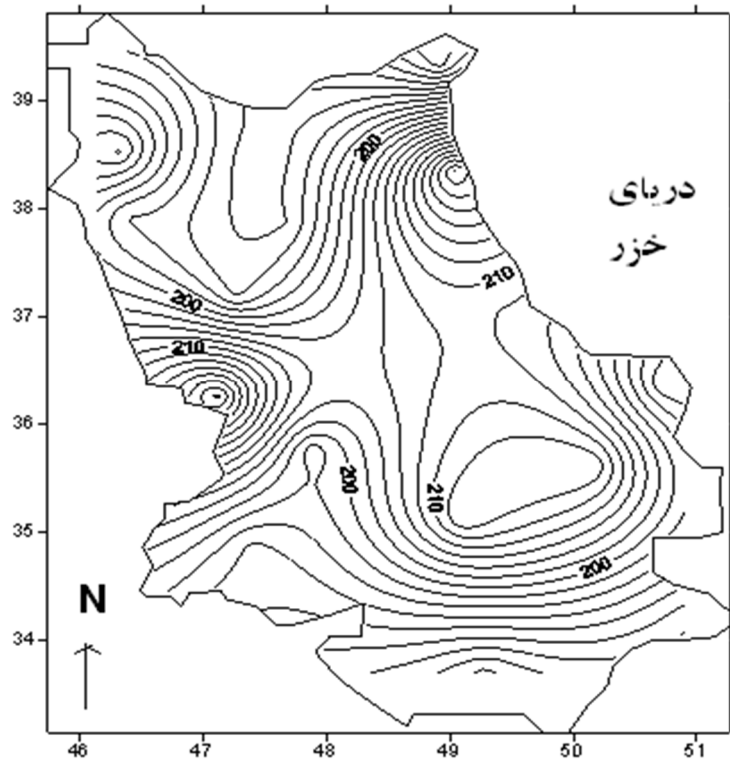
به‌طور کلی نقش ناهمواری‌ها در آرایش نواحی اقلیمی ایران بسیار مهم است و مرز نواحی آب‌وهوایی ایران به‌طور عمده از پیکربندی ناهمواری‌ها پیروی می‌کند. نقش ناهمواری‌ها در آرایش مکانی دما در ایران بسیار آشکار است و در همه جا با افزایش ارتفاع از دمای هوا کاسته می‌شود. با این حال دخالت دیگر عناصر جوی، به‌ویژه رطوبت، سبب می‌شود تا افت آهنگ محیطی دما در همه جای ایران یک اندازه نباشد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۹). در مورد آخرین روز یخبندان همچنان که انتظار می‌رود با افزایش ارتفاع، بر تعداد روزهای یخبندان افزوده می‌شود و با توجه به ارتباط قوی تعداد روزهای یخبندان با دما و ارتباط قوی دما با ارتفاع، الگوی مکانی تعداد روزهای یخبندان از پیکربندی ناهمواری کشور پیروی می‌کند (شکل ۱۰).

جدول ۴. مشخصات یخبندان‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه (ارقام ستون‌های ۳، ۴ و ۵ میانگین روزها بر مبنای سال زراعی هستند که از اول مهر حساب شده‌اند).

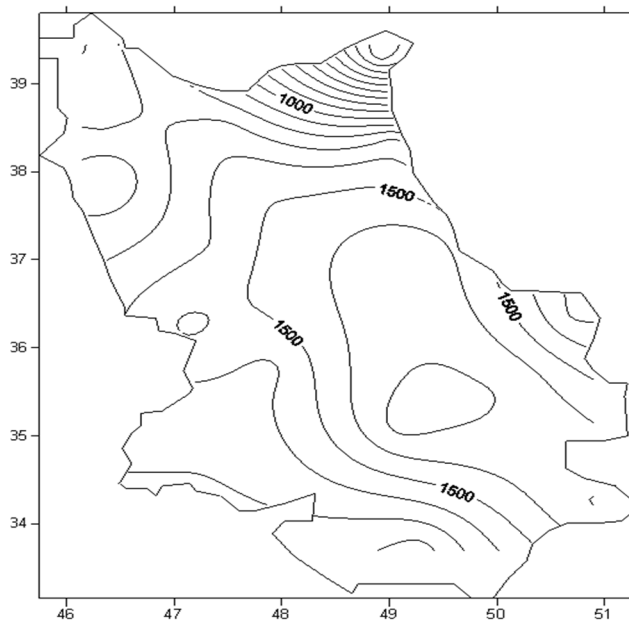
ردیف	ایستگاه	ارتفاع	میانگین آخرین روز یخبندان	میانگین اولین روز یخبندان	میانگین طول فصل یخبندان
۱	اراک	۱۷۰۸	۱۸۹/۱	۵۲/۵	۱۳۷
۲	اردبیل	۱۳۳۲	۲۲۴/۲۵	۳۶/۵۵	۱۸۹
۳	ارومیه	۱۳۱۵/۹	۲۰۸/۵	۴۸/۲۵	۱۶۱
۴	پارس آباد	۳۱	۱۸۱/۲	۷۰/۹۵	۱۱۰
۵	تبریز	۱۳۶۱	۱۹۰/۲۵	۵۶/۱	۱۳۴
۶	خرم آباد	۱۱۴۷/۸	۱۸۳/۲۵	۵۹/۵۵	۱۲۷
۷	خوی	۱۱۰۳	۱۹۵/۸۵	۴۱/۳۵	۱۵۴
۸	زنجان	۱۶۶۳	۲۱۴.۸	۲۹/۷۵	۱۸۵
۹	سقز	۱۵۲۲/۸	۲۲۴/۹۵	۲۶/۱	۱۹۹
۱۰	سنندج	۱۳۷۳/۴	۱۹۶/۹۵	۴۶/۱	۱۵۰
۱۱	قزوین	۱۲۷۹	۱۹۲/۴۵	۵۲/۵	۱۴۰
۱۲	کرمانشاه	۱۳۱۸/۶	۱۹۳/۶۵	۵۱/۲	۱۴۳
۱۳	ماکو	۱۴۱۱/۳	۱۹۶/۵	۴۳/۸۵	۱۵۲
۱۴	مراغه	۱۴۷۷/۷	۱۹۲/۰۵	۵۶/۷۵	۱۳۵
۱۵	مهاباد	۱۳۸۵	۱۹۳/۶۵	۵۲/۱	۱۴۲
۱۶	همدان (فرودگاه)	۱۷۴۱/۵	۱۹۹/۱	۳۲/۰۵	۱۶۷
۱۷	همدان (نوزّه)	۱۶۷۹/۷	۲۱۳/۸۵	۲۶/۱۵	۱۸۸



شکل ۸. پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر میانگین طول فصل یخبندان بر اساس تعداد روزهای یخبندان (ارقام منحنی‌ها تعداد روزهای یخبندان را نشان می‌دهند).



شکل ۹. پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر میانگین آخرین روز یخبندان (ارقام منحنی‌ها، شروع سال زراعی را از اول مهر ماه نشان می‌دهند)



شکل ۱۰. پهنه‌بندی منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر ارتفاع (ارقام منحنی‌ها بر حسب متر هستند)

### بحث و نتیجه‌گیری

پس از طی مراحل آموزش برای هر شبکه، در نهایت بهترین الگوریتم برای هر کدام از ایستگاه‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که کمترین میزان خطا بین آخرین روز پیش‌بینی شده با آمار واقعی وجود داشت. بر اساس همین معیار، در همه موارد، یعنی همه‌ی ایستگاه‌ها به‌استثنای ایستگاه اراک، این موضوع صادق بود، به‌طوری که در موارد یادشده خطای حداکثر، کمتر از یک درصد بود و این نتیجه نشان از دقت بیشتر این روش نسبت به روش‌های آماری موجود است.

همچنین مشخص شد که در این ایستگاه‌ها طول فصل یخبندان بیشتر تابع ارتفاع است تا عرض جغرافیایی. شاهد آن، نقشه‌ی هم‌ارزش طول فصل یخبندان و آخرین روز یخبندان است که نشان می‌دهد قسمت‌های دارای ارزش بیشتر به جای اینکه در شمال نقشه، یعنی در عرض‌های جغرافیایی بالاتر قرار بگیرد، در بخش‌های مرکزی منطقه‌ی مورد مطالعه واقع شده‌اند. بیشترین روزهای یخبندان سالانه در سقز، نوژه، زنجان و اردبیل دیده می‌شود و کمترین روزهای یخبندان سالانه، با وجود عرض جغرافیایی بالاتر، متعلق به ایستگاه پارس‌آباد در شمال استان اردبیل است.

### منابع

- بهیار، م. ب. (۱۳۸۲). بررسی پدیده‌ی سرمازدگی در استان چهارمحال و بختیاری از دیدگاه همدیدی - دینامیکی، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۹، صص. ۱۲۰-۱۰۷.
- ترکمنی آذر، ف. (۱۳۷۵). روشی جدید برای سرعت بخشیدن به همگرایی در شبکه‌های عصبی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، صص. ۲۲۶-۲۱۷.
- خلجی، م. (۱۳۸۰). پیش‌بینی سرمای دیررس بهار و یخبندان زودرس پاییزه برای تعدادی از گیاهان زراعی باغی در استان چهارمحال و بختیاری، نهال و بذر، شماره ۱۷، صص. ۱۳۹-۱۲۶.
- رحیمی خوب، ع؛ بهبهانی، س. م. ر؛ نظری فر، م. ه. (۱۳۸۶). پیش‌بینی بیشینه‌ی دمای هوای استان خوزستان بر اساس داده‌های ماهواره نوا و مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۲، صص. ۳۶۴-۳۵۷.
- طلایی، ع. ر. (۱۳۷۷). فیزیولوژی درختان میوه مناطق معتدله، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- علیاری شوره‌دلی، م؛ تنشه لب، م؛ خاکی صدیق، ع. (۱۳۸۳). پیش‌بینی کوتاه‌مدت آلودگی هوا با کمک شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه و خط حافظه‌دار تأخیر، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند کرمان، دانشگاه شهید باهنر آذر ۱۳۸۳، صص. ۱۴۶-۱۳۹.
- علیجانی، ب؛ کاویانی، م. ر. (۱۳۷۱). آب و هوا شناسی، تهران: انتشارات سمت.

- علیجانی، ب. (۱۳۸۱). آب‌وهوای ایران، چاپ پنجم، تهران: انتشارات پیام نور.
- علیجانی، ب.؛ قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۴). مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی، جغرافیا و توسعه، شماره ۶، صص. ۲۱-۳۸.
- علیزاده، ا.؛ موسوی بایگی، ح.؛ کمالی، غ. (۱۳۷۳). تاریخ وقوع اولین یخبندان‌های پاییزه و آخرین یخبندان‌های بهاره در خراسان، نیوار، شماره ۲۴، صص. ۳۸-۵۶.
- قبادی داربخانی، غ. م. (۱۳۸۰). بررسی و پیش‌بینی تاریخ‌های آغاز و خاتمه‌ی یخبندان و اثرات آن بر جوانه‌زنی گندم در غرب ایران، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه رازی.
- کاویانی، م. ر.؛ حسینی ابری، س. ح. (۱۳۸۵). تعیین احتمال وقوع تجربی و دوره‌ی بازگشت حداقل دما در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت در باغ‌های بادام منطقه‌ی سامان؛ علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۹، صص. ۴۹-۵۷.
- کاویانی، م. ر. (۱۳۸۶). میکروکلیماتولوژی، چاپ دوم، تهران: انتشارات سمت.
- کمالی، غ. ع. (۱۳۶۸). بررسی آماری نفوذ هوای سرد قطبی و خسارات وارده به محصولات کشاورزی شمال خراسان در دهه دوم اردیبهشت ماه ۱۳۶۸، نیوار، شماره ۶، صص. ۷۹-۹۲.
- کمالی، غ. ع.؛ حبیبی نوخندان، م. (۱۳۸۴). بررسی توزیع مکانی و زمانی یخبندان در ایران و نقش آن در حمل و نقل جاده‌ای، پژوهشنامه حمل و نقل، صص. ۱۲۷-۱۳۵.
- کمالی، غ. ع.؛ رحیمی، م.؛ محمدیان، ن.؛ مهدویان، ع. ر. (۱۳۶۸). پیش‌بینی زمان گلدهی سیب رقم گل‌دن بر اساس نیازهای تجمعی سرمایی جهت جلوگیری از خسارت یخبندان در منطقه‌ی گل‌مکان خراسان، مجله‌ی پژوهشی دانشگاه اصفهان، ویژه‌نامه‌ی جغرافیا، شماره ۲۲، صص. ۱۷۱-۱۸۲.
- کمالی، غ. ع. (۱۳۸۰). سرماهای زیانبخش به کشاورزی در قالب معیارهای احتمالاتی، مطالعه‌ی موردی: تهران، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۴-۶۳، صص. ۱۴۹-۱۶۵.
- کیا، م. (۱۳۸۷). شبکه‌های عصبی در MATLAB، چاپ اول، تهران: انتشارات کیان رایانه سبز.
- گودرزبخش، م. (۱۳۸۵). بررسی ویژگی‌های کمی موج‌های یخبندان پاییزه‌ی شمال غرب ایران با تأکید بر خصوصیات سیوپتیک موج‌های شاخص، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی.
- مجرد، ف. (۱۳۷۶). تحلیل و پیش‌بینی یخبندان آذربایجان، رساله‌ی دکترای اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- محبی، ز. (۱۳۸۶). کاربرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پیش‌بینی وضع هوا، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق، گروه برق دانشگاه رازی.

منهاج، م.ب. (۱۳۸۴). مبانی شبکه‌های عصبی هوش محاسباتی، جلد اول، چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

نوحی، ک. (۱۳۸۳). نقش باکتری‌های مولد هسته‌ی یخ در خسارت یخبندان؛ نیوار، شماره ۵۳-۵۲، صص. ۴۱-۵۲.  
نوحی، ک.؛ پدرام، م.؛ صحرائیان، ف.؛ کمالی، غ.ع. (۱۳۸۶). بررسی و تحلیل تاریخ آغاز و خاتمه‌ی یخبندان‌های تابشی فرارفتی و فرارفتی در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، پژوهش و سازندگی، شماره ۲۰، صص. ۷۹-۸۵.

هژیرپور، ق.؛ علیجانی، ب. (۱۳۸۶). تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل، جغرافیا و توسعه، شماره ۵، صص. ۸۹-۱۰۶.

Coulibaly, P., Yonas, D. and Francois, A., 2005, **Downscaling Precipitation and Temperature with Temporal Neural Networks**, Journal of Hydrometeorology, No. 6, PP. 483-496.

Imran, M. , Muhammad, R. K. and Ajith, A, 2005, An Ensemble of Neural Networks For Weather Forecasting; Neural Computing and Applications, No.13, PP. 112-122.

Rosenberg, N. J. & Myers, R. E., 1962, **The Nature of Growing Season Frost in Nebraska**, Monthly Weather Review, No. 90, PP. 471-479.