

## مدل سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از مدل های رگرسیونی خطی و غیر خطی چند گانه و شبکه های عصبی مصنوعی

محمود هوشیار<sup>۱</sup>، سید اسعد حسینی<sup>۲</sup>، ابراهیم مسگری<sup>۳</sup>

### چکیده

دماهای حداقل عامل اصلی محدود کننده بسیاری از فعالیت های کشاورزی اعم از زراعت و باغداری است که هر ساله خسارات و صدمات زیادی را به محصولات کشاورزی وارد می سازد. آگاهی از احتمال وقوع این دماها برای جلوگیری از خسارت احتمالی، دارای اهمیت بسزایی است. در برنامه ریزی های مختلفی که در ارتباط با اقلیم شناسی است، اقلیم شناسان سعی می کنند با تجزیه و تحلیل داده های یک یا چند متغیر اقلیمی در گذشته، به اصول، قوانین و مدل هایی دست یابند که بر این اساس وضعیت آن را در آینده پیش بینی کنند. از روش های مهم در این زمینه مدل های رگرسیونی و شبکه های عصبی مصنوعی از مولفه های هوش مصنوعی است که امروزه به طور وسیع در زمینه مدل سازی و پیش بینی پارامترهای اقلیمی مورد استفاده قرار می گیرد. در این پژوهش امکان مدل سازی و پیش بینی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از این مدل ها مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت. بدین منظور از متغیرهای میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد، میانگین مجموع بارش، میانگین حداقل و حداکثر دمای دوره آماری ۲۶ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۰) جهت پیش بینی دماهای حداقل ۵ ساله (۲۰۰۵-۲۰۱۰) و مقایسه آن با داده های واقعی استفاده گردید. بدین منظور از امکانات و توابع موجود در نرم افزارهای *MATLAB/2010* و *SPSS/21* بهره گرفته شد و برای هر ماه یک مدل با خطای کمتر از ۵ درصد طراحی گردید. سپس به بررسی شاخص عملکرد مدل ها از طریق معیارهای آماری از جمله ضریب تعیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، میانگین درصد نسبی خطا و ضریب همبستگی پرداخته شد. نتایج حاصل، ضمن مدل سازی پیش بینی دماهای حداقل، نشان داد که خطای حداکثر مدل های شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی و غیرخطی با داده های واقعی به ترتیب برابر ۰/۸۵، ۳/۰۶ و ۳/۲۶ درجه سلسیوس است که توانایی قابل توجه مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش بینی دماهای حداقل در مقایسه با مدل های رگرسیونی را نشان می دهد. از این رو با استفاده از این مدل ها می توان وضعیت های دمایی را از قبل تعریف نموده و در مدیریت منابع و برنامه ریزی های محیطی دخالت داد. از نتایج حاصله می توان در اجرای روش های مقابله با سرما و یخبندان در زمینه های مختلف مدیریت منابع سوخت، کشاورزی و ماشین آلات کشاورزی، سیستم های آبیاری و خطوط انتقال آب، بیماری ها، حمل و نقل و تصادفات جاده ای و غیره بهره گرفت.

**واژگان کلیدی:** ارومیه، دمای حداقل، رگرسیون خطی و غیرخطی، شبکه عصبی مصنوعی

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی و عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور مرکز پیرانشهر

۲. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی دانشگاه محقق اردبیلی Hosseini.asad8@gmail.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه پیام نور مرکز ارومیه

درجه حرارت یکی از مهمترین عوامل اکولوژیکی در زندگی گیاهان است و برای هر یک از گونه‌های مختلف، دمایی وجود دارد که کمتر از آن درجه حرارت، رشد و نمو گیاه ممکن نیست که همان حداقل دمای رشد می باشد. گیاهان تنها در مناطق گرم و مرطوب شرایط مساعدی برای فعالیت بیولوژیکی عادی در تمام ایام سال می یابند. در سایر مناطق اقلیمی از جمله کشورمان تنوع آب و هوایی گیاهان به علت نزول دما به زیر صفر درجه سلسیوس، صدمه می بینند و هر ساله خسارت‌های جبران ناپذیری ناشی از سرمازدگی به عنوان یک عامل تهدید کننده تولید در بخش کشاورزی شاهد هستیم (محمدنیا قرائی، ۱۳۸۸: ۱۰۷). پیش‌بینی دقیق دماهای حداقل برای پیش‌بینی زمان وقوع و شدت یخبندان در دستیابی به استراتژی‌های کاهش آسیب رسانی به گیاهان بسیار مؤثر است. درجه حرارت از متغیرهای کلیدی با اثرات مهم بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیک گیاهان محسوب می‌شود. یخبندان‌های غیرمنتظره می‌تواند اثرات بسیار مخربی بر عملکرد گیاهان زراعی داشته باشد. دستیابی به تخمینی از زمان وقوع یخبندان می‌تواند در کاهش آسیب رسانی ناشی از یخبندان به گیاهان مؤثر باشد (سیاری و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۷). در این میان پیش‌بینی دماهای حداقل می‌تواند در تولیدات کشاورزی، مدیریت منابع سوخت، صنایع و ماشین آلات، شیوع بیماری‌ها، حمل و نقل و تصادفات جاده‌ای، تخریب آسفالت خیابان‌ها و خطوط انتقال آب و غیره مؤثر باشد. این پیش‌بینی در بخش کشاورزی نه تنها در زراعت و باغبانی کاربرد وسیعی دارد، بلکه چنانچه حتی اگر برای یک دوره کوتاه مدت زمانی، از دقت و صحت بالایی برخوردار باشد، در بخش ماشین‌آلات و سیستم‌های آبیاری مانع از بروز خسارت‌های ناشی از یخبندان خواهد شد (محمدنیا قرائی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۰۳). همچنین دماهای حداقل در میزان بیماری‌های آسم و سکنه قلبی نقش اساسی دارند. به طوری که افزایش یا کاهش دما با میزان کاهش یا افزایش مراجعه‌کنندگان به بیمارستان‌ها ارتباط مستقیم دارد (محمدپور، ۱۳۸۹). جین (۲۰۰۳) دمای هوا را برای هشدار درباره یخبندان در منطقه جنوب جورجیا با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای یک تا دوازده

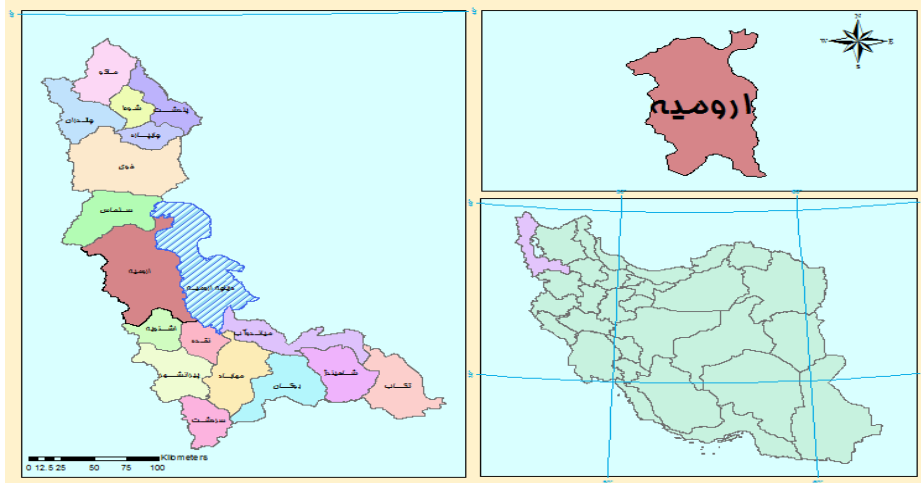
ساعت آینده پیش‌بینی کرد. هدف وی توسعه یک سیستم برای هشدار درباره یخبندان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت کاهش خسارات در تولیدات کشاورزی بود. امران مقصود و همکاران (۲۰۰۴) به پیش‌بینی سرعت باد، رطوبت نسبی و دما برای ۲۴ ساعت آینده در کانادا با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی شبکه‌های عصبی و تکنیک‌های رگرسیونی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی نسبت به مدل‌های رگرسیونی، پارامترهای آب و هوایی را با دقت بالاتری پیش‌بینی کرده و قادر است از محاسبات پیچیده و اضافی جلوگیری کند. آکسوی و داشمه<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌خور به پیش‌بینی بارش یک ماه آینده در سه ایستگاه با شرایط اقلیمی متفاوت پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برای ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی مرطوب شبکه عصبی مصنوعی مناسب‌تر است. رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های بدون تصحیح اتمسفری ماهواره نوا و مدل شبکه عصبی دقت پیش‌بینی دمای بیشینه هوای استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. حسینی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به برآورد و تحلیل دماهای حداکثر شهرستان اردبیل پرداخت و دمای حداکثر برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ میلادی را با اختلاف ۰/۸۳ درجه سلسیوس و همبستگی ۰/۹۹ درصد با دمای واقعی برآورد کرد. اسفندیاری و همکاران (۱۳۸۹) به پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سنوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه پرداختند. نتایج به دست آمده نشان دهنده‌ی کارایی مناسب و دقت قابل قبول شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دما می‌باشد. لذا با توجه به اهمیت پیش‌بینی دماهای حداقل در زمینه‌های مختلف کشاورزی، مدیریت منابع آبی و طبیعی، صنایع، حمل و نقل و تصادفات جاده‌ای و غیره، در این پژوهش سعی خواهد شد دماهای حداقل شهرستان ارومیه از ژانویه سال ۲۰۰۱ تا دسامبر ۲۰۰۵ میلادی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی و میزان خطای آن با داده‌های واقعی و مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی چندگانه به منظور

توانایی این مدل‌ها در پیش‌بینی و مدل‌سازی دماهای حداقل، مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

### ۱. منطقه مورد مطالعه

شهرستان ارومیه از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۵ درجه و ۵ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه عرض جغرافیایی و در ارتفاع ۱۳۱۵/۹ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱). جهت مطالعه‌ی ویژگی‌های اقلیمی این شهرستان از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک ارومیه استفاده گردیده است که مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان و کشور

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه

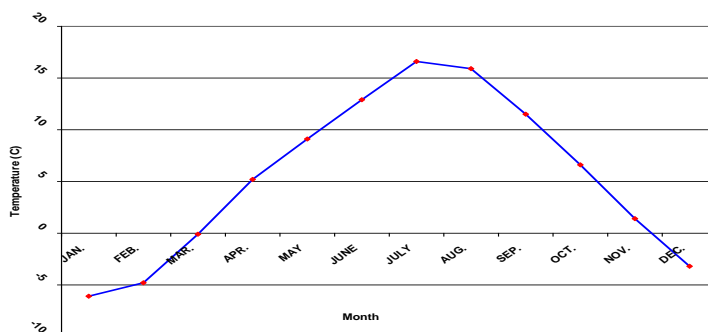
نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
سینوپتیک	۴۵'۰۵"	۳۷'۳۲"	۱۳۱۵/۹	۱۹۷۵-۲۰۰۵

متوسط دمای سالانه شهرستان ارومیه ۱۱/۲ درجه سلسیوس است. حداقل دمای مطلق ثبت شده نیز مربوط به ۲۸ ژانویه سال ۱۹۸۳ با دمای ۲۲/۸- درجه سلسیوس و حداکثر آن مربوط به ۶ آگوست سال ۱۹۷۶ با ۳۸ درجه سلسیوس است (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات آماری دمای ایستگاه سینوپتیک ارومیه

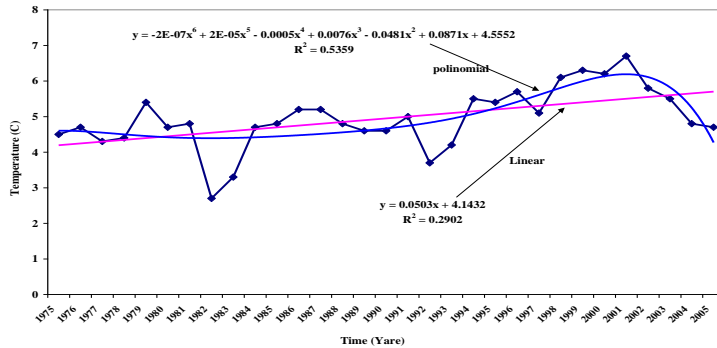
دوره آماری	میانگین دمای سالانه	میانگین حداکثر دمای سالانه	میانگین حداقل دمای سالانه	حداکثر مطلق دما	حداقل مطلق دما
۱۹۷۵-۲۰۰۵	۱۱/۲	۱۷/۴	۴/۹	۳۸	-۲۲/۸

میانگین حداقل دمای دوره آماری مورد بررسی این ایستگاه ۴/۹ درجه سلسیوس است که کمترین و بیشترین مقدار میانگین ماهانه آن به ترتیب مربوط به ماههای ژانویه و جولای با ۶/۱- و ۱۶/۶ درجه سلسیوس می باشد (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین حداقل دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه (۱۹۷۵-۲۰۰۵)

روند تغییرات میانگین حداقل دمای سالانه دوره آماری مورد بررسی نیز با استفاده از رگرسیون خطی و پولی نومیال مرتبه ششم در شکل (۳) آورده شده است که روند آن با استفاده از رگرسیون خطی و پولی نومیال به ترتیب برابر با ۲۹ و ۵۴ درصد است (نتایج مربوط به رگرسیون خطی و پولی نومیال مرتبه ششم در داخل شکل آورده شده است).

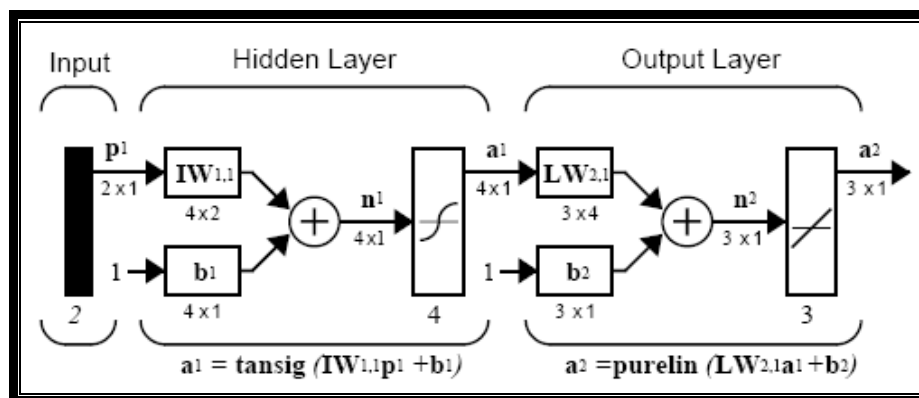


شکل ۳- تغییرات زمانی سری دمای حداقل سالانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه (۱۹۷۵-۲۰۰۵)

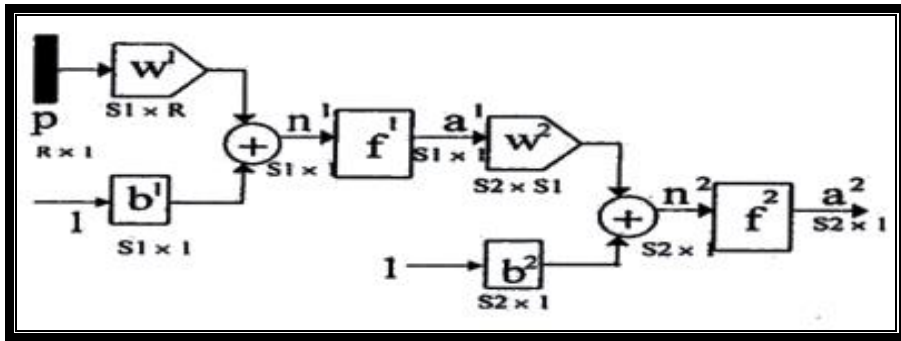
## ۲- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی یک سیستم پردازشگر اطلاعات توده‌ای هستند که به صورت موازی قرار گرفته‌اند و عملکردی شبیه شبکه عصبی مغز انسان دارند (هاپفیلد، ۱۹۸۲: ۲۵۵۵). در این روش سعی می‌شود بر اساس روابط ذاتی مابین داده‌ها، نگاشتی غیرخطی مابین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد. ایده اصلی شبکه عصبی بر مبنای شبیه سازی عملکرد مغز انسان بوده و در مقیاس خیلی کوچک، می‌تواند مانند شبکه‌ای زیستی قدرت یادگیری داشته باشد و همچنین این یادگیری را تعمیم دهد (فتحی و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۱۰) و ساختار منحصر به فردی را برای حل مسائلی که با روش‌های معمول به سختی امکان حل آن‌ها وجود دارد، ارائه می‌دهند (پترسون، ۱۹۹۶). در واقع این سیستم‌ها در مدل‌سازی ساختار نروسیناپتیکی مغز بشر می‌کوشند (منهاج، ۱۳۸۴) و ابزار ریاضی قدرتمندی هستند که با تقلید ساده از سیستم عصبی بیولوژیک ساخته شده‌اند (فولاپ و همکاران، ۱۹۹۸: ۷۵۴). قدرت انعطاف و تصحیح پذیری بالایی در انطباق خود با داده‌های موجود را دارند (رنجیتان و همکاران، ۱۹۹۵: ۱۳۴). به طوری که می‌توانند مجهز به سازماندهی شوند و نظم و هماهنگی موجود در داخل این داده‌ها را پیدا نموده (منهاج، ۱۳۸۴) و بر اساس یک سری شواهد (بردارهای

ورودی) وقوع و بزرگی یک پدیده را پیش‌بینی نمایند (کنراد و روهل، ۱۹۹۹: ۳). ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی تشکیل شده است. لایه ورودی یک لایه انتقال دهنده و وسیله‌ای برای تهیه کردن داده‌هاست. لایه خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله شبکه می‌باشد، بنابراین خروجی مدل را معرفی می‌کند. لایه پنهان که از نرون‌های پردازشگر تشکیل شده‌اند، محل پردازش داده‌هاست. شمار لایه‌ها و شمار نرون‌ها در هر لایه پنهان، با روش آزمون و خطا مشخص می‌شود (اصغری‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۷: 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 چند لایه (MLP) (شکل ۵) به دلیل کاربرد بیشتر در مسائل اقلیم‌شناسی استفاده گردید (حسینی، ۱۳۸۸: ۲۸). در شبکه‌های پرسپترون چند لایه، هر نرون در هر لایه به تمام نرون‌های لایه قبل متصل می‌باشد. به چنین شبکه‌هایی، شبکه‌های کاملاً مرتبط گویند (منهاج، ۱۳۸۴) که در این پژوهش جهت پیش‌بینی دماهای حداقل شهرستان ارومیه از آن استفاده شده است.



شکل ۴- شبکه پیشخور (دموث و بیل، ۲۰۰۲)



شکل ۵- شبکه پرسپترون چند لایه MLP (منهاج، ۱۳۸۴)

در پژوهش حاضر از آمار هواشناسی ایستگاه سینوپتیک ارومیه استفاده شد. آمار مذکور پارامترهای مختلف ماهانه مربوط به سال‌های آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ را در بر می‌گیرد. داده‌های مربوطه پس از تهیه از وب سایت سازمان هواشناسی کشوری مورد محاسبه قرار گرفت. بدین صورت که ابتدا عناصر تأثیر گذار بر دمای حداقل مشخص و سپس جهت ورود به شبکه پرسپترون چند لایه اقدام به تشکیل ماتریس مربوطه گردید. بدین صورت که ورودی‌های شبکه مربوط به متغیرهای میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین مجموع بارش، میانگین سرعت باد، میانگین حداقل دما و میانگین حداکثر دمای ماهانه در سه ماه قبل و خروجی شبکه نیز میانگین حداقل دمای ماهانه در ماه چهارم می‌باشد. از ۳۱ سال دوره آماری موجود، حدود ۸۰ درصد آن یعنی ۲۶ سال برای آموزش شبکه و ۵ سال باقیمانده در مرحله تست شبکه به کار برده شده است. شبکه به گونه‌ای طراحی گردید که با ورود میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما، میانگین حداکثر رطوبت نسبی، مجموع بارش و مجموع ساعات آفتابی ماهانه، در سه ماه قبل میانگین دمای حداقل ماه بعد (ماه چهارم) برآورد گردد. لذا به راحتی می‌توان با ورود متغیرهای ذکر شده در سه ماه از سال، دمای حداقل ماه بعد را با خطای کمتر از ۵ درصد برآورد کرد. چرا که شبکه بر اساس یک دوره آماری بلند مدت (۲۶ ساله) آموزش دیده است. لازم به ذکر است که جهت انتخاب متغیرها ابتدا با استفاده از روش ضریب همبستگی و رگرسیونی در نرم افزار SPSS/21 به ارتباط بین پارامترهای اقلیمی با دماهای حداقل



پرداخته شد که در نهایت پنج متغیر ذکر شده بیشترین همبستگی را با متغیر مورد مطالعه نشان دادند. جهت افزایش سرعت شبکه نیز داده‌ها در بازه ۰/۱ و ۰/۹ نرمالیزه گردید. تمامی مراحل کار در محیط برنامه نویسی نرم افزار *MATLAB/2010* صورت گرفته است. سپس نمودارهای مربوطه در محیط Excel ترسیم گردیدند. در مجموع جهت دقت بالای مدل، برای هر ماه یک مدل طراحی گردید.

### ۳- مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه

واژه رگرسیون به معنای بازگشت است و نشان می‌دهد که مقدار یک متغیر به متغیر دیگری بر می‌گردد. این رابطه ممکن است از نوع خطی و یا غیرخطی باشد. تابعی که ارتباط بین متغیرهای مستقل و بین متغیرهای مستقل و وابسته را بیان می‌کند، به تابع رگرسیون موسوم است (اسماعیلیان، ۱۳۸۵). در واقع تحلیل رگرسیون داده، روشی برای مدل‌سازی و تحلیل داده‌های عددی است. داده‌ها شامل مقدارهایی برای متغیر وابسته و یک یا چند متغیر مستقل هستند. هدف از تحلیل رگرسیون، بیان متغیر وابسته به شکل تابعی از متغیرهای مستقل، ضرایب و مقدارهای خطا است. مقدارهای خطا، متغیرهایی تصادفی هستند که تغییرات توضیح داده نشده در مقدار متغیرهای مستقل را نشان می‌دهند (فریدمن، ۲۰۰۵). ضرایب رگرسیونی و همبستگی ساده، در مواردی که متغیرهای تابع، تحت تأثیر چند متغیر دیگر قرار گیرند، از اعتبار چندانی برخوردار نیستند (رضائی و همکاران، ۱۳۷۷: ۱۱۳). چنانچه در نظر باشد میزان وابستگی یک متغیر مستقل به چند متغیر وابسته‌ی دیگر مورد سنجش قرار گیرد، می‌توان از رگرسیون چندگانه استفاده نمود. در بسیاری از موارد، مدل‌های رگرسیون خطی پاسخگوی مناسبی برای تغییرات بین متغیرها نیست (گلدسته و همکاران، ۱۳۷۷: ۲۸۹). برخلاف رگرسیون خطی سنتی که محدود به مدل‌های خطی است، در رگرسیون غیرخطی می‌توان مدل‌هایی با ضابطه‌ی دلخواه بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار کرد. به لحاظ تنوع بیش از حد مدل‌های غیرخطی، برای برآورد پارامترها، فرمول خاصی وجود ندارد؛ بلکه به کمک روش‌های عددی صورت می‌گیرد. به دلیل این که تعداد مدل‌های

غیر خطی بسیار زیاد هستند، عملاً امکان برآورد پارامترهای تمام مدل‌ها به روش تحلیلی وجود ندارد. اما به کمک روش‌های عددی و با استفاده از الگوریتم‌های پیچیده، این کار میسر است (اسماعیلیان، ۱۳۸۵: ۲۱۵). در این پژوهش، داده‌ها به همان صورت که وارد مدل شبکه‌های عصبی شدند، وارد مدل‌های رگرسیونی نیز گردیدند. بدین صورت که ورودی‌های مدل شبکه‌ی عصبی که به آن‌ها اشاره گردید، به عنوان متغیرهای مستقل و خروجی شبکه (دمای حداقل) به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

#### ۴- ارزیابی عملکرد مدل‌ها

بررسی چگونگی عملکرد و مقایسه قدرت پیش‌بینی به منظور ارزیابی عملکرد شبکه‌ها لازم و ضروری است. در این پژوهش علاوه بر ترسیم نمودارهای مقادیر مشاهداتی در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها، از شاخص‌های کمی ضریب همبستگی ( $R$ )، ضریب تعیین ( $R^2$ )، درصد نسبی خطا ( $Er$ )، مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، میانگین مربعات خطا ( $MSE$ ) و میانگین مطلق خطا ( $MAE$ ) به کار گرفته شده است:

۱- ضریب همبستگی: بیان کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد که بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود. بدیهی است که هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، نشان دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر برآورد شده به مقادیر واقعی است (خلیلی و همکاران، ۱۳۸۵: ۵). در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۳).

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

که در آن،  $y_{act}$ : مقادیر واقعی،  $\bar{y}_{act}$ : میانگین مقادیر واقعی،  $y_{est}$ : مقادیر برآورد شده و  $\bar{y}_{est}$ : میانگین مقادیر برآورد شده می‌باشد.

۲- ضریب تعیین: معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می باشد. رابطه (۲) نحوه محاسبه آن را نشان می دهد (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷):

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $X_K$  مقادیر مشاهداتی،  $Y_K$  مقادیر برآورد شده و  $K$  تعداد داده ها می باشد.

۳- درصد نسبی خطا و میانگین مربعات خطا: برای محاسبه آنها نیز از روابط زیر استفاده می شود که می تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی نهایت تغییر کند (کار آموز و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۰):

$$Error_i = \frac{Obs_i - For_i}{Obs_i} \times 100 \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs_i - For_i)^2 \quad (4)$$

در روابط فوق  $Error_i$  خطای مدل برای برآورد حداقل دما و  $Obs_i$  و  $For_i$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و برآورد شده حداقل دما و  $n$  تعداد کل داده های مشاهداتی می باشد.

۴- مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطا: نشان دهنده میزان خطای مدل می - باشند. که بهترین مقدار آنها برابر صفر است و از طریق روابط زیر محاسبه می شوند (صداقت کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷):

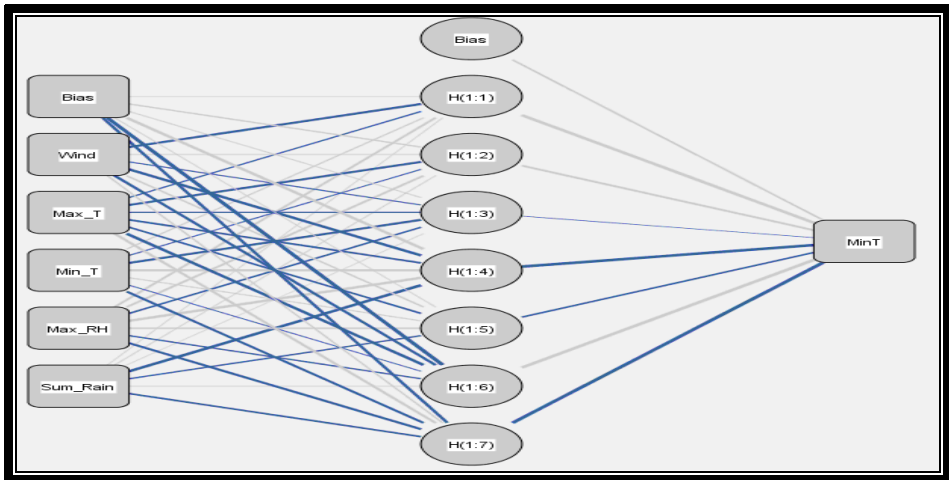
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^K (X_K - Y_K)^2}{K}} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^K |X_K - Y_K|}{K} \quad (6)$$

در روابط فوق  $X_K$  مقادیر مشاهداتی،  $Y_K$  مقادیر برآورد شده و  $K$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی بهترین متغیرهای ورودی به مدل شبکه عصبی نشان داد که با انتخاب پارامترهای میانگین ماهانه سرعت باد، میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه، میانگین حداکثر رطوبت نسبی و مجموع بارش به عنوان ورودی، یک مدل پرسپترون سه لایه با یک لایه پنهان و ۷ نرون و تابع محرک تانزانت سیگموئیدی در لایه پنهان و الگوریتم آموزشی مارکوارت-لونبرگ (LM)، بهترین خروجی ممکن (میانگین ماهانه حداقل دما) را دارا بوده و شبکه در این حالت، بهترین نتیجه‌ی ممکن را ارائه می‌دهد. ساختار مدل طراحی شده به صورت شماتیک در شکل (۶) همراه با پارامترهای آموزشی بهینه‌ی آن جهت پیش‌بینی دماهای حداقل شهرستان ارومیه در جدول (۳) آورده شده است. سپس داده‌ها به همان صورت که وارد مدل شبکه عصبی شده بودند، وارد مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه نیز شدند.



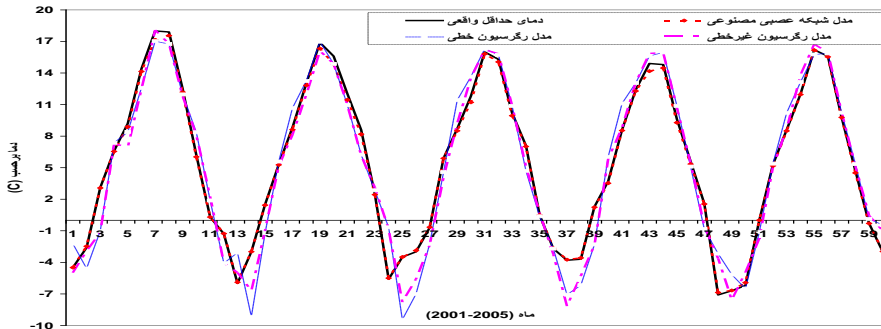
شکل ۶- شماتیک بهترین مدل طراحی شده (پرسپترون سه لایه)

جدول ۳- پارامترهای آموزشی بهینه‌ی به کار برده شده در مدل شبکه‌ی عصبی

نوع شبکه	پرسپترون ۳ لایه (MLP)
تعداد نرون در لایه‌ی مخفی	۷
تابع محرک لایه‌ی پنهان	تانزانانت سیگموئیدی (tansig)
تابع محرک لایه‌ی خروجی	خطی (pureline)
تعداد تکرار	۵۳
هدف عملکرد	۰/۰۰۵
میزان ضریب همبستگی	۰/۹۰
میانگین درصد نسبی خطا	۰/۶۸
الگوریتم یادگیری	LM

نتایج حاصل از پیش‌بینی هر سه مدل پس از برگرداندن داده‌ها به بازه اصلی در شکل (۷) آورده شده است. مقایسه شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی چندگانه نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی، توانایی بیشتری در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی دارند. به طوری که تشخیص منحنی‌های دمای حداقل واقعی و مدل‌سازی شده به وسیله مدل شبکه عصبی از همدیگر مشکل و ضریب همبستگی آن برابر با ۰/۹۹ است و مدل‌های رگرسیون غیر خطی و خطی نیز هر کدام به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۶ و ۰/۹۷ در رتبه دوم و سوم از نظر دقت در پیش‌بینی قرار گرفتند. البته لازم به ذکر است که اختلاف دو مدل رگرسیونی با همدیگر چندان زیاد نبوده است و در بعضی از ماه‌ها یکی بر دیگری برتری پیدا می‌کرده است. در کل دوره‌ی پیش‌بینی دمای حداقل یعنی از ۶۰ ماه مدل‌سازی شده، مدل‌های رگرسیونی خطی و غیر خطی چندان نتوانستند بر مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی برتری یابند و مدل شبکه عصبی مصنوعی با دقت خیلی بیشتر از دیگر مدل‌ها، دمای حداقل را مدل‌سازی و پیش‌بینی نمود. در مجموع، برای انجام پژوهش، ۱۲ شبکه پرسپترون چند لایه طراحی گردید که بهترین و ضعیف‌ترین ساختار آن به ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه و اکتبر هر کدام با ۰/۶۸ و ۳/۶۲ درصد خطا است. بهترین الگوریتم آموزشی نیز جهت برآورد دماهای حداقل شهرستان ارومیه همانطور که قبلاً ذکر گردید، الگوریتم مارکوارت- لوببرگ

تشخیص داده شد که هم دارای سرعت بالای همگرایی و هم کاهش تعداد نرون‌ها در لایه مخفی است. بنابراین این الگوریتم جهت مدل‌سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۷- مقایسه نتایج دمای حداقل مشاهداتی و پیش‌بینی شده بوسیله هر سه مدل

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد هر کدام از مدل‌ها با شاخص‌های ارزیابی مختلف در جدول (۴) آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود مدل شبکه‌های عصبی از نظر مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و درصد نسبی خطا، دارای خطای کمتر و همچنین دارای همبستگی و ضریب تعیین بالاتر از دو مدل رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه است که نشان دهنده‌ی دقت بالای شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی و تشخیص رابطه‌ی بین پارامترهای اقلیمی است و هر کدام از مدل‌ها به خوبی توانستند دماهای حداقل در منطقه را مدل‌سازی نمایند. به طوری که حداکثر خطای داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده برای هر کدام از مدل‌های شبکه عصبی، رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه به ترتیب برابر با  $0/85$ ،  $3/06$  و  $3/26$  درجه سلسیوس است.

جدول ۴- نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد هر سه مدل در مدل سازی دماهای حداقل

شاخص های ارزیابی مدل	همبستگی	سطح معنی داری	ضریب تعیین	میانگین خطا به درصد	میانگین مربعات خطا	مجذور میانگین مربعات خطا	میانگین مطلق خطا	حداکثر خطا به درجه سلسیوس
شبکه عصبی مصنوعی	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۹۹	۲/۵	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۸۵
رگرسیون خطی چندگانه	۰/۹۶	۰/۰۱	۰/۹۲	۵/۲۸	۱/۶۲	۱/۲۷	۰/۸۶	۳/۰۶
رگرسیون غیرخطی چندگانه	۰/۹۷	۰/۰۱	۰/۹۴	۵/۱۱	۱/۶۷	۱/۲۹	۰/۸۶	۳/۲۶

### نتیجه گیری

مدل سازی دماهای حداقل به عنوان یکی از عناصر مهم اقلیمی که پدیده ای غیر خطی و متغیر با زمان و مکان است، در پیش بینی سرمای دیررس بهاره و زودرس پاییزه و به ویژه یخبندان و دماهای بحرانی دارای اهمیت فراوان است. در مطالعه ای حاضر جهت مدل سازی پیش بینی دماهای حداقل شهرستان ارومیه، سه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی و غیرخطی چندگانه مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. بررسی تأثیر استفاده از متغیرهای اقلیمی به ورودی مدل نشان داد که مدلی با ۵ متغیر، شامل میانگین حداکثر رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد، میانگین مجموع بارش، میانگین حداقل دما و میانگین حداکثر دما در سه ماه قبل، جهت پیش بینی میانگین حداقل دمای ماه بعد، دقیق ترین مدل می باشد. چرا که با خطای کمتر از ۵ درصد و همبستگی بالا دمای حداقل را پیش بینی کردند. آزمون مدل ها نشان داد که بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی میانگین دمای حداقل در این بررسی یک مدل پرسپترون ۳ لایه با ۵ نرون در لایه ورودی (متغیرهای اقلیمی ذکر شده)، ۳ نرون در لایه پنهان، یک نرون در لایه خروجی و الگوریتم آموزشی مارکوارت-لونیبرگ می باشد. در نهایت با توجه به نتایج تحقیق و ارزیابی مدل می توان اظهار داشت که استفاده از روش شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی دماهای حداقل به منظور تعیین دماهای بحرانی در زمینه های مختلف کشاورزی و سلامت انسانی، با توجه به تعیین خطای آموزشی می -

تواند به عنوان گزینه‌ای سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد که طبیعتاً با گذشت زمان در سال‌های آتی و افزایش اطلاعات در دسترس، دقت این روش‌ها نیز افزایش یافته و برای پیش‌بینی‌های فصلی، سالانه و بلند مدت نیز کاربرد خواهد داشت. از نتایج آن نه تنها در بخش کشاورزی، بلکه در مدیریت منابع سوخت، صنایع، شیوع بیماری‌ها، حمل و نقل و تصادفات جاده‌ای، خطوط انتقال آب و غیره موثر می‌باشد و می‌تواند ما را در به‌کارگیری تمامی امکانات موجود و اجرای روش‌های مقابله با سرما یاری نماید.

## منابع

- ۱- اسفندیاری، فریبا، حسینی، سید اسعد، آزادی مبارکی، محمد، حجازی‌زاده، زهرا (۱۳۸۹). پیش-بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)، فصلنامه جغرافیا، انجمن جغرافیایی ایران، سال ۸، ش ۲۷، صص ۶۵-۴۵.
- ۲- اسماعیلیان، مهدی. ۱۳۸۵. راهنمای جامع SPSS 14، چاپ اول، موسسه فرهنگی هنری دیباگران، تهران، صص ۲۰۱-۲۲۵.
- ۳- اصغری مقدم، اصغر، نورانی، وحید، ندیری، عطاالله. ۱۳۸۷. مدل‌سازی بارش دشت تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، مجله دانش کشاورزی دانشگاه تبریز، ج ۱۸، ش ۱، صص ۱۵-۱.
- ۴- حسینی، سید اسعد. ۱۳۸۸. برآورد و تحلیل دماهای حداکثر شهرستان اردبیل با استفاده از مدل تئوری شبکه‌های عصبی مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم‌شناسی)، استادراهنما: صلاحی، برومند، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۹۵ ص.
- ۵- خلیلی، نجمه، خداشناس، سعید، داوری، کامران. ۱۳۸۵. پیش‌بینی بارش با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، ۸ ص.
- ۶- رحیمی‌خوب، علی، بهبهانی، سید محمود، نظری‌فر، محمد هادی. ۱۳۸۶. پیش‌بینی دمای هوای استان خوزستان بر اساس داده‌های ماهواره نوا و مدل شبکه عصبی، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ش ۴۲(ب)، صص ۳۶۴-۳۵۵.
- ۷- رضائی، عبدالمجید و افشین سلطانی. ۱۳۷۷. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، صص ۱۱۳.
- ۸- سیاری، نسرین، بنایان، محمد، علیزاده، امین، بهیار، محمدباقر. ۱۳۸۹. بررسی امکان پیش‌بینی زمان وقوع یخبندان با استفاده از روش تشخیص الگوها، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۴، ش ۱، صص ۱۱۷-۱۰۷.



۹- صداقت کردار، علی، فتاحی، ابراهیم. ۱۳۸۷. شاخص های پیش آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه دانشگاه سیستان و بلوچستان، ج ۶، ش ۱۱، صص ۷۶-۵۹.

۱۰- فتحی، پرویز، محمدی، یوسف، همایی، مهدی. ۱۳۸۷. مدل سازی هوشمند سری زمانی آورد ماهانه ورودی به سد وحدت سنندج، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۳، ش ۱، صص ۲۲۰-۲۰۹.

۱۱- کارآموز، محمد، رضائی، فرید، رضوی، سامان. ۱۳۸۵. پیش بینی بلند مدت بارش با استفاده از سیگنال های هواشناسی: کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی، هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، تهران، ۱۱ص.

۱۲- گلدسته، اکبر، میرکریمی، س.ا، خدارحمی، م، ترابی، م، اصغری، ر. ۱۳۷۷. راهنمای کاربران SPSS 6، جلد دوم، چاپ اول، مرکز فرهنگی انتشاراتی حامی، تهران، ص ۲۸۹.

۱۳- محمدپور، کاوه. ۱۳۸۹. تاثیر عناصر اقلیمی و آلاینده های هوای سنندج بر روی مرگ و میر ناشی از بیماری های تنفسی و قلبی عروقی، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی (اقلیم شناسی)، استاد راهنما: علی محمد خورشید دوست، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۱۴- محمدنیا قرائی، سیروس، راستگو، غلامعلی، ملبوسی، شراره. ۱۳۸۸. ارائه فرمول تجربی به روش پیش بینی محلی حداقل دمای شبانه برای هر یک از ایستگاه های سینوپتیک استان های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی، مجموعه مقالات همایش علمی کاربردی راه های مقابله با سرمازدگی، صص ۱۱۰-۱۰۳.

۱۵- منهای، محمد، باقر. ۱۳۸۴. مبانی شبکه های عصبی (هوش محاسباتی)، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ سوم، ج ۱، ۷۱۲ص.

16- Aksoy, Hafzullah and Ahmad Dahamsheh. 2009. Artificial neural network models for forecasting monthly precipitation in Jordan. In: Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 23, p 917 – 931.

17- Conrads, P.A., Roehle, E.A. 1999. Comparing Physics- Based and Neural Network Mo Simulating Salinity, Temperature and Dissolved in a Complex, Tidally Affected River Basin. Proceeding of the South Carolina Environmental Conference, pp.1-15.

18- Demuth, H., Beale, M. 2002. Neural Network Toolbox User,s Guide, Copyright 1992-2002, By The Math Works, Inc, Version 4, 840pp.

19- Fulop, I. A., Jozsa, J., Karamer. T. 1998. A neural network application in estimating wind induced shallow lake motion, Hydro informatics 98, 2, pp 753-757.



- 20- Hopfield JJ, 1982. Neural network and physical systems with emergent collective computational abilities. Proc Nat Academy of Scientists 79: 2554-2558.
- 21- Imran, Maqsood, Muhammad .Riaz Khan ,Ajith Abraham. 2004. An ensemble of neural networks for weather forecasting, Neural Computing & Applications, Volume 13, Number 2 / June, 2004.
- 22- Jain, A. 2003. Predicting Air Temperature For Frost Warning Using Artificial Neural Network, A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of The University of Georgia in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree MASTER OF SCIENCE, ATHENS, GEORGIA, 92 P.
- 23- Patterson, D.W. 1996. Artificial Neural Networks. First edition, Prentice Hall, Singapore
- 24- Ranjithan, J., Eheart, J., Garrett, J. H. 1995. Application of neural network in groundwater remediation under condition of uncertainty. New Uncertainty conception Hydrology and Water Resources, pp133-140.