

مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمايي کره‌ی زمین با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی

دکتر بهلول علیجانی^۱

استاد دانشگاه تربیت معلم تهران

یوسف قویدل رحیمی^۲

کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه تبریز

چکیده

در این تحقیق داده‌های مربوط به ناهنجاری‌های دمايي کره‌ی زمین و دمای متوسط سالانه‌ی ایستگاه تبریز در طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. روش‌های اصلی بکار گرفته شده در این مطالعه عبارت از: روش تعیین ضریب همبستگی پیرسون، تحلیل مؤلفه‌ی روند سری‌های زمانی، رگرسیون خطی ساده، رگرسیون پولی نومیال به عنوان یک روش نیمه‌خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند. نتایج حاصل از کاربرد و تحلیل همبستگی پیرسون نشانگر همبستگی مثبت و مستقیم معنی‌داری بین دمای سالانه‌ی تبریز و ناهنجاری‌های دمايي کره‌ی زمین است. تحلیل مؤلفه‌ی روند بلندمدت سری‌های زمانی نشان می‌دهد که در طول دوره‌ی آماری بر دمای متوسط سالانه‌ی تبریز افزوده می‌شود. ناهنجاری‌های دمايي کره زمین نیز روندی افزایشی از خود نشان می‌دهد. ارتباط دمای متوسط سالانه‌ی تبریز با گرمایش جهانی نیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصل از کاربرد روش‌های مختلف در این مطالعه نشان می‌دهد که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مقایسه با روش‌های رگرسیون خطی ساده و رگرسیون نیمه‌خطی پولی نومیال درجه‌ی ۰۶، روش بهتر و دقیق‌تری است.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های عصبی مصنوعی، تغییر اقلیم، روند افزایشی دمای سالانه‌ی تبریز، مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی.

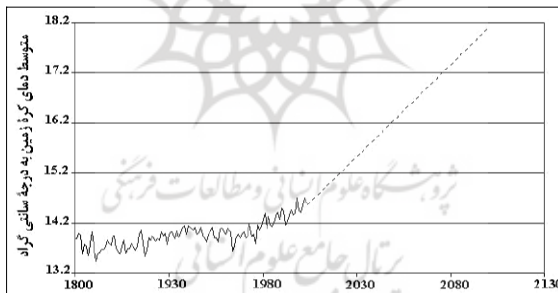
مقدمه

فراآیند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد (برایسون، ۱۹۹۷: ۵۸؛ پترسون، ۲۰۰۰: ۱۸). تغییر اقلیم به دلیل ابعاد علمی و کاربردی

1-alijani@tmu.ac.ir

2-NeuralClimate@Yahoo.Co.Uk

(اثرات محیطی، اقتصادی- اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند. در طی سال‌های اخیر دانشمندان به منظور تجزیه و تحلیل الگوهای اقلیمی توجه ویژه‌ای به سری‌های دمایی معطوف می‌دارند. دما در کنار بارش از مهم‌ترین عناصر اقلیمی محسوب می‌گردد که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است. همچنین دما از عوامل اصلی و اساسی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی محسوب می‌گردد و بر این اساس نوسانات و تغییرپذیری دما دارای اهمیت فوق‌العاده علمی- کاربردی است. تغییرات معنی‌دار دمای کره‌ی زمین (شکل ۱) یا گرمایش جهانی به عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است. بسیاری از معضلات محیطی عصر ما از جمله سیل، طوفان، خشکسالی، تکثیر زیاده از حد حشرات موذی و مصونیت آنها در برابر سموم و مسایلی از این دست، جملگی ریشه در تغییر اقلیم کره‌ی زمین خصوصاً افزایش دما دارند (خورشید دوست و قوی‌دل رحیمی، ۱۳۸۳: ۲۵). تغییر دمای کره زمین در گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم برای سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۹۵ بین ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است (هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۱: ۱۷۵۶). میزان همبستگی تغییرات دمایی هر مکان جغرافیایی با تغییرات دمایی کره‌ی زمین را می‌توان به عنوان نشانه و ملاکی برای سنجش میزان تغییر اقلیم آن مکان محسوب نمود (شن، ۲۰۰۶: ۶۳).



شکل ۱: ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین تا سال ۲۰۰۵ میلادی و افزایش دمایی آن تا سال ۲۱۰۰ (گوتنیرز، ۲۰۰۶: ۱۹۴۷)

دومروس و ال‌تتاوی (۲۰۰۵: ۵۱) تغییرات زمانی- مکانی دمای ایستگاه‌هایی از مصر را مورد مطالعه قرار داده و همبستگی تغییرات مذکور را با تغییرات دمایی کره‌ی زمین مورد تأیید قرار داده‌اند. با استفاده از انواع شبکه‌های عصبی پرسپترون چند لایه و براساس ناهنجاری‌های دمایی

کره‌ی زمین، تغییرات دمایی شبه‌جزیره کره مورد بررسی قرار داده شده و میزان تأثیرپذیری آن تعیین شده است (یانگ، ۲۰۰۵: ۵۸۲). محققین معتقدند که برای کسب نتایج بهتر در مدل‌سازی تغییر اقلیم باید از روش‌های ترکیبی مانند ترکیب روش‌های تحلیل عاملی و شبکه‌های عصبی استفاده شود (هایدر، ۲۰۰۴: ۱۴۹). اما لینکر و سژینر (۲۰۰۴: ۲۳) معتقدند که در مدل‌سازی تغییرات دمایی ناشی از اثر گلخانه‌ای، نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی و مدل‌های غیرخطی، دقیق‌تر از روش‌های ترکیبی و خطی هستند، چرا که دستگاه اقلیم، سیستمی غیرخطی و تصادفی است (وو و همکارانش، ۲۰۰۵: ۱۷۵۸؛ کمپل، ۲۰۰۵: ۳۳۹۰). استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی علاوه بر پیش‌بینی کوتاه‌مدت در مدل‌سازی روند تغییرات دمایی و یافتن همبستگی بین متغیرهای اقلیمی هم نتایج دقیقی دارد (ایمران و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۱۶). بدین جهت امروزه کاربرد شبکه‌های عصبی بویژه در شبیه‌سازی تغییرات عناصر اقلیمی از طریق مدل‌های گردش عمومی در مقیاس منطقه‌ای رونق یافته است (کولیبالی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۹۱).

اکثر اقلیم‌شناسان علت اصلی روند افزایشی دمای کره زمین را فعالیت‌های انسانی می‌دانند که از طریق افزایش بیش از حد گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش دمای جهان در سده‌ی اخیر شده است (علیچانی، ۱۹۹۷: ۳۰). خسروی و همکاران (۱۳۸۲: ۴۵۲) تغییرات دمای ایستگاه مشهد را در دوره‌ی ۱۱۳ ساله با استفاده از مدل رگرسیون نمایی مورد بررسی قرار داده و تأکید کرده‌اند که روند افزایش دمای مشهد همبستگی معنی‌داری با تغییرات دمایی کره‌ی زمین دارد. نامبردگان افزایش قابل توجه دما نسبت به میانگین بلندمدت ایستگاه مشهد را از سال ۱۹۹۰ به بعد نشانه‌ای از مطابقت تغییر اقلیم بر اساس سناریوی منطقه‌ای «هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم» برای منطقه‌ی جنوب غرب آسیا قلمداد نموده‌اند.

قویدل رحیمی (۱۳۸۵ الف: ۱۴) ضمن ارزیابی میزان تأثیر ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین بر بارش سالانه‌ی تبریز، با استفاده از یک پرسپکتیو چند لایه با ۳ لایه‌ی پنهان و الگوریتم یادگیری پیش‌رواز روی ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین بارش سالانه‌ی تبریز را با خطای بسیار کم، شبیه‌سازی نموده و ثابت کرده است که اثر مذکور غیرخطی است. در مطالعات یاد شده سعی شده است که جهانی شدن تغییر اقلیم را با مطالعه شرایط محلی به اثبات برسانند. به منظور کمک به این تلاش جهانی در این مقاله نیز سعی شده است که از طریق بررسی رابطه‌ی ممکن بین تغییرات دمای سالانه تبریز و روند جهانی دما، دامنه‌ی این گسترش آشکار شود.

داده‌ها و روش‌ها

به منظور بررسی رابطه بین تغییرات اقلیمی سیاره‌ی زمین و ایستگاه تبریز میانگین سالانه‌ی دمای ایستگاه تبریز از ۱۹۵۱ تا سال ۲۰۰۳ و مقادیر متناظر آن از داده‌های مربوط به متوسط

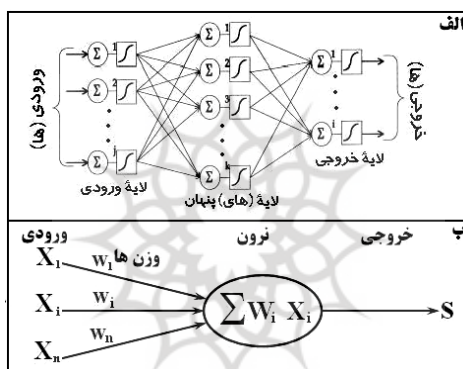
ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین از وبسایت مرکز پیش‌بینی‌های اقلیمی ناسا (www.cdc.noaa.gov) تهیه شد. پس از کنترل کیفی داده‌ها، اقدام به داده‌پردازی و محاسبه‌ی پارامترهای گرایش به مرکز و پراکندگی داده‌های دمای تبریز گردید. پس از تعیین نوع توزیع احتمال وقوع داده‌های دمایی تبریز و ترسیم نمودار مربوطه، اقدام به تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی دمایی گردید و در ابتدا ناهنجاری‌های دمای سالانه‌ی تبریز نسبت به میانگین سری (دمای هر مشاهده- میانگین بلندمدت = ناهنجاری سالانه‌ی دمایی) محاسبه گردید و سپس مؤلفه‌های مختلف روند دمای سالانه‌ی تبریز و ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین مورد تجزیه و تحلیل قرار داده شده و به طرق خطی و نمایی مدل‌سازی گردید. برای پیش‌بینی روند آتی تغییرات دمایی تبریز تا سال ۲۱۰۰ از روش‌های رگرسیون خطی و نمایی و برای محاسبه میزان مطابقت تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید.^۱

برای پیش‌بینی دقیق تغییرات دمای سالانه تبریز بر اساس ناهنجاری‌های دمایی سیاره‌ی زمین از شبکه‌ی عصبی استفاده شد. اساس شبکه‌های عصبی در واقع شبیه‌سازی تفکر مغز انسان از طریق مدل‌سازی سلول‌های عصبی می‌باشد. هر سلول عصبی به عنوان یک واحد پردازشگر عددی عمل می‌کند. نرون‌های شبکه با هم در ارتباط بوده و به صورت موازی کار می‌کنند. شبکه‌ی عصبی که نرون‌های آن دارای اتصالات منظم و متوالی بوده و هیچ‌گونه اتصال بازگشتی نداشته باشد، شبکه‌ی عصبی پیشرو یا پرسپترون نامیده می‌شود. شبکه‌های عصبی پرسپترون به دو نوع تک لایه و چند لایه تقسیم می‌شوند. نوع تک لایه‌ی پرسپترون فاقد لایه‌ی پنهان است و لایه‌ی ورودی در آن به صورت میان‌گیر عمل کرده و محتوی داده‌های سیستم است. در پرسپترون تک‌لایه‌ی سلول‌های اصلی محاسباتی در لایه‌ی خروجی قرار دارند. پرسپترون‌های تک‌لایه‌ی فقط می‌توانند الگوهای را شناسایی و طبقه‌بندی کنند که به صورت خطی قابل جداسازی هستند. برای طبقه‌بندی الگوهای پیچیده‌تر از «پرسپترون چندلایه» (MLP)^۲ استفاده می‌شود. این نوع پرسپترون دارای سه لایه‌ی ورودی اول، میانی (لایه‌ی پنهان) و آخر (لایه‌ی خروجی) است (پاسینی و همکاران، ۲۰۰۵: ۵). در این مطالعه از یک «پرسپترون چندلایه با ۴ لایه‌ی پنهان استفاده گردید.

در پرسپترون مذکور لایه‌ی ورودی ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین و خروجی‌ها دمای سالانه‌ی تبریز هستند. هر یک از لایه‌های فوق از تعدادی وزن و توابع انتقال غیرخطی تشکیل یافته‌اند. توپولوژی شبکه‌ی عصبی چند لایه در بخش الف و حالت یک سلول عصبی یا نرون در

۱- با توجه به عمومیت روش‌های رگرسیونی از توضیح و درج معادلات آنها صرف‌نظر گردید، اما علاقمندان به آگاهی از روش‌های مذکور می‌توانند به کتاب «روش‌های رگرسیون در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی»، تألیف دکتر منصور مصداقی از انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) در سال ۱۳۸۱، مراجعه نمایند.

بخش ب شکل ۲ نشان داده شده است. در پرسپترون مذکور هر یک از لایه‌ها به لایه بعدی متصل هستند و شبکه‌ی میزان تورش و خطاهای مورد محاسبه‌ی خروجی را تا حدی که به خروجی مطلوب (مشاهدات ثبت شده‌ی دمای تبریز) نزدیک‌تر باشد، کنترل و تنظیم می‌کند. این تنظیم مطابق با قانون اصلاح و خطا انجام می‌گیرد. سیگنال خطا در لایه‌ی خروجی شبکه تشکیل می‌گردد. بردار خطا برابر اختلاف بین پاسخ مطلوب و پاسخ واقعی شبکه است. مقدار خطا پس از محاسبه در مسیر انتشار به عقب از طریق لایه‌ی (کنترلر) خروجی و از طریق لایه‌های شبکه در کل آن توزیع می‌گردد. در نهایت پارامترهای شبکه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که پاسخ واقعی هر چه بیشتر به سمت پاسخ مطلوب (مشاهدات ثبت‌شده‌ی دمای تبریز) نزدیک‌تر شود.



شکل ۲: الف: توپولوژی پرسپترون چند لایه‌ی پیش‌رو، ب: تجسم ریاضی یک سلول عصبی یا نرون

(رامیرز و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۵۱)

انتخاب تعداد نرون‌های لایه‌ی پنهان بستگی به پیچیدگی تابع دارد به نحوی که هر قدر تابع دارای نقاط عطف بیشتری باشد، باید تعداد نرون‌های لایه‌های پنهان را بیشتر در نظر گرفت اما همواره بایستی توجه داشت که تعداد پارامترهای قابل تنظیم شبکه از تعداد داده‌های یادگیری کمتر باشد، تا شبکه دچار آموزش بیش از حد که همان حالت حفظ یا ازبرکردن داده‌ها به جای یافتن ارتباط منطقی و ریاضی بین آنها است، نشود.

در کل روش و قانون خاصی برای انتخاب و تعبیه‌ی تعداد مناسب نرون‌های لایه‌های پنهان وجود ندارد و این کار بسته به تجربه و مهارت کاربران شبکه‌های عصبی از طریق آزمون و خطا انجام می‌شود.

کل داده‌های مورد استفاده در روش شبکه‌ی عصبی به سه قسمت مجزای الف- داده‌های آموزشی شامل ۳۵٪ داده‌ها، ب- داده‌های آزمایشی برای آزمون کارایی مدل طراحی شده شامل ۴۵٪ داده‌ها و ج- داده‌های مربوط به «اعتبار بخشی نتایج»^۱ که دربرگیرنده‌ی ۲۰٪ داده‌ها بود، تقسیم شدند. محاسبات شبکه‌ی عصبی مورد استفاده در وضعیت محاسبه‌ی «پیش رو»^۲ انجام گرفته است و برای آموزش شبکه از روش الگوریتم پس انتشار (انتشار به عقب) استفاده گردیده است (الگوریتم مذکور خطای خروجی را برآورد کرده و به عقب «داخل سیستم» انتشار می‌دهد و با این کار اوزان انتخابی مدل توسط سیستم اصلاح می‌گردد). فرآیند اصلاح وزن‌ها در تمامی عناصر سیستم تا انتخاب بهترین وزن‌ها که صحیح‌ترین خروجی را برای سیستم ایجاد می‌کنند، ادامه می‌یابد. اصلاح وزن‌ها از طریق کاهش یا افزایش دادن ضرایب تنظیمی انجام می‌گیرد. مهم‌ترین ضرایب تنظیمی عبارتند از:

۱- نرخ آموزش یا ضریب یادگیری که در واقع طول گام‌ها را در هر بار اصلاح پارامترهای شبکه مشخص می‌کند و بایستی مقدار این ضریب در لایه‌های پنهان بیشتر از لایه‌های خروجی باشد.

۲- ضریب گشتاور (مومنتم) که عبارت است از مقدار اینرسی که به هریک از پارامترهای شبکه اضافه می‌شود تا آن پارامتر در مسیری که منجر به کاهش مقدار انرژی می‌شود تغییر داشته باشد.

۳- ضریب «پاک» که عبارت است از ضریبی که به هریک از بردارهای ورودی که در هر سیکل یادگیری و در راستای بهینه کردن یا تغییر به سمت حالت مطلوب وزن‌ها به شبکه ارایه می‌شود. معادله‌ی ریاضی محاسبه‌ی پیشرو عبارت است از:

$$net_{pi} = \sum_{j \in \text{previous layer}} w_{ij} a_{pj} + b_i \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق: a_{pj} مقدار خروجی قبلی، w_{ij} وزن‌های لایه‌ی مربوطه و b_i میزان ابهام یا تورش هستند. سپس مقدار $f(net_{pi})$ محاسبه می‌شود که در آن f یک تابع محرک می‌باشد که انواع مختلفی دارد و در این مطالعه از رایج‌ترین آن یعنی تابع سیگموئید تک قطبی استفاده شده است که مدل ریاضی آن عبارت است از: $f(net_{pi}) = [1 + \exp(-net_{pi})]^{-1}$ برای پیش‌بینی باید مقادیر b_i و w_{ij} آموزش داده شوند یعنی مقادیر آنها طوری تنظیم یابند که سیستم بتواند پیش‌بینی را انجام دهد. در این حالت ما باید یک الگوریتم برگشتی (انتشار به عقب) جهت آموزش وزن‌ها و تورش‌ها داشته باشیم. اگر فرض کنیم که T_i مقادیر اصلی و T_p

مقادیر پیش‌بینی شده‌ی دمای سالانه باشند، الگوریتم آموزش در اینجا روش انتشار به عقب است و به صورت ذیل تعریف می‌شود:

$$E = \sum_i (T_i - T_p)^2 \quad (2)$$

اختلاف بین وزن‌های تنظیم شده برای هر یک از لایه‌ها با ΔW_{ij} نشان داده شده و از طریق معادله‌ی ۳ محاسبه می‌گردد:

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ji}} \quad (3)$$

در معادلات فوق ΔW_{ij} جهت آموزش به مقدار W_{ij} افزوده می‌شود و η نرخ آموزش که عددی ثابت و مثبت است، می‌باشد. در شبکه‌ی عصبی طراحی شده، بردار ورودی داده‌ها به صورت $X = [r(i), r(i) - r(i-1), r(i-1), r(i-1) - r(i-2), \dots]$ است، یعنی هر داده به همراه اختلاف آن با ورودی قبلی وارد شبکه‌ی عصبی شده است. ذکر این نکته ضروری است که داده‌های ورودی به شبکه‌ی عصبی بایستی نرمال شده باشند که برای این کار از معادله‌ی ۴ استفاده می‌شود:

$$N_x = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

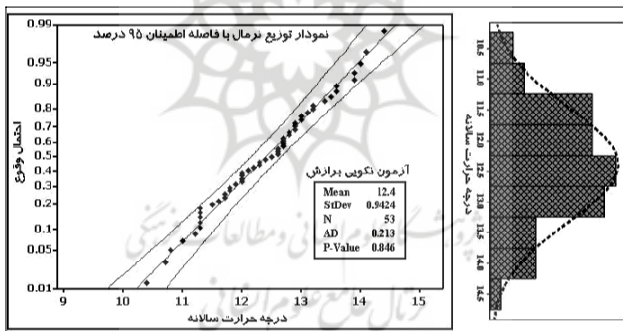
در معادله‌ی فوق: N_x مقدار نرمال شده‌ی متناظر با X_i ، X_{\min} و X_{\max} مقادیر حداقل و حداکثر متغیر X از الگوهای ورودی هستند. نرم‌افزارهای جدید شبکه‌ی عصبی مثل Auto fit، معمولاً دارای یک اسکالر خودکار برای نرمال کردن داده‌ها هستند. در مرحله‌ی بعد، خروجی‌های مدل را با خروجی‌های اصلی مقایسه نموده و سپس خطاها را با استفاده از الگوریتم انتشار به عقب بر روی وزن‌ها و تورش‌ها پخش می‌شود. پس از این که شبکه به اندازه‌ی کافی آموزش دید آماده‌ی پیش‌بینی می‌شود. شبکه‌ی عصبی دقیق شبکه‌ای است که با کمترین میزان خطا (RMSE) و کمترین تکرار، دارای بالاترین ضریب همبستگی و ضریب تعیین (بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده) باشد (منهاج، ۱۳۷۷: ۲۸۱). می‌توان با تنظیم شبکه‌ی عصبی به یکی از حالات ذیل شبکه را به حالت همگرایی رساند یا در صورت عدم کسب نتایج مورد انتظار شبکه‌های دیگری را معماری نمود. چون در این مطالعه هدف ما یافتن همبستگی بالاتر از مدل‌های مورد محاسبه از روش‌های خطی و نیمه‌خطی بوده است، لذا معیار انتخاب و معماری شبکه‌ی مطلوب آموزشی برای پیش‌بینی، اغنا و همگرایی شبکه در ضرایب تعیین بالاتر از مدل‌های خطی و پولی نومیال می‌باشد.

نتایج

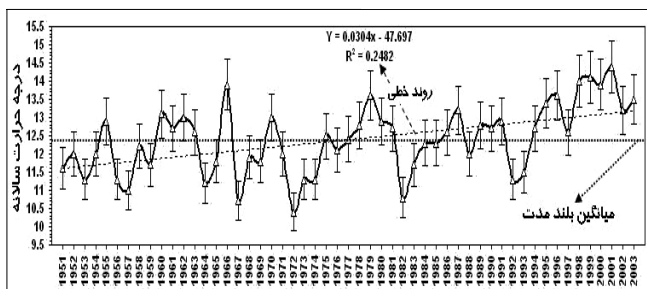
پارامترهای توصیفی دمای سالانه ایستگاه تبریز در جدول ۱ درج شده‌اند. طبق این جدول توزیع دمای سالانه تبریز از توزیع نرمال تبعیت دارد. برای اینکه چولگی آن بسیار ناچیز و میانگین و میانه به هم نزدیک هستند. این وضعیت از توزیع نرمال شکل ۳ کاملاً مشهود است. تغییرات زمانی دمای متوسط سالانه تبریز به صورت استاندارد شده نسبت به میانگین دوره مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است، طبق این شکل سری دمایی تبریز علاوه بر افت و خیزهای کوتاه‌مدت، روند بلندمدت مثبتی دارد رابطه‌ی مذکور با میزان ضریب همبستگی $+0/498$ در سطح $\alpha=0/05$ معنی‌دار است. این روند افزایشی مثبت در سال‌های اخیر بیشتر شده است که تقریباً با نرخ افزایش دمای کره‌ی زمین هماهنگی دارد.

جدول ۱: پارامترهای توصیفی دمای سالانه‌ی تبریز

بیشینه	کمینه	ضریب تغییرپذیری	انحراف معیار	مد	میانه	میانگین
۱۴/۴	۱۰/۴	۰/۰۷۶	۰/۹۴۲	۱۱/۳	۱۲/۵	۱۲/۴

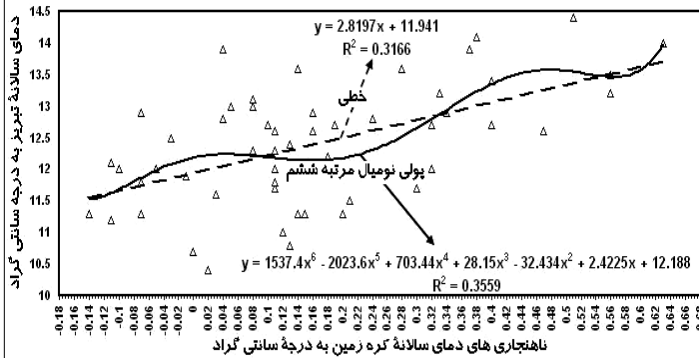


شکل ۳: توزیع آماری احتمال وقوع درجه حرارت سالانه‌ی تبریز با فاصله اطمینان ۹۵٪



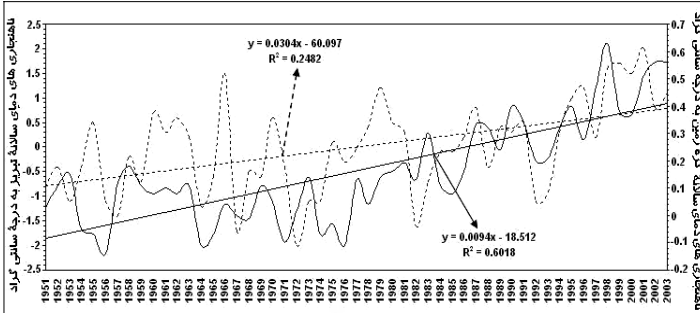
شکل ۴: تغییرات زمانی سری دمای متوسط سالانه استاندارد شده تبریز
(با خطا بار ۹۵٪ برای هر مشاهده)

شکل ۴ نشانگر روند خطی مثبت و افزایشی ناهنجاری‌های دمای متوسط سالانه‌ی تبریز است، در سال‌های اخیر میانگین دمای کروی زمین افزایش یافته است که شاید مهم‌ترین علت آن تأثیر پدیده‌ی گلخانه‌ای به‌علت افزایش گازهای گلخانه‌ای بویژه افزایش ورود گاز دی‌اکسیدکربن به سیستم اقلیمی است. با قبول مطلب فوق به‌عنوان یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم، مطابقت دمای هر قسمت از کروی زمین می‌تواند دلیلی بر تغییر اقلیم آن مکان محسوب شود و شدت و ضعف همبستگی بین تغییرات دمایی زمین و مکان‌های مختلف نیز روند شدید یا ضعف تغییرات اقلیم دمایی را در آن مکان نشان دهد. با این مقدمه و فرض اقدام به تطبیق و محاسبه‌ی ضریب همبستگی پی‌رسون بین ناهنجاری‌های دمای سالانه‌ی تبریز و کروی زمین گردید. ضریب همبستگی خطی بین درجه حرارت متوسط سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کروی زمین در دوره‌ی آماري ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ میلادی بالغ بر ۰/۵۷+ شد که در سطح $\alpha=0/01$ معنی‌دار بوده و ضریب تعیین آن ۳۱/۶۶ درصد محاسبه شده است. تحلیل همبستگی مذکور نشان می‌دهد که ارتباط و همبستگی مستقیم و خوبی بین تغییرات دمای کروی زمین و تغییرات دمایی ایستگاه تبریز وجود دارد و تغییرات دمایی ایستگاه تبریز حداکثر تا ۳۱/۶۶ درصد بر اثر ناهنجاری‌های دمایی کروی زمین قابل توجیه است. در روش نیمه‌خطی رگرسیون پولی نومیال مرتبه‌ی ششم این اثرات تا ۳۵/۵۹ درصد افزایش یافته است (شکل ۵).

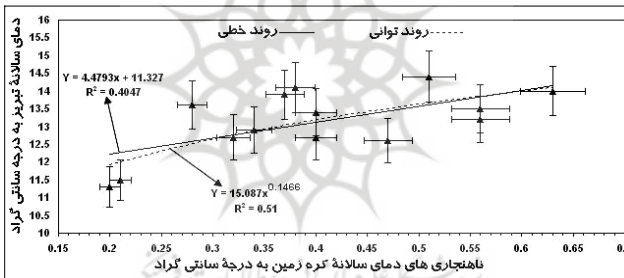


شکل ۵: همبستگی خطی و پولی نومیال درجه ۶ بین تغییرات دمای سالانه‌ی ایستگاه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین به درجه سانتی گراد

مقایسه‌ی روند خطی دمای سالانه‌ی ایستگاه تبریز با روند ناهنجاری‌های دمایی کره زمین (شکل ۶) نشان می‌دهد که روند افزایش دمای سالانه‌ی ایستگاه تبریز کندتر از روند افزایش دمای کره زمین است و دو خط دمایی به واسطه‌ی میزان افزایش نامتوازی، همدیگر را قطع کرده‌اند. این امر نشان می‌دهد که احتمالاً به همراه گرمایش زمین عوامل دیگری نیز در تغییرات دمایی تبریز دخالت دارند. بایستی توجه کرد که روند افزایش دمای کره زمین به واسطه‌ی پدیده‌ای به نام آغاز سرد، دارای یک نقطه‌ی عطف یا پرش از سال ۱۹۹۰ میلادی است و از آن سال روند افزایشی دما و به تبع از نقش مهم دما تغییرات اقلیمی سریع‌تر و بیشتر شده است. به لحاظ اهمیت دوره‌ی آماری پس از سال ۱۹۹۰ می‌توان از دوره‌ی ۱۴ ساله‌ی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ میلادی نیز برای آشکارسازی تغییر اقلیم و تطبیق تغییرات دمای متوسط سالانه‌ی ایستگاه تبریز با تغییرات دمایی کره زمین استفاده کرد. برای این کار ابتدا میزان ضریب همبستگی بین تغییرات دمایی ایستگاه تبریز و دمای کره زمین در محدوده‌ی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ مورد محاسبه قرار گرفت که ضریب ۰/۶۳۶+ به دست آمد.



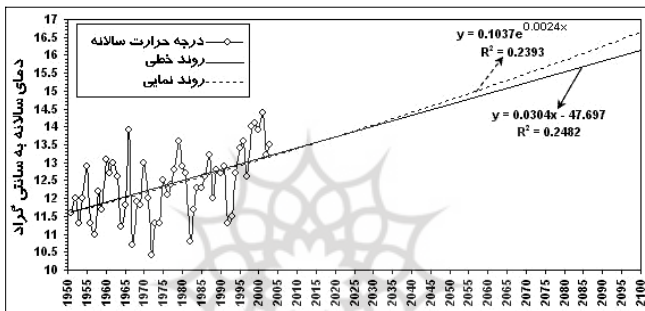
شکل ۶: مقایسه‌ی روند خطی تغییرات دمایی ایستگاه تبریز و کره‌ی زمین در حد فاصل سال‌های ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳ میلادی



شکل ۷: برازش رگرسیون ساده‌ی خطی و توانی به رابطه‌ی بین دمای متوسط تبریز و ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین در دوره‌ی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ میلادی (پس از وقوع پدیده‌ی آغاز سرد). هر یک از مشاهدات دارای خطا بار ۹۵٪ در محور x و Y هستند

این امر نشان داد که درجه‌ی حرارت ایستگاه تبریز تحت تأثیر پدیده‌ی آغاز سرد قرار گرفته و همان‌گونه که در شکل ۷ نیز نشان داده شده است، روند تغییرپذیری و افزایشی آن از خطی تبدیل به توانی شده است به طوری که از سال ۱۹۹۰ به بعد ضریب همبستگی ایستگاه تبریز از ضریب همبستگی خطی ۵۲ ساله‌ی $+۰/۵۵۷$ به $+۰/۶۳۶$ و در رگرسیون توانی به $+۰/۷۱۵$ افزایش پیدا کرده و میزان تأثیرپذیری درجه‌ی حرارت سالانه‌ی ایستگاه تبریز از گرمایش کره‌ی زمین از

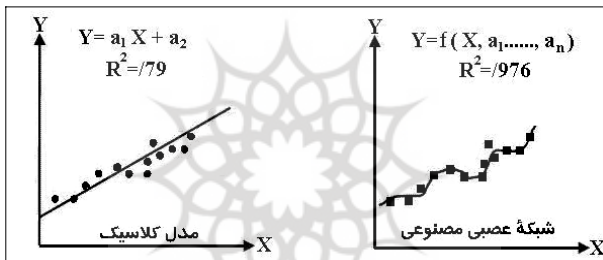
نرخ بلندمدت ۵۲ ساله ی ۲۲/۵٪ درصد به ۴۰/۴۷٪ در روش خطی و ۵/۱٪ در روش نمایی افزایش یافته است. بحثی که در اینجا مطرح می‌شود این است که با توجه به روند خطی و نمایی تغییرات دمایی تبریز نسبت به ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین وضعیت دما در آینده چگونه خواهد بود؟ برای پاسخ به سؤال مذکور روند تغییرات دمایی تبریز را با سناریوی ادامه‌ی روند خطی و نمایی فعلی تا سال ۲۱۰۰ میلادی پیش‌بینی کردیم که رقم مورد پیش‌بینی برای سال ۲۱۰۰ در روش خطی ۱۶/۱ و در روش نمایی ۱۶/۶ درجه‌ی سانتی‌گراد محاسبه شد. در شکل ۸ سناریوی ادامه‌ی روند فعلی دمای ایستگاه تبریز در دو حالت خطی و نمایی تا سال ۲۱۰۰ ترسیم گردیده است.



شکل ۸: پیش‌بینی روند دما به صورت خطی و نمایی تا سال ۲۱۰۰ میلادی

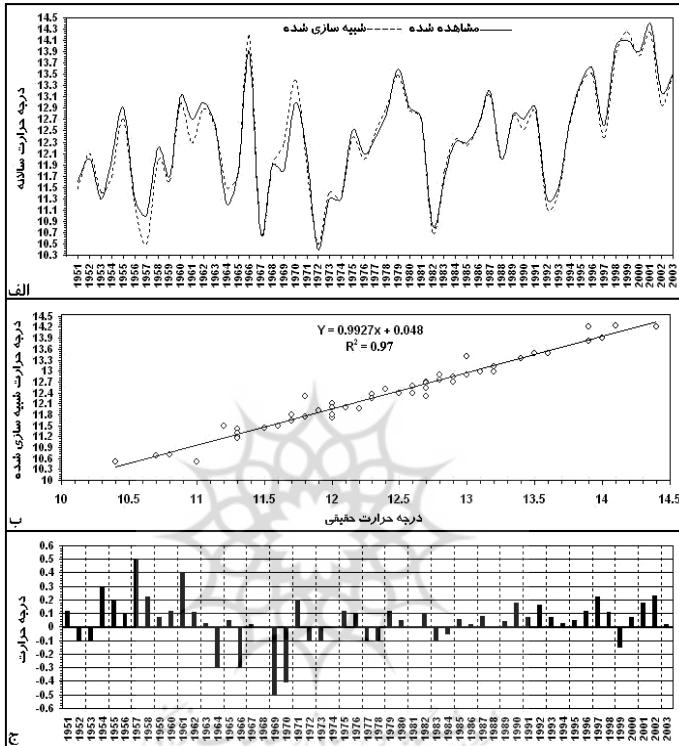
مقدار عددی برآوردی از بسط دو روش رگرسیون خطی و نمایی با رقم ۱۶/۳ درجه‌ی سلسیوس که توسط خورشیددوست و قویدل رحیمی (۱۳۸۴: ۱۱) با استفاده از مدل گردش عمومی «لابراتوار پویایی شاره‌های ژئوفیزیکی» (GFDL) و در صورت دو برابر شدن دی‌اکسید کربن جو در سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شده است، مطابقت دارد. باید توجه داشت که اغلب اثرات و ارتباطات اقلیمی پیچیده و مرکب هستند و لذا با روش‌های عمومی و ساده‌ی خطی نمی‌توان بطور جامع این تأثیرات را مورد محاسبه قرار داد. این مسأله در مورد تطبیق تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین نیز صدق می‌کند و همان‌گونه که توضیح داده شد و در شکل ۶ نیز قابل مشاهده است روش نیمه‌خطی پولی نومیال درجه‌ی ۶ بهتر از رگرسیون خطی می‌تواند، نقش ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین را در تغییرپذیری دمای ایستگاه تبریز نشان دهد. بر این اساس و با فرض پیچیدگی ارتباط دمایی تبریز با نوسانات دمایی کره‌ی زمین اقدام به استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی به عنوان یک روش غیرخطی با امید یافتن ضریب همبستگی و ارتباط

بیشتر گردید. این استنباط از آنجا ناشی شده است که شبکه‌های عصبی توانسته‌اند با پردازش روی داده‌های تجربی دانش یا قانون نهفته در ورای داده‌ها راه به ساختار شبکه منتقل کنند و بر اساس محاسباتی که روی داده‌های عددی یا مثال‌ها انجام می‌دهند، قوانین کلی را فرا گیرند. چون عملکرد شبکه‌های عصبی مانند مغز انسان دقیق و پیچیده است، لذا به آن هوش محاسباتی هم می‌گویند. در شکل ۹ دقت و مزیت شبکه‌های عصبی به عنوان روشی غیر خطی نسبت به روش خطی نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور می‌توان به برتری و دقت محاسباتی روش شبکه عصبی مصنوعی در کشف ارتباط بین پدیده‌هایی که دارای ارتباط خطی نیستند، پی برد. مزیت اصلی شبکه‌ی عصبی این است که با یک ورودی معلوم می‌توان از آن انتظار خروجی دلخواه را داشت.



شکل ۹: مزیت برآوردی شبکه‌ی عصبی (به عنوان یک روش غیرخطی) نسبت به روش رگرسیون خطی در کشف رابطه بین پدیده‌ها

با در نظر گرفتن مزایای فوق اقدام به طراحی و آموزش و آزمایش چندین شبکه‌ی عصبی مصنوعی گردید که با توجه به معیارهای مورد نظر به ویژه ضریب همبستگی بین داده‌های اصلی دما و مقادیر پیش‌بینی شده، مدل پرسپترون سه لایه با ۴ لایه‌ی پنهان، بهترین شبکه شناخته شد. در شکل ۱۰ نتایج حاصل از شبیه‌سازی (پیش‌بینی) درجه حرارت سالانه‌ی تبریز با ورودی معلوم ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین و خروجی مطلوب درجه‌ی حرارت متوسط سالانه‌ی تبریز نشان داده شده است و همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتیجه‌ی کار در مقایسه با روش خطی بسیار متفاوت و دقیق‌تر بوده و همبستگی و مطابقت بالایی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: نتایج حاصل از کاربرد شبکه‌ی عصبی برای سنجش میزان مطابقت تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین.

الف: مقایسه‌ی مقادیر واقعی با مقادیر شبیه‌سازی شده

ب: همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهدات واقعی دمای سالانه‌ی تبریز

ج: نمودار باقی‌مانده‌ها پس از برازش مدل^۱.

۱- در نمودار فوق ارقام دما به درجه‌ی سانتی‌گراد بیان شده است.

سنجه‌های ارزیابی دقت مدل شبکه عصبی حاکی از متوسط همبستگی $0/985$ ، ضریب تعیین 97% و «مجدور متوسط خطاها» (RMSE) برابر با $0/0458$ در 2413 بار تکرار برای رسیدن شبکه به حالت همگرایی محاسبه شده است. پس از برازش مدل، حداقل مقدار باقی مانده‌ها صفر و حداکثر آن $0/5$ و میانگین باقی مانده‌ها $0/042$ درجه‌ی سانتی‌گراد محاسبه گردید که نرمال بودن باقی مانده‌ها و دقت قابل قبول مدل را گواهی می‌دهند. مقایسه‌ی نتایج حاصل از مدل‌های خطی و نیمه‌خطی با نتایج حاصل از شبکه‌ی عصبی مصنوعی، معلوم می‌کند که کارایی مدل برازش داده شده نسبت به مدل‌های خطی و نیمه‌خطی بسیار بالاتر است و این امر تأییدی بر پیچیدگی و غیرخطی بودن همبستگی موجود بین تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره‌ی زمین است.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که بین تغییرات دمایی کره‌ی زمین و ایستگاه تبریز ارتباط مستقیمی وجود دارد که این ارتباط در مدل‌های ساده‌ی خطی خوب، در مدل‌های غیر خطی (پولی نومیال مرتبه ششم) بهتر از مدل‌های خطی و در مدل‌های غیرخطی (شبکه‌ی عصبی مصنوعی) بسیار قوی است. وجود همبستگی بین تغییرات دمایی کره‌ی زمین و تبریز مطابقت آنها را نشان داده و بیانگر تأثیرپذیری اقلیم (دما) ایستگاه تبریز از گرمایش جهانی است. همچنین این مطالعه نشان داد که ارتباط بین گرمایش زمین و تغییرات دمای سالانه‌ی تبریز بیشتر از آن که ساده و خطی باشد، پیچیده و غیرخطی است. بررسی روند تغییرات دمای سالانه ایستگاه تبریز نیز مبین مطابقت بیشتر روند تغییرات به صورت نمایی است که این امر به منزله‌ی افزایش نمایی تغییرات دمای ایستگاه تبریز در آینده است و اگر روند فعلی افزایش دما ادامه یابد در سال 2100 میلادی دمای متوسط سالانه‌ی تبریز به $16/1$ (برآورد خطی) تا $16/6$ (برآورد نمایی) خواهد رسید که این نتیجه با برآورد و شبیه‌سازی مدل GFDL از اثرات دو برابر شدن دی اکسید کربن جو بر دمای تبریز مطابقت می‌نماید. بر این اساس می‌توان چنین استنباط کرد که علت افزایش دمای سالانه‌ی ایستگاه تبریز همانند کره زمین افزایش گازهای گلخانه‌ای خصوصاً در اکسید کربن ورودی به سیستم اقلیمی کره‌ی زمین است. این مطالعه‌ی آماری نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌هایی را که با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جوی و مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوی - اقیانوسی در خصوص افزایش دمای تبریز در صورت دوبرابر شدن دی اکسید کربن جو انجام گرفته است، مورد تأیید قرار داد. نتیجه‌ی مشترک مطالعه‌ی مذکور با نتایج مطالعاتی که در مورد دمای سالانه‌ی ایستگاه تبریز با استفاده از مدل‌های گردش عمومی به دست آمده است (خورشیددوست و قویدل رحیمی، 1385 : 11؛ قویدل رحیمی، 1385 : 9)، افزایش اثر گرمایش

جهانی از سال ۱۹۹۰ به بعد است که خود نشانگر تأثیر غیر قابل انکار پدیده‌ی آغاز سرد بر دمای (اقلیم) تبریز است و با توجه به این که اقلیم متأثر از آغاز سرد، در گروه آب و هوای رو به تغییر طبقه‌بندی می‌شوند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که تغییر اقلیم جهانی بر اقلیم تبریز تأثیرگذار بوده و حداقل عنصر دما را دچار یک سری تغییرات کرده است. در سال‌های آینده نتایج این تحقیق این نظریه را که گرمایش سیاره‌ی زمین یک پدیده و فرآیند همه‌جایی و فراگیر است تأیید می‌کند. امید است که با مطالعه نواحی مختلف ایران به آگاهی کامل درباره‌ی هماهنگی تغییرات اقلیمی کشور با روند تغییرات جهانی پی ببریم.



منابع و مأخذ

- ۱- خسروی، محمود، ناصر جاودانی خلیفه و سهراب محمدنیا قرانی (۱۳۸۲): «بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با نوسانات دمای کره زمین». مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان، ۲۹ مهر تا اول آبان ۱۳۸۲.
- ۲- خورشیددوست، علی و یوسف قویدل‌رحیمی (۱۳۸۳): «مقدمه‌ای بر اصول فلسفی، نظریه‌ها و مفاهیم نوین آب و هواشناسی». فضای جغرافیایی ۱۲.
- ۳- خورشیددوست، علی و یوسف قویدل‌رحیمی (۱۳۸۵): «تشبیه‌سازی تغییرات دما و بارش تبریز در شرایط دو برابر شدن CO_2 جو با استفاده از مدل $GFDL$ ». پذیرفته شده در مجله‌ی محیط‌شناسی دانشگاه تهران. ۱۴ صفحه.
- ۴- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۵ الف): «بررسی رابطه تغییرات بارش سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمای کره‌ی زمین و شبیه‌سازی عددی آن با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی». پذیرفته شده در مجله‌ی علوم انسانی مدرس. ۱۸ صفحه.
- ۵- قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۵ ب): «ارزیابی حساسیت‌پذیری دما و بارش تبریز به افزایش دی-اکسید کربن جو با استفاده از مدل‌های گردش جهانی پیوندی جوی - اقیانوسی». پذیرفته شده در مجله‌ی علوم انسانی مدرس، ۱۶ صفحه.
- ۶- منهج، باقر (۱۳۷۷): «مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی». چاپ اول. انتشارات مرکز نشر پروفیسور حسایی. تهران.
- 7- Alijani, B (1997) Some statistical characteristics of temperature variations in Iran. Journal of Researches in Geography, 31:24-33.
- 8- Brayson, R. A (1997) The paradigm of climatology: an essay. Bul.Amer.Meteor. Soc., 73: 449-465.
- 9- Campbell, A (2005) Statistical modeling in nonlinear systems, Journal of climate, 16: 3388-3399.
- 10- Coulibaly, P.,Yonas, D., and Francois, A. (2005) Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks, Journal of Hydrometeorology; 6: 483-496.
- 11- Domroes, M. and El-Tantawi,A (2005) Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt. International journal of climatology, 25:51-63.
- 12- Gutierrez, R (2006) Optimal nonlinear models from empirical time series: an application to climate, International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 16(4): 1941-1952.
- 13- Haider, A (2004) Application of neural network principal components to climate data, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 21: 149-158.
- 14- Imran, M., Muhammad, R. K., and Ajith, A (2005) An ensemble of neural networks for weather forecasting, Neural Computing & Applications, 13: 112-122.
- 15- Intergovernmental Panel on Climate Change(IPCC)(2001) Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge.

- 16- Linker, R. and Seginer, I. (2004) Greenhouse temperature modeling: a comparison between sigmoid neural networks and hybrid models, *Mathematics and Computers in Simulation*, 65: 19–29.
- 17- Pasini, A., Lore, M., and Ameli, F. (2005) Neural network modelling for the analysis of forcings/temperatures relationships at different scales in the climate system, *Ecological Modeling*, in press.
- 18- Peterson, A. S. (2000) Philosophy of climate science. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 81: 256-270.
- 19- Ramirez, M. C. V., Velho, H. F., and Ferreira, N. J. (2005) Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region, *Journal of Hydrology*, 301: 146–162.
- 20- Shen, S. (2006) Statistical Procedures for Estimating and Detecting Climate Changes, *Advances in Atmospheric Sciences*, 23(1): 61-68.
- 21- Wu, A., Shabbar, A. (2005) The nonlinear patterns of North American winter temperature and precipitation associated with ENSO, *Journal of Climate*, 18: 1736-1752.
- 22- Youn, Y. H. (2005) The climate variabilities of air temperature around the Korean Peninsula, *Advances in Atmospheric sciences*, 22: 575–584.

