

برآورد متوسط بارش سالانه استان خراسان رضوی با استفاده از مختصات مکانی

مهروز نورعلی^{۱*}، بیژن قهرمان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۰

چکیده

پیش‌بینی بارش سالانه اهمیت فراوانی برای مدیریت منابع آب و طرح الگوی کشت دارد. به‌منظور برآورد بارش در محل‌های فاقد اندازه‌گیری می‌توان از روش تخمین کلاسیک، روش‌های زمین‌آماری، روش رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی - کریجینگ استفاده کرد. در این تحقیق متغیرهای ورودی غیراقليمی از قبیل مختصات جغرافیایی و ارتفاع و میانگین بارش سالانه ۴۷ ایستگاه (مطابق با ۲۵ سال دوره آماری از ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰) در استان خراسان رضوی استفاده شد. بالاترین همبستگی بین متوسط بارش سالانه (به‌عنوان متغیر وابسته) و سه متغیر ارتفاع و مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها (به‌عنوان متغیرهای مستقل) بود. نتایج نشان داد که به‌کارگیری ارتفاع تأثیری در نتایج پیش‌بینی حاصل از روش IDW ندارد. مقدار دامنه تأثیر در روش‌های SK و OK برابر ۳۰/۲ کیلومتر بود در صورتی که در روش کوکریجینگ معمولی (OCK) به ۴۰ کیلومتر افزایش یافت که وابستگی بالاتر بارش به ارتفاع را در مفهوم مکانی تأیید می‌کند. پارامترهای سقف، اثر قطعه‌ای، دامنه تأثیر و اثر قطعه‌ای نسبی مربوط به مدل نیم تغییرنا برای سال‌های مختلف کاملاً متفاوت بودند که الگوی فضایی و زمانی بارش در سطح مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بهترین نتایج مربوط به RK و SKV بودند. ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در این مطالعه از نوع پرسپترون چند لایه با توابع انتقال تانژانت سیگموئید و خطی بود. پس از طراحی و آزمون شبکه‌های عصبی با ورودی‌های مختلف، شبکه عصبی بهینه با سه ورودی طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع در هر ایستگاه و با ساختار ۱-۶-۳ و با تکنیک یادگیری مارکوات-لونیبرگ انتخاب گردید. بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین میزان خطا مربوط به روش شبکه عصبی مصنوعی بود. بنابراین آن به‌عنوان بهترین روش در این مطالعه انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: بارش، شبکه عصبی مصنوعی، پرسپترون چندلایه، درون‌یابی، کوکریجینگ معمولی

مقدمه

بارش سالانه اهمیت فراوانی در مدیریت منابع آب و طرح الگوی کشت دارد (Valipour, 2012). تعیین توزیع مکانی بارش برای اجرای طرح‌های مطالعات منابع آب، خشکسالی، طرح‌های جامع کشاورزی، محیط زیست، آبخیزداری و طرح‌های آمایش سرزمین ضروری می‌باشد (مهدوی، ۱۳۷). روش‌های مختلفی برای تخمین مقدار بارش در نقطه نامعلوم وجود دارد. یکی از روش‌های برآورد بارش، روش درون‌یابی است که به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (Tssung, 2004). در بسیاری از مطالعات به دلیل نبود پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه‌ای باران، برآورد بارش منطقه‌ای و یا تخمین بارش در نقاط مابین ایستگاه‌ها امری ضروری است. برای این منظور روش‌های گوناگونی در برآورد توزیع مکانی فراسنج‌های هواشناسی وجود دارد. روش‌های آمار کلاسیک از معمول‌ترین این روش‌ها به شمار می‌رود. این روش‌ها فاقد بعد مکانی هستند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش عکس فاصله (IDW) اشاره نمود. فاصله ایستگاه‌ها برای وزن دهی روش IDW به کار می‌

برنامه‌ریزی، توسعه، مدیریت و بهره‌برداری بهینه از سیستم‌های منابع آب به اطلاعات متنوع و متعددی در زمینه‌های هواشناسی، هیدرولوژی، اقتصادی و اجتماعی و غیره نیازمند می‌باشد. در این میان ریزش‌های جوی خصوصاً بارندگی از مهم‌ترین فرایندهای چرخه هیدرولوژی بوده که تنها در صورت وقوع آن فرایندهایی نظیر سیلاب، فرسایش، رسوبگذاری، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و غیره به‌وقوع می‌پیوندد. بارندگی از بیش‌ترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار بوده و کمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره مورد توجه محققین مختلف بوده است (پولادی، ۱۳۸۱). کفایت بارش سالانه عامل مهمی برای زمین‌های تحت کشت دیم و مدیریت آبیاری تکمیلی می‌باشد. بنابراین توجه به بارش سالانه اثر مهمی بر مدیریت آب در کشاورزی در دوره‌های طولانی مدت دارد و برآورد

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mahrouznourali@yahoo.com)

روند. در حالی که در روش اصلاح شده وزن‌دهی عکس فاصله^۱ (MIDW) فاکتورهایی مانند اختلاف ارتفاع می‌توانند به عنوان وزن به کار روند. ترتیب و چگونگی به کارگیری متغیرهای فاصله و اختلاف ارتفاع در روش MIDW در مطالعات مختلف متفاوت است چنانچه لو از نسبت فاصله به اختلاف ارتفاع و چانگ و همکاران از عکس حاصلضرب این دو پارامتر به عنوان وزن در روش MIDW استفاده کردند (Chang et al, 2005; Lo, 1992). روش دیگر برآورد بارش روش‌های زمین آماری و به ویژه کریجینگ است. در این روش‌ها افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار گرفته و امروزه در زمینه‌های گسترده و گوناگونی کاربرد دارد. ویژگی کریجینگ در آن است که در آن وزن آماری نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شود که واریانس تخمین مینیمم گردد (مدنی، ۱۳۷۳). استفاده از کریجینگ در برآورد توزیع بارش سالانه (مثلاً توسط Tabios and Salas, 1985؛ در شمال ایالات متحده آمریکا برای ۲۹ ایستگاه باران سنجی) و برای پهنه بندی بارش سالانه (مثلاً توسط مهدی زاده و همکاران، ۱۳۸۵، در حوضه دریاچه ارومیه) متداول بوده و در برخی مواقع نسبت به روش‌های کلاسیک برتر است. همواره بین دقت مدل و سهولت استفاده از آن تقابل وجود دارد. استفاده از مدل‌هایی با ورودی‌های کم تر آسان تر بوده ولی عموماً دقت مدل‌هایی با ورودی‌های بیش تر بالاتر است. اضافه کردن متغیرهای بیش تر لزوماً می‌بایست با وجود همبستگی قوی آن‌ها با متغیر تحت بررسی توأم باشد. به طور مشخص در مورد بارندگی می‌توان به ارتفاع اشاره کرد که از دیرباز این باور در مورد آن وجود داشته است (مثلاً Smith, 1979; Spreen, 1947). بنابراین عده‌ای از محققان از عامل ارتفاع در روش‌های زمین آمار (که در شکل کلاسیک آن تنها از مختصات مکانی طول و عرض جغرافیایی استفاده می‌شود) نیز بهره جسته‌اند (Martinez-cob, 1996; Prudhomme and Goovaerts, 2000; Duncan, 1999). با این حال با توجه به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، استفاده از متغیرهای کمکی بیش تر در برآورد باران متداول است. مثلاً کراوچنکو و همکاران از متغیرهای کمکی ارتفاع، شیب و تابش به منظور تخمین میانگین بارش سالانه در یومینگ با استفاده از روش‌های زمین آمار استفاده کرده و نشان دادند که با به کارگیری متغیر ارتفاع مقدار واریانس کریجینگ ۳۰ تا ۴۰ درصد و در قسمت‌های مختلف سطح مورد مطالعه تا حداکثر ۷۰ درصد کاهش یافت (Kravchenko et al, 1996). استفاده از متغیر(های) کمکی در کریجینگ با نگرش‌های مختلفی انجام می‌شود که از آن جمله کوکریجینگ و کریجینگ با روند بیرونی است. مثلاً پارادو-ایگاز کویزا از روش‌های کلاسیک و زمین آمار و از جمله کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ با متغیر

کمکی ارتفاع به منظور تخمین میانگین متوسط بارش سالانه در حوضه گادال هورس در جنوب اسپانیا پرداخت و نشان داد که کریجینگ با روند خارجی بیش ترین نتایج منطقی را در رابطه با اعتبارسنجی متقاطع داد (Parado-Iguzquiza, 1998). رگرسیون خطی چندمتغیره روش دیگری برای تخمین تغییر پذیری مکانی آب و هوایی است. استفاده از این روش برای تخمین بارش معمول بوده است (مثلاً Daly et al, 1994 در ایالات متحده). در رگرسیون خطی چندمتغیره می‌توان از متغیرهای غیراقليمی (ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی و غیره) به عنوان داده‌های ورودی استفاده کرد. مثلاً دیسکین از متغیرهای غیراقليمی عرض جغرافیایی، ارتفاع و فاصله شرقی از دریا و با استفاده از تجزیه و تحلیل گام به گام رگرسیون خطی چندگانه به مطالعه فاکتورهای مؤثر بر میانگین بارش سالانه در فلسطین اشغالی پرداخت (Diskin, 1970). همچنین نویسندگان دیگر از متغیرهای توپوگرافی از قبیل طول و عرض جغرافیایی، شیب، جهت، متغیرهای اقلیمی و تابش به منظور تخمین بارش با استفاده از روش رگرسیون پرداختند (Ninyerola et al, 1998; Basist et al, 1994).

(Weisse and Bois, 2001; Wolting et al, 2000; al, 2000).

مدل‌های رگرسیون چندمتغیره و مدل‌های زمین آمار در حقیقت پارامترها را به شکل خطی وارد فرایندهای تصمیم‌گیری نموده که در اغلب موارد نمی‌تواند به خوبی مسایل پیچیده اقلیمی را تحلیل نماید و ضروری است مدل‌هایی با کارایی بیش تر به منظور پیش‌بینی پدیده‌های غیر خطی و پیچیده معرفی شوند (Kim and Voldes, 2003).

از جمله این مدل‌ها مدل شبکه عصبی مصنوعی است. عمل یک شبکه عصبی این است که وقتی یک الگوی ورودی به آن ارائه می‌شود یک الگوی خروجی تولید می‌کند (پیکتن، ۱۳۸۸). با توجه به غیرخطی بودن پدیده بارش، شبکه عصبی مصنوعی روش مناسبی برای برآورد بارش می‌باشد. این مدل با توجه به ارتباط غیر خطی پیچیده بین متغیرهای ورودی و خروجی مسائل را حل می‌کند (Luk et al, 2000; French et al, 1992). در مورد کاربرد شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش مطالعات مختلفی انجام شد (مثلاً Luc et al, 2001). در این مطالعات به طور عمده از متغیرهای اقلیمی به عنوان داده‌های ورودی استفاده گردید. مثلاً گادگی و همکاران از متغیرهای ورودی میانگین دما، رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد، میانگین تابش (ساعت در روز) و مقادیر داده بارش و هفت مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بارش ماهانه یکی از شهرهای بزرگ هند (بنگالور) استفاده کرد و میانگین شبکه عصبی جمعی^۲ (ENN) به عنوان بهترین روش شناخته شد (Gadgay et al, 2012). مطالعات

۱- ارزیابی به‌کارگیری سه متغیر غیراقليمی (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع) در دقت برآورد متوسط بارش سالانه توسط روش‌های مختلف درون‌یابی و همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه آن‌ها با روش رگرسیون خطی در سطح استان خراسان رضوی
 ۲- تعیین مناسب‌ترین روش‌ها در برآورد متوسط بارش سالانه استان خراسان رضوی

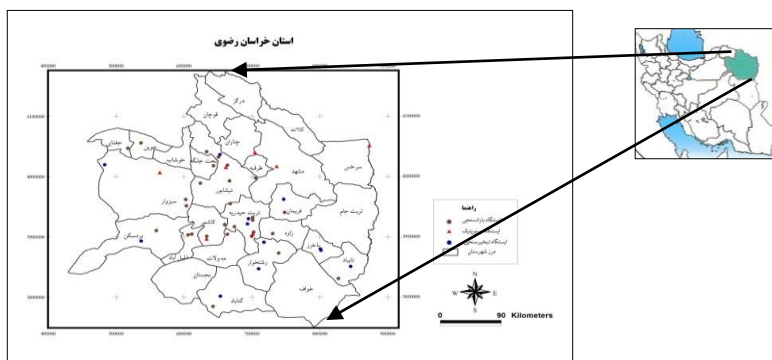
مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی به مساحت ۱۱۷۴۰۵/۸ کیلومتر مربع در شمال شرق ایران بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. این استان با کشور ترکمنستان ۵۳۱/۶ کیلومتر و با کشور افغانستان ۳۰۲ کیلومتر مرز مشترک داشته و از مناطق خشک و نیمه خشک کشور به شمار می‌آید. ایستگاه‌های مورد مطالعه در این استان شامل ۲۸ ایستگاه باران سنجی، ۱۲ ایستگاه تبخیرسنجی و ۷ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری ۲۰ سال و بیش‌تر است که آمار بارش سالانه موردنیاز از اداره کل هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان دریافت گردید. در نهایت ۲۵ سال دوره آماری مشترک از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ برای مطالعه انتخاب گردید. دلیل انتخاب دوره آماری ۲۵ ساله این است که اولاً داده‌های موجود در سال‌های اخیر با توجه به افزایش اطلاعات دیده‌بان‌ها و گسترش تکنولوژی ثبت داده‌ها از دقت و اعتبار بیش‌تری برخوردارند و ثانیاً به دلیل خلا کم‌تر اطلاعات و آمار هواشناسی در این بازه زمانی میزان داده‌های بازسازی شده کم‌تر است. داده‌های مفقود (۸/۵ درصد) با کاربرد ایستگاه مینا و ایستگاه‌های مجاور و از روش تفاضل‌ها و نسبت‌ها بازسازی شدند. سپس همگنی داده‌ها با کاربرد آزمون همگنی ران تست در نرم افزار آماری Minitab مورد بررسی قرار گرفت. تراکم ایستگاه‌ها در نواحی مرکزی استان بیش‌تر است (شکل ۱). همچنین نرمال بودن داده‌ها بررسی و از تبدیل‌های مناسب برای این منظور استفاده شد.

مختلفی به‌منظور مقایسه روش شبکه‌های عصبی و روش رگرسیون خطی در برآورد بارش انجام شد که به‌طور عمده به برتری شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل رگرسیون خطی در پیش‌بینی بارش اشاره داشتند (مثلاً Ramirez et al, 2005؛ کریمی گوگری و اسلامی، ۱۳۸۷). اما همیشه این برتری وجود ندارد. چنانچه آزادی و سپاسخواه از داده‌های ورودی میانگین طولانی مدت بارش در هر ایستگاه، تعداد روزهای لازم برای ریزش ۴۷/۵ میلی‌متر بارش از اول پاییز (47.5) برای پیش‌بینی بارش سالانه استان‌های غربی ایران استفاده کرده و نشان دادند که استفاده از شبکه عصبی تأثیر ویژه‌ای در نتایج پیش‌بینی بارش سالانه در مقایسه با معادله رگرسیون خطی نداشت و علت آن را عدم استفاده از متغیرهای اقلیمی مانند رطوبت، سرعت باد و غیره ذکر کردند (Azadi and Sepaskhah, 2012).

ناماسیوایام و والدمار نتیجه گرفتند که وقتی بین پارامترهای مورد بررسی رابطه غیرخطی آشکاری وجود نداشته باشد شبکه عصبی نمی‌تواند در مقایسه با رگرسیون نتیجه بهتری ارائه دهد (Namasivayam and Waldemar, 2001).

روش دیگر برآورد بارش روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی - کریجینگ (ANN-K) است. دمیانو و همکاران و دی‌پیازا و همکاران دو مرحله روش درون‌یابی را کریجینگ باقی‌مانده شبکه عصبی نامیدند. اولین مرحله تخمین ساختار مکانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مرحله دوم تجزیه و تحلیل باقی‌مانده با استفاده از روش زمین‌آمار است. تخمین نهایی شامل مجموع تخمین‌های شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ معمولی (OK) تخمین‌های باقی‌مانده می‌باشد (Di Piazza et al, 2011; Demyanov et al, 1998). بطور کلی پیش‌بینی بارش با متغیرهای ورودی مختلف و با استفاده از روش‌های مختلف انجام می‌شود. هنوز نمی‌توان به‌طور دقیق مشخص کرد که در یک شرایط مشخص استفاده از کدام متغیرهای کمکی مناسب است. همچنین شیوه به‌کارگیری متغیر(های) کمکی در روش‌های برآورد و درون‌یابی (مثلاً IDW و کریجینگ) نیز به‌خوبی مستند نشده است. ترکیب این روش‌ها با ANN ابهام‌بعدی است. هدف از این تحقیق عبارتند از:



شکل ۱- موقعیت استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی

فاصله هردو به صورت معکوس است معادلات MIDW به صورت زیر می باشند که فاکتور بی بعد به صورت یکپارچه (معادله ۳) و یا مجزا (معادله ۴) وجود دارند.

$$P_X = \sum_{i=1}^N W_{d_{Pi}, h_{Pi}} * P_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{Pi}^m} * \frac{1}{h_{Pi}^n} * P_i \quad m \geq 0, n \geq 0 \quad (3)$$

$$m \geq 0, n \geq 0 \quad P_X = \sum_{i=1}^N W_{d_{Pi}, h_{Pi}} * P_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{Pi}^m} * \frac{1}{h_{Pi}^n} * P_i \quad (4)$$

که P_X بارش تخمینی در ایستگاه مینا، P_i بارش مشاهده‌ای در ایستگاه i ام، h_{Pi} اختلاف ارتفاع بین هر ایستگاه و ایستگاه مینا، d_{Pi} فاصله بین هر ایستگاه از ایستگاه مینا، m و n توان پارامترهای فاصله و اختلاف ارتفاع و N تعداد نقاط همسایگی می باشند. در روش MIDW ابتدا داده‌ها استاندارد شدند. سپس با در نظر گرفتن تأثیر مستقیم یا معکوس اختلاف ارتفاع و فاصله با توجه به معادلات ۳ و ۴ بهترین مقدار پارامترهای توان فاصله (m) و توان ارتفاع (n) با در نظر گرفتن حداقل خطای بین مقدار بارندگی مشاهده‌ای و تخمینی و با آزمون و خطا در نرم افزار Matlab 7 تعیین شدند. بدین منظور از شاخص‌های آماری (R ; MRE, MAE, RMSE) استفاده شد (روابط ۵ تا ۸).

(۵)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{est} - y_{act})^2}{n}}$$

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{act} - y_{est}}{y_{act}} \right| \quad (6)$$

(۷)

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

$$Z_{RK}^*(x) = \sum_{j=0}^p c_j \cdot v_j(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x) \cdot r(x_i) \quad (8)$$

که در روابط فوق y_{act} مقادیر مشاهده شده (واقعی)، \bar{y}_{act} میانگین مقادیر مشاهده شده (واقعی)، y_{est} مقادیر تخمینی، \bar{y}_{est} میانگین مقادیر تخمینی و n تعداد داده‌ها می باشد. بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطا بهترین مقدار پارامترها را معرفی می کند.

روش‌های زمین آمار

برای تعیین مؤثرترین عوامل بر بارش از روش بهترین زیرمجموعه در نرم افزار Minitab استفاده شد. در این روش کلیه رگرسیون‌های ممکن با متغیرهای مستقل محاسبه شده و با مقایسه مقادیر ضرایب تعیین گزینه‌های مختلف، مدلی با حداقل متغیر و ضریب تعیین نسبتاً بالا انتخاب می شود (مصدقی، ۱۳۹۰). با استفاده از رابطه ۱ داده‌ها استاندارد شدند. هدف از استاندارد کردن، هم ارزش کردن تمامی عناصر موجود در یک الگو می باشد (Maier and Dandy, 2000).

$$X_n = 0.1 + 0.8 * \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right) \quad (1)$$

که در آن X_n معرف داده استاندارد، X معرف داده مشاهده‌ای و X_{min} و X_{max} به ترتیب معرف داده‌های مشاهده‌ای حداکثر و حداقل می باشند. این رابطه داده‌ها را در بازه [۰/۹ و ۰/۱] تبدیل می کند.

روش‌های برآورد بارش

در این جا از چهار روش تخمین کلاسیک، روش‌های زمین آماری، روش رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی- کریجینگ (ANN-K) استفاده گردید.

روش تخمین کلاسیک

در روش کلاسیک وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) نیز همچون روش کریجینگ، مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که نمونه برداری نشده باشد، از روی نقاط مجاورش تخمین می شود. در این روش وزن‌ها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به موقعیت و چگونگی پراکندگی نقاط حول نقطه تخمین، تعیین می - شوند. بدین ترتیب که به نقاط نزدیک تر، وزنی بیش تر اختصاص داده می شود و نقاط با فاصله یکسان، وزن یکسانی را دریافت می کنند در واقع نقاط با فاصله کم تر اثری بیش تر در تخمین می گذارند. معادله IDW به صورت رابطه ۲ است:

$$P_X = \sum_{i=1}^N W_{d_{Pi}, h_{Pi}} * P_i = \sum_{i=1}^N \frac{1}{d_{Pi}^m} * P_i \quad (2)$$

در این تحقیق از پارامترهای فاصله و اختلاف ارتفاع به دو صورت مستقیم یا معکوس استفاده شد. در حالتی که تأثیر اختلاف ارتفاع و

ساده (SK) تخمین زد و سپس آن را به مقدار روند در نقطه تخمین افزود (حسینی پاک، ۱۳۸۹). بنابراین روش تخمین SKV به صورت رابطه ۱۱ می باشد.

$$Z^*_{SKV}(x) = f(H(x)) + \sum_{i=1}^n w_i(x)r(x_i) \quad (11)$$

که $f(H(x))$ تخمین رگرسیون و $r(x)$ مقادیر باقیمانده و $w_i(x)$ وزن‌های ایجاد شده هستند که با استفاده از روش تخمین SK بدست می‌آیند. در روش تخمین رگرسیون-کریجینگ (RK)، ابتدا معادله روند به دست می‌آید و با کسر کردن آن از مقادیر بارش، مقادیر باقی-مانده به دست می‌آید. باقی‌مانده‌های $r(x)$ یا روش کریجینگ معمولی (OK) تخمین زده می‌شوند. اگر c_j ضرایب مدل روند، $v_j(x)$ پیش‌بینی کننده z ام در موقعیت x و p تعداد پیش‌بینی کننده‌ها باشد، $w_i(x)$ وزن‌های تعیین شده به وسیله حل سیستم OK با باقی‌مانده‌های معادله رگرسیون ($r(x_i)$) برای n نقطه نمونه‌گیری می‌باشند. در این صورت $Z^*_{RK}(x)$ از رابطه ۱۲ بدست می‌آید:

$$Z^*_{RK}(x) = \sum_{j=0}^p c_j.v_j(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x).r(x_i) \quad v_0(x) = 1 \quad (12)$$

در مورد کاربرد روش رگرسیون-کریجینگ (RK) انتخاب متغیرهای مستقل در مدل روند باید بر پایه بیش‌ترین فاکتورهای مشخص که روی بارندگی مؤثرند می‌باشد. بدین منظور از سه متغیر سهل الوصول ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به‌طور جداگانه یا در ترکیب با یکدیگر به‌عنوان پیش‌بینی کننده استفاده شد که از نقشه رستری DEM به دست می‌آید. به منظور ارزیابی روش‌های زمین‌آمار پس از انجام اعتبارسنجی متقاطع از معیارهای (RMSE)، (R)، (MAE) و (MRE) استفاده گردید.

رگرسیون خطی چندگانه (MLR)

MLR مدل رگرسیون خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته است که از رابطه ۱۳ به دست می‌آید.

$$Z^*(x) = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k.v_k(x) \quad (13)$$

$Z^*(x)$ متغیر وابسته در موقعیت x ، β_0 عرض از مبدأ، β_1 تا β_n ضرایب رگرسیون متغیر مستقل، v_1 تا v_n متغیرهای مستقل می‌باشند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

از محیط نرم افزار 7 Matlab برای طراحی و شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی استفاده گردید. برای پیش‌بینی بارش سالانه ایستگاه‌ها از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه پیش‌خور با تکنیک یادگیری مارکوات-لونبرگ (LM) و تنظیم بیز (BR) به‌طور مجزا استفاده شد. روش آموزش شبکه، پس انتشار خطایا قانون دلتای تعمیم یافته می-

در زمین‌آمار نمونه‌ها به حالت مستقل از یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شوند بلکه نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی به‌طور فضایی به هم وابستگی دارند. این وابستگی بین نمونه‌ها را می‌توان به صورت مدل ریاضی تحت عنوان نیم تغییرنا ارائه کرد (مدنی، ۱۳۷۳). برای بررسی تغییرات مکانی متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها در یک دوره آماری (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰) نیم تغییرنا‌ی تجربی محاسبه و بهترین مدل بر آن برازش شد. سپس نیم تغییرنا‌های متعلق به جهات مختلف با هم مقایسه شدند. همچنین با برازش مدل نیم تغییرنا‌ی مناسب بر داده‌های بارش هر سال در یک دوره آماری (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰) مقدار سقف، اثر قطعه‌ای و اثر قطعه‌ای نسبی مربوط به هر نیم تغییرنا به دست آمد. به‌منظور برازش مدل به تغییرنا از روش جک نایف استفاده شد. برای این منظور در هر دفعه یکی از نقاط با داده معلوم حذف شده و سپس مقدار آن به روش کریجینگ تخمین زده می‌شود. خطای تخمین‌های کریجینگ باید میانگین صفر داشته و با خطاهای تخمینی تئوریک برابر باشد (حسینی پاک، ۱۳۸۹). تخمینگر کریجینگ یک تخمینگر خطی به شکل رابطه ۹ است:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (10)$$

که در آن N تعداد داده‌ها، $z^*(x_0)$ مشخصه تخمین زده شده در نقطه x_0 ، $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده عددی مشخصه مورد بررسی در نقطه x_i و λ_i وزن آماری است که به نمونه $z(x_i)$ در نقطه x_i اختصاص می‌یابد. برای ناریب بودن تخمین، مجموع ضرایب آماری باید برابر واحد باشد (رابطه ۱۰). این شرط در واقع شرط لازم برای تخمین گر کریجینگ است (مدنی، ۱۳۷۳). از الگوریتم‌های تک متغیره که فقط از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌کنند روش کریجینگ ساده (SK) و روش کریجینگ معمولی (OK) است. با درنظر گرفتن متغیرهای ثانوی در تخمین بارش سه روش الگوریتم چندمتغیره کوکریجینگ معمولی (OCK)، کریجینگ ساده با میانگین‌های محلی متفاوت (SKV) و رگرسیون-کریجینگ (RK) استفاده گردید. در کوکریجینگ مشخصه جدیدی به نام نیم تغییرنا‌ی عرضی تعریف می‌شود (مدنی، ۱۳۷۳). در روش کوکریجینگ معمولی (OCK) از متغیر ثانوی ارتفاع ایستگاه‌ها استفاده شد. در روش SKV ابتدا با استفاده از نقشه ارتفاعی DEM و با استفاده از رابطه بین بارندگی و ارتفاع و تکنیک محاسبات رستری در محیط ArcGIS 9.3، نقشه رستری متوسط بارش سالانه منطقه به-دست می‌آید. پس از محاسبه معادله رگرسیونی ارتفاع با متوسط بارش سالانه به‌عنوان مدل روند خارجی، با کم کردن روند از مقادیر بارش مشاهده‌ای در هر ایستگاه، مقدار پس‌ماند محاسبه می‌شود. در این حالت می‌توان پس‌ماند نقطه مجهول را با استفاده از روش کریجینگ

(۶۹۰ میلی‌متر) می‌باشد و کم‌ترین مقدار متوسط بارش سالانه ایستگاه‌های استان در یک دوره آماری (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰) مربوط به سال ۱۳۸۸-۱۳۸۷ است که در این سال کم‌ترین مقدار متوسط بارش سالانه متعلق به ایستگاه شریف‌آباد شهرستان بردسکن (۴۶/۵ میلی‌متر) می‌باشد. ایستگاه‌های بارانسنجی بکاول تربت حیدریه، شریف‌آباد بردسکن و فدیبه تربت حیدریه با مقدار ضریب تغییرات ۳۹/۶۱، ۳۹/۱۵ و ۳۸/۵۸ درصد به ترتیب بیش‌ترین مقدار ضریب تغییرات را دارند که نشان‌دهنده نامنظم بودن رژیم بارندگی در این ایستگاه‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه می‌باشد. به دلیل عدم تطابق توزیع آماری داده بارش سالانه با توزیع نرمال در سطح اطمینان ۹۵٪، نرمال سازی داده‌ها با استفاده از تبدیل لگاریتم طبیعی در نرم افزار آماری Minitab انجام شد (جدول ۱). میانه و میانگین سالانه قبل از تبدیل لگاریتمی متفاوت و ضریب چولگی بالا بود اما بعد از تبدیل لگاریتمی داده مقادیر میانه و میانگین مشابه و ضریب چولگی پایین‌تر و نزدیک به صفر است (جدول ۱).

بررسی تغییرات متوسط بارش سالانه با متغیرهای مختصات مکانی

بررسی متوسط بارش سالانه ایستگاه‌های استان در سال‌های مختلف آماری نشان داد که با تعیین مؤثرترین عوامل بر متوسط بارش متوسط سالانه ایستگاه‌ها، بیش‌ترین همبستگی متوسط بارش سالانه با ترکیب هر سه متغیر ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی به دست می‌آید و متوسط بارش سالانه با ارتفاع همبستگی خوبی را نشان می‌دهد. بین متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها و عرض جغرافیایی همبستگی قابل توجهی وجود ندارد (جدول ۲). جدول ۳ نتایج حاصل از بررسی روابط رگرسیونی متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها با متغیرهای مختصات مکانی را نشان می‌دهد. با بررسی جدول ۳ و پس از تجزیه و تحلیل واریانس رگرسیون و به علت مقدار ضریب تعیین کم و معنی دار نبودن ضرایب رگرسیون مشخص شد که رابطه خطی بین متوسط بارش سالانه (p) و طول جغرافیایی (x) وجود ندارد. همچنین رابطه رگرسیون چندگانه درجه یک بین متوسط بارش سالانه (p) با دو متغیر طول جغرافیایی (x) و عرض جغرافیایی (y) نیز وجود ندارد. همچنین با توجه به رابطه رگرسیون چندگانه درجه یک بین متوسط بارش سالانه (p) با سه متغیر طول جغرافیایی (x)، عرض جغرافیایی (y) و ارتفاع (h) و با بررسی اثرات همخطی چندگانه و مقدار فاکتور تورم واریانس مشخص شد تورم واریانس در مدل وجود ندارد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی

با آموزش شبکه‌های عصبی با ورودی‌های مختصات جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها شبکه‌های عصبی بهینه تعیین شدند. در بین

باشد. در این جا از شبکه دولایه با تابع انتقال تانژانت سیگموئید^۱ در لایه مخفی و تابع انتقال خطی^۲ در لایه خروجی استفاده شد. به‌منظور جلوگیری از مشکل بیش‌برازش و بهبود قدرت تعمیم‌دهی از روش منظم کردن استفاده گردید که شامل اصلاح توابع عملکرد می‌باشد (Demuth and Beal, 2002). با توجه به ترکیبات محتمل سه متغیر ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی، چندین شبکه عصبی ایجاد شد. در هر شبکه تعداد نرون در لایه مخفی بین مقادیر ۱ تا ۳۰ و با بهینه‌سازی تعیین شد. از مجموعه اطلاعات ورودی ۴۷ ایستگاه، به‌طور تصادفی ۶۰ درصد داده‌ها در مرحله آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها در مرحله ارزیابی و ۲۰ درصد در مرحله آزمایش تقسیم شدند. در طی آموزش، خطای بین خروجی هدف^۳ و واقعی اندازه‌گیری شده و هدف، کاهش این خطا یا تنظیم وزن‌هاست. آموزش زمانی که این خطا به حداقل مقدار خود برسد متوقف می‌شود. شبکه عصبی بهینه با توجه به حداقل شدن خطا و بالابودن ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده تعیین گردید. بدین منظور از شاخص‌های آماری (RMSE)، (R)، (MAE) و (MRE) استفاده شد.

روش ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی-کریجینگ (ANN-K):

در این روش اولین مرحله تخمین ساختار مکانی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مرحله دوم تجزیه و تحلیل باقی مانده شبکه عصبی با استفاده از روش کریجینگ معمولی (ok) است. تخمین نهایی به‌عنوان مجموعی از تخمین‌های شبکه عصبی مصنوعی و کریجینگ معمولی تخمین‌های باقی مانده می‌باشد.

نتایج و بحث

تحلیل آماری

آزمون همگنی نشان داد که کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی همگن می‌باشند. بیش‌ترین مقدار متوسط بارش سالانه در دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰ مربوط به ایستگاه غنچی شهرستان تربت حیدریه (۴۱۳/۴ میلی‌متر) و کم‌ترین مقدار مربوط به ایستگاه‌های گناباد و جنت آباد جنگل شهرستان رشتخوار (۱۴۷/۳ میلی‌متر) است. برای بدست آوردن روند تغییرات بارش سالانه استان در دوره آماری، از مقدار بارش سالانه ایستگاه‌ها میانگین گرفته شد. بیش‌ترین مقدار متوسط بارش سالانه ایستگاه‌های استان در دوره آماری مربوط به سال ۱۳۷۲-۱۳۷۱ بود (شکل ۲). در این سال بیش‌ترین مقدار متوسط بارش سالانه متعلق به ایستگاه بکاول شهرستان تربت حیدریه

۱ - tansig

۲ - purelin

۳ - target

ساختارهای مختلف شبکه‌های عصبی مصنوعی با ورودی‌های مختلف غیراقليمی، شبکه عصبی با سه ورودی طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع در هر ایستگاه و با ساختار ۱-۳-۳ و با تکنیک یادگیری مارکوات - لونیگ بهترین نتیجه را دارد. این شبکه دارای

جدول ۱- ویژگی آماری متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها بعد از تبدیل لگاریتم طبیعی

تعداد ایستگاه	میانگین	میان	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
۴۷	۲۳۰/۰۶	۲۱۴/۵	۴۱۳/۴	۱۴۷/۳	۶۴/۱۱	۱/۰۵	۰/۸
۴۷	۲/۳۵	۲/۳۳	۲/۱۷	۲/۶۲	۰/۱۱	۰/۴۷	-۲/۹E-۰۱

جدول ۲- تعیین موثرترین عوامل بر متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها (روش بهترین زیرمجموعه)

R-Sq	R-Sq(adj)	SSE	x	y	h
۵۸/۵	۵۷/۶	۴۱/۷۳۵	*		
۳/۸	۱/۷	۶۳/۵۷۸	*		
۶۴/۱	۶۲/۵	۳۹/۲۷۵	*	*	
۶۰/۹	۵۹/۱	۴۰/۹۹۶	*	*	*
۶۹/۵	۶۷/۴	۳۶/۶۲۸	*	*	*

R-Sq = ضریب تعیین؛ R-Sq(adj) = ضریب تعیین تعدیل شده؛ SSE = مجموع مربعات خطا؛ x = طول جغرافیایی؛ y = عرض جغرافیایی؛ h = ارتفاع.

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی روابط رگرسیونی متوسط بارش سالانه ایستگاه‌ها با متغیرهای مختصات مکانی

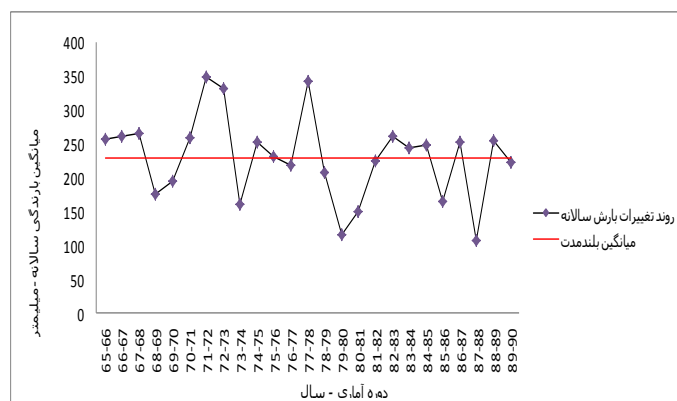
ضریب تعیین (درصد)	معادله	نمودار	متغیر مستقل	متغیر وابسته
۵۸/۵	$p = 33.5 + 0.152 h$	رگرسیون خطی	ارتفاع (h)	متوسط بارش سالانه
۷۳/۳	$p = 230.7 - 0.19 h + 0.00014 h^2$	چندجمله ای درجه دوم	ارتفاع (h)	(p)
۷۳/۸	$p = 183.313 - 0.009 h - 0.00005 h^2 + 0.0000001 h^3$	چندجمله ای درجه سوم	ارتفاع (h)	
۳/۸	$p = - 586 + 13.9 x$	رگرسیون خطی	طول جغرافیایی (x)	
۶۴/۱	$p = - 958 + 16.8 x + 0.154 h$	رگرسیون خطی چندگانه	طول جغرافیایی (x) و ارتفاع (h)	
۶/۳	$p = - 1402 + 17.3 x + 17.3 y$	رگرسیون خطی چندگانه	طول جغرافیایی (x) و عرض جغرافیایی (y)	
۶۰/۹	$p = - 537 + 15.9 y + 0.154 h$	رگرسیون خطی چندگانه	عرض جغرافیایی (y) و ارتفاع (h)	
۶۹/۵	$p = - 2160 + 21.8 x + 25.2 y + 0.158 h$	رگرسیون خطی چندگانه	طول جغرافیایی (x)، عرض جغرافیایی (y) و ارتفاع (h)	
۷۸/۵	$p = - 1570 + 16.0 x + 19.8 y + 0.25 h - 0.00025 h^2$	ترکیب خطی و غیرخطی	طول جغرافیایی (x)، عرض جغرافیایی (y) و ارتفاع (h)	

در اکثر ایستگاه‌ها بارش پیش‌بینی شده به واقعیت نزدیک شده‌اند (شکل ۳ الف). مطابق با جدول ۵ استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با داده‌های ورودی مانند مختصات جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه تأثیر ویژه‌ای روی نتایج پیش‌بینی متوسط بارش سالانه در مقایسه با نتایج حاصل از معادله رگرسیون خطی دارد (مثلاً EI-

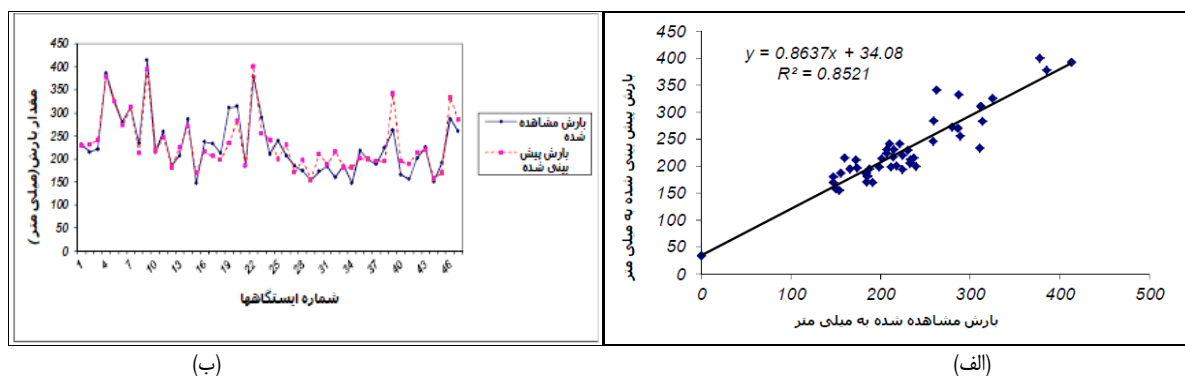
Ramirez et al., 2005; Shafie et al., 2011 و کریمی گوغری و اسلامی، ۱۳۸۷). در تحقیق انجام شده بین بارش و متغیرهای غیر-اقليمی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع رابطه خطی و غیرخطی وجود دارد (جدول ۳). چنانچه ضریب تعیین رابطه رگرسیون غیرخطی چندجمله ای درجه دوم) با متغیرهای بارش و ارتفاع برابر ۷۳/۳ و در

جغرافیایی و ارتفاع در هر ایستگاه بهترین نتیجه را دارد و این در مورد استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی هم صادق است به طوری که استفاده از سه متغیر ورودی طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع در مدل رگرسیون خطی نسبت به بقیه مدل‌های رگرسیون نتایج بهتری را نشان می‌دهد.

چند جمله ای درجه سوم $73/8$ می باشد. همچنین ضریب تعیین ترکیب خطی و غیرخطی بارش با ۳ متغیر طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع $78/5$ می باشد که از ضریب تعیین روابط رگرسیون خطی دیگر بیش تر است که منجر به برتری شبکه عصبی نسبت به روش رگرسیون خطی می شود (Namasivayam and Waldemar, 2001). به علاوه استفاده از شبکه عصبی با سه ورودی طول جغرافیایی، عرض



شکل ۲- متوسط بارش سالانه ایستگاه‌های استان خراسان رضوی در دوره آماری ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰



شکل ۳- (الف) مقایسه نتایج بارش مشاهده‌ای و پیش بینی شده (ب) رابطه رگرسیون خطی بین مقدار متوسط بارش سالانه مشاهده‌ای و پیش بینی شده در مدل شبکه عصبی (با ۳ ورودی و ۶ نرون در لایه مخفی)

جدول ۴- پارامترهای آماری برای ساختارهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی و با ورودی های متفاوت

MRE	MAE	R	RMSE	متغیر ورودی	نوع الگوریتم	ساختار شبکه عصبی
۰/۱	۲۰/۷۵	۰/۹	۲۷/۳۱	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع	TanLM	* ۳-۶-۱
۰/۱۱	۲۳/۷	۰/۸۸	۲۹/۵۴	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع	TanBr	۳-۵-۱
۰/۱۲	۲۵/۵۲	۰/۸۹	۳۱/۰۸	طول جغرافیایی، ارتفاع	TanLM	۲-۱۱-۱
۰/۱۱	۲۳/۸۷	۰/۸۷	۳۰/۹۸	طول جغرافیایی، ارتفاع	TanBr	* ۲-۱۰-۱
۰/۱۱	۲۵/۲۸	۰/۸۷	۳۱/۶	عرض جغرافیایی، ارتفاع	TanLM	* ۲-۶-۱
۰/۱۱	۲۴/۰۸	۰/۸۶	۳۲/۴	عرض جغرافیایی، ارتفاع	TanBr	۲-۸-۱
۰/۱	۲۱/۹۵	۰/۸۹	۲۹/۱	ارتفاع	TanLM	* ۱-۱۱-۱
۰/۱۰۵	۲۳/۱۸	۰/۸۸	۳۰/۵۸	ارتفاع	TanBr	۱-۱۱-۱

* ساختار انتخاب شده؛ TanLM = تانژانت سیگموئید با تکنیک یادگیری مارکوات - لوبنرگ؛ TanBr = تانژانت سیگموئید با تکنیک یادگیری تنظیم بیز

جدول ۵- مقایسه بین پارامترهای آماری برای مدل‌های مختلف رگرسیون و شبکه‌های عصبی بهینه با متغیرهای ورودی مختلف

متغیر ورودی	ساختار شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون	RMSE	R	MAE	MRE
طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع	TanLM ۳-۶-۱	۲۷/۳۱	۰/۹	۲۰/۷۵	۰/۱
	$p = -2160 + 21.8x + 25.2y + 0.158h$	۳۵/۲	-۰/۸۲	۲۸/۵۸	-۰/۱۳
طول جغرافیایی، ارتفاع	TanBr ۲-۱۰-۱	۳۰/۹۸	-۰/۸۷	۳۳/۸۷	-۰/۱۱
	$p = -958 + 16.8x + 0.154h$	۳۸/۰۲	۰/۸	۳۰/۸۲	-۰/۱۴
عرض جغرافیایی، ارتفاع	TanLM ۲-۶-۱	۳۱/۶	-۰/۸۷	۲۵/۲۸	-۰/۱۱
	$p = -537 + 15.9y + 0.154h$	۳۹/۶۸	-۰/۷۸	۲۹/۶۹	-۰/۱۳۵
ارتفاع	TanLM ۱-۱۱-۱	۲۹/۱	-۰/۸۹	۲۱/۹۵	-۰/۱
	$p = 33.5 + 0.152h$	۴۰/۸۴	-۰/۷۶	۲۹/۷۲	-۰/۱۴

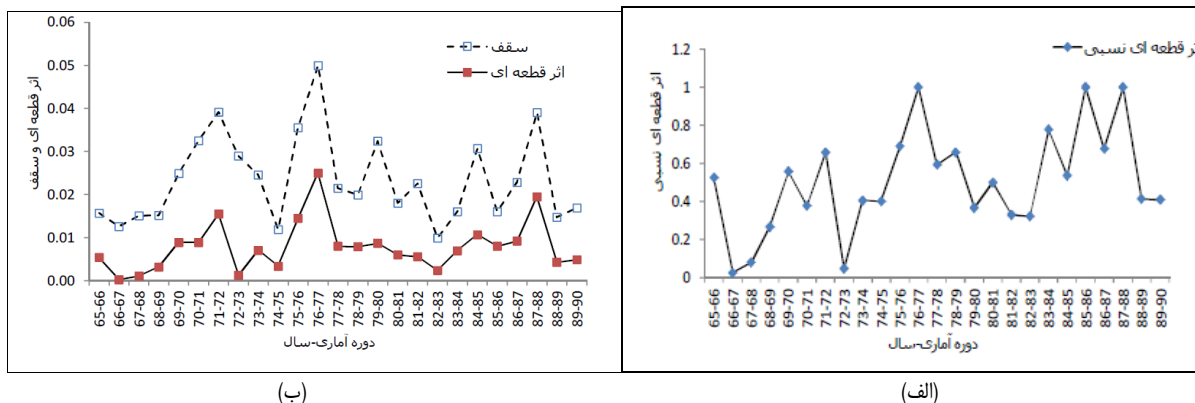
روش‌های زمین آمار و تخمین کلاسیک

مدل روند استفاده شده در روش‌های مختلف درون‌یابی، معادلات رگرسیون خطی متوسط بارش سالانه با متغیرهای طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع (جدول ۳) می‌باشد. بهترین مدل‌های برازش شده بر نیم تغییرنماهای بارندگی در روش‌های SK و OK و OCK مدل گوسی و بر نیم تغییرنماهای باقیمانده بارندگی در مدل‌های ANN-K و RK، SKV و Hole effect، دایره‌ای و می‌باشند. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (اثر قطعه‌ای نسبی) در روش‌های SK و OK برابر ۰/۳ و در روش OCK برابر ۰/۲۶ (کوچک‌تر از ۰/۵) می‌باشد که به عنوان ساختار فضایی قوی تلقی می‌شود (حسنی پاک، ۱۳۸۹). سهم مؤلفه ساختاردار مؤلفه تصادفی با به‌کارگیری متغیر ارتفاع در روش OCK افزایش یافته و ساختار فضایی قوی‌تر شده است. نتایج نشان داد که مقدار دامنه تأثیر در روش‌های SK و OK برابر ۳۰/۲ کیلومتر و در روش OCK برابر ۴۳ کیلومتر می‌باشد که بیانگر این است که با به‌کارگیری متغیر ارتفاع ساختار فضایی قوی‌تر فاصله زیادتری بین داده‌ها وجود دارد. مقادیر دامنه تأثیر و یا سقف نیم تغییرنماهای متعلق به جهات مختلف با هم برابر بود و لذا از نیم تغییرنمای همسانگرد استفاده شد. در این تحقیق مقادیر سقف، اثر قطعه‌ای و اثر قطعه‌ای نسبی مربوط به برازش مدل نیم تغییرنما بر داده‌های بارش هرسال در یک دوره آماری (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰) نیز به دست آمد (شکل ۴). مطابق با شکل ۴-الف مقدار سقف نیم تغییرنما که برابر با واریانس بارش هرسال در یک دوره آماری می‌باشد در سال‌های (۱۳۷۱ تا ۱۳۷۲)، (۱۳۷۶ تا ۱۳۷۷) و (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸) نسبت به بقیه سال‌ها بیش‌تر است. همچنین در این سال‌ها مقدار اثر قطعه‌ای هم نسبت به بقیه سال‌ها بیش‌تر است که نمایانگر این است که تغییرپذیری مکانی بارش در این سال‌ها در نقاط نزدیک به هم بیش‌تر است. به‌علاوه مطابق با شکل ۴-ب اثر قطعه‌ای نسبی در این سال‌ها و همچنین در سال‌های (۱۳۸۳ تا ۱۳۸۴) و (۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶) نسبت به بقیه سال‌ها بیش‌تر است که نشان می‌دهد قسمت عمده

تغییرپذیری مکانی بارش در این سال‌ها بعلاوه اثر قطعه‌ای است. همچنین نتایج حاصل از بررسی دامنه‌ها نشان داد که حداقل مقدار دامنه تأثیر مربوط به سال (۱۳۷۰ تا ۱۳۷۱) و برابر ۹/۴۵ کیلومتر می‌باشد که در این سال ساختار فضایی قوی‌تر فاصله کم‌تری بین داده‌ها وجود دارد. در سال (۱۳۶۸ تا ۱۳۶۹) مقدار دامنه تأثیر ۲۶/۹۳ کیلومتر، در سال‌های (۱۳۷۶ تا ۱۳۷۷)، (۱۳۸۵ تا ۱۳۸۶) و (۱۳۸۷ تا ۱۳۸۸) برابر ۲۸/۹ کیلومتر و در بقیه سال‌ها ۳۰/۲ کیلومتر می‌باشد. به منظور برآورد بارش در محل‌های فاقد اندازه‌گیری از روش‌های مختلفی چون روش تخمین کلاسیک، روش‌های زمین‌آمار، روش رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-کریجینگ (ANN-K) استفاده گردید. جدول ۶ نتایج حاصل از پیش‌بینی متوسط بارش سالانه توسط روش‌های مختلف میان‌یابی و شبکه‌های عصبی مصنوعی را توسط شاخص‌های آماری (RMSE، MAE، MRE و R) نشان می‌دهد. براساس جدول ۶ در کلیه روش‌های چندمتغیره به‌کارگیری سه متغیر طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی و ارتفاع باعث افزایش دقت پیش‌بینی می‌شود. انصاری و داوری (۱۳۸۹) نیز گزارش کردند که در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی به همراه ارتفاع باعث افزایش دقت پیش‌بینی برآورد بارش می‌شود. این نتیجه در مکان تحقیق یکسان و داده‌هایی با طول دوره آماری متفاوت گزارش شد. براساس جدول ۶ برای پیش‌بینی متوسط بارش سالانه، روش شبکه عصبی مصنوعی با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین میزان خطا نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد. روش ANN و ANN-K از نتایج تقریباً مشابهی برخوردارند. روش RK و روش رگرسیون خطی با سه متغیر طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی نسبت به بقیه روش‌های درون-یابی به منظور پیش‌بینی متوسط بارش سالانه برتری دارند. بهترین مقدار توان فاصله (m) در روش IDW برابر ۱/۲ می‌باشد. نتایج بررسی روش اصلاح شده وزن‌دهی عکس فاصله (MIDW) نشان داد که با

به کار می‌روند.

توجه به شاخص‌های آماری (RMSE، MAE، MRE و R) و حداقل خطای بین مقدار بارندگی مشاهده‌ای و تخمینی، بهترین معادله مورد استفاده معادله ۳ می‌باشد یعنی حالتی که فاکتور بی‌بعد بصورت یکپارچه است و پارامترهای فاصله و اختلاف ارتفاع به صورت معکوس



شکل ۴- (الف) مقادیر اثر قطعه‌ای، سقف و (ب) مقادیر اثر قطعه‌ای نسبی نیم تغییرنماهای داده‌های بارش هر سال در یک دوره آماری

سالانه اندازه‌گیری شده در ۳۶ ایستگاه هواشناسی در ناحیه‌ای از پرتغال به مقایسه عملکرد پیش بینی سه الگوریتم درون‌یابی با رگرسیون خطی بارش در برابر ارتفاع پرداخت و به این نتیجه رسید که وقتی مقدار ضریب همبستگی بین بارش و ارتفاع متوسط و کم‌تر از ۰/۷۵ است روش کریجینگ معمولی (OK) دقت پیش‌بینی بیش‌تری نسبت به روش رگرسیون خطی بارش با ارتفاع دارد و این با نتایج حاصل از مطالعات مورال مطابقت دارد (Goovaerts, 2000; Moral, 2010). همچنین نتایج نشان داد که با به‌کارگیری متغیر ارتفاع برای پیش‌بینی بارش، دقت پیش‌بینی افزایش می‌یابد و الگوریتم‌های چندمتغیره که از داده ارتفاع به‌عنوان متغیر ثانوی برای پیش‌بینی بارش استفاده می‌کنند میزان خطای کم‌تری نسبت به روش‌های تک متغیره دارند. این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات پارادو-ایگازکویزا و مورال مطابقت دارد (Parado-; Moral, 2010; Iguzquiza, 1998).

همچنین روش RK و روش رگرسیون خطی با سه متغیر طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی نسبت به بقیه روش‌های درون‌یابی به منظور پیش‌بینی متوسط بارش سالانه برتری دارند. در بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش RK و SKV نسبت به روش کوکریجینگ (OCK) برتری دارند. در نقشه OCK میانگین بارش سالانه منطقه در محدوده ۱۵۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد اما در نقشه‌های SKV میانگین بارش سالانه در محدوده ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر و در نقشه‌های RK در محدوده ۹۰ تا ۵۱۰ میلی‌متر می‌باشند و مطابق با شکل‌های ۷ و ۸ نقشه‌های ایجاد شده از آن‌ها نسبت به نقشه‌های کوکریجینگ، جزئیات بیش‌تری را نشان می‌دهند. مورال نیز پس از انجام روش‌های درون‌یابی برای داده‌های بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های

سیدنژاد گل ختمی و همکاران نیز در مطالعات خود به این نتیجه دست یافتند (Seyyednezhad Golkhatmi et al., 2012). در این حالت بهترین مقدار توان m برابر ۱/۳ و n برابر ۰/۵ به دست آمد. مطابق با جدول ۶ روش‌های IDW و MIDW تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهند و این بدان معنی است که به‌کارگیری ارتفاع تأثیری در نتایج پیش‌بینی حاصل از روش وزن‌دهی عکس فاصله ندارد که این نتیجه منطبق با ساختار معادله IDW (معادله ۲) می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که روش تخمین کلاسیک وزن‌دهی عکس فاصله نسبت به سایر روش‌ها از ضریب همبستگی کم‌تر و میزان خطای بیش‌تری برخوردارند که ناشی از معادله صلب با قدرت مانور کم است. در روش‌های زمین‌آمار و به ویژه کریجینگ افزون بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار گرفته و مطابق با جدول ۶ روش‌های زمین‌آمار نظیر الگوریتم‌های تک متغیره (SK، OK) و الگوریتم‌های چندمتغیره (SKV، OCK؛ RK) نسبت به روش عکس فاصله که فاقد ساختار فضایی است برتری دارند.

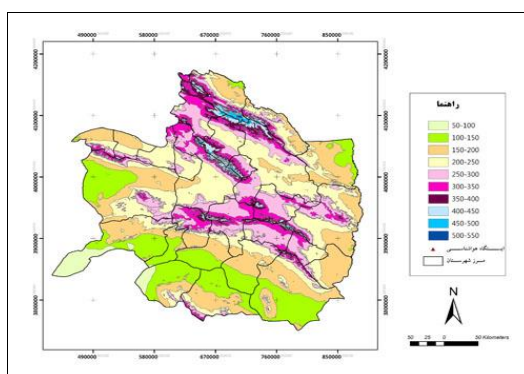
(Diodato and Ceccarelli 2005) و مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) هم در تحقیقات خود به این نتیجه دست یافتند. همچنین با توجه به ضریب همبستگی بالای بین بارش و ارتفاع (۰/۷۶) در سطح معنی‌داری (۰/۰۵)، مدل رگرسیون خطی بین بارندگی و ارتفاع نسبت به روش‌های وزن‌دهی عکس فاصله، کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی (OK) دقت پیش‌بینی بهتری دارند و این به آن معنی است که با به‌کارگیری متغیر ارتفاع برای پیش‌بینی بارش، دقت پیش‌بینی افزایش می‌یابد. در این خصوص گورترز با استفاده مشاهدات بارش ماهانه و

بارش هر سال در یک دوره آماری (۱۳۶۵ تا ۱۳۹۰)، تفاوت تغییرپذیری مکانی بارش، میزان تأثیر اثر قطعه‌ای و فاصله تأثیر ساختار فضایی در بین داده‌ها را در سال‌های مختلف نشان داد. روش RK و روش رگرسیون خطی با سه متغیر طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی نسبت به بقیه روش‌های درون‌یابی به‌منظور پیش‌بینی متوسط بارش سالانه برتری دارند. در بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش RK و SKV نسبت به روش کوکریجینگ (OCK) برتری دارند و نقشه‌های ایجاد شده از آن‌ها نسبت به نقشه‌های کوکریجینگ، جزئیات بیشتری را نشان می‌دهند. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مقاطع نمایانگر سودمندی روش کریجینگ و استفاده از اطلاعات کمی مختصات مکانی در درون‌یابی است. همچنین روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با متغیرهای مختصات مکانی با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطا نسبت به روش‌های دیگر برتری دارد که با توجه به عدم دسترسی به داده‌های موردنیاز این شبکه‌ها می‌توانند راهکار مناسب‌تری نسبت به روش‌های تجربی باشند. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی با داده‌های ورودی‌های غیر اقلیمی مانند مختصات جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه تأثیر ویژه‌ای روی نتایج پیش‌بینی متوسط بارش سالانه در مقایسه با نتایج حاصل از معادله رگرسیون خطی دارد.

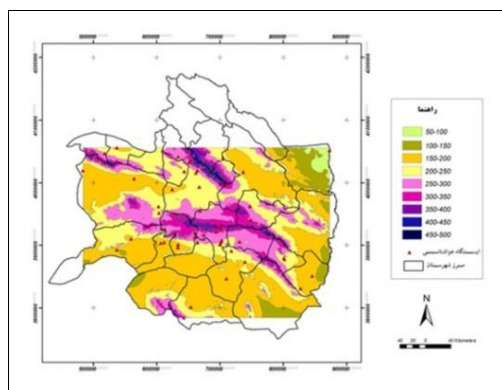
هواشناسی در ناحیه اکسترمادورا در جنوب غرب اسپانیا به این نتیجه رسید که روش RK و SKV مقدار خطای کم‌تری ایجاد می‌کنند و نقشه‌های آن‌ها نسبت به نقشه‌های کوکریجینگ، جزئیات بیشتری را نشان می‌دهند (Moral, 2010). شکل‌های ۵ تا ۸ نقشه‌های پیش‌بینی میانگین بارش سالانه توسط روش‌های میان‌یابی OCK، RK، SKV، و روش رگرسیون را نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

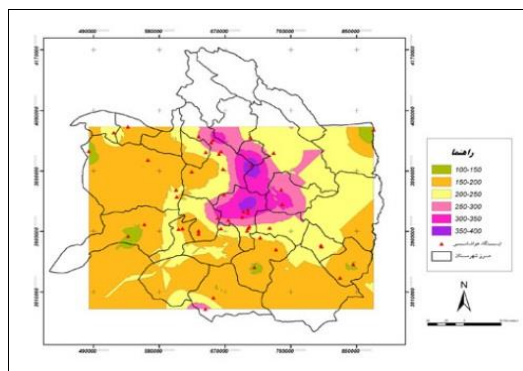
تغییرات زیاد مقدار بارش در نقاط مختلف، کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری و پیچیدگی ارتباط بارش با پارامترهای اثرگذار بر آن، اهمیت توسعه روش‌های کارآمد را در برآورد توزیع مکانی بارش دوچندان می‌کند. نتایج به‌دست آمده حاکی از رابطه رگرسیون خطی مطلوب متوسط بارش سالانه با متغیرهای مختصات مکانی (ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی) و استفاده از این فاکتورها به‌منظور پیش‌بینی بارش می‌باشد. به‌منظور برآورد بارش در محل‌های فاقد اندازه‌گیری می‌توان از روش‌های مختلفی چون روش تخمین کلاسیک، روش‌های زمین‌آماری، روش رگرسیون خطی چندمتغیره، شبکه‌های عصبی مصنوعی و روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-کریجینگ (ANN-K) استفاده کرد. بررسی مقادیر سقف، اثر قطعه‌ای، دامنه تأثیر و اثر قطعه‌ای نسبی مربوط به برازش مدل نیم تغییرنا بر داده‌های



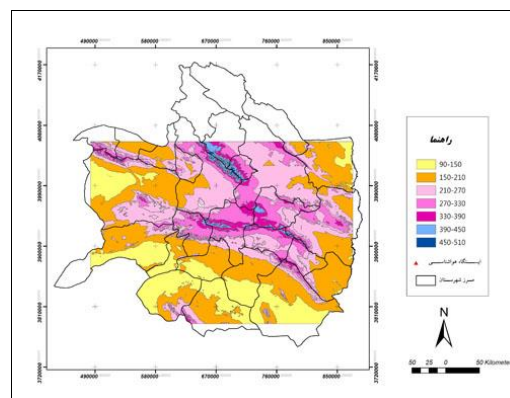
شکل ۵- نقشه میانگین بارش سالانه حاصل از رگرسیون خطی (h, y, x)



شکل ۶- نقشه میانگین بارش سالانه حاصل از کوکویچینگ معمولی



شکل ۸- نقشه میانگین بارش سالانه حاصل از RK (h,y,x)



شکل ۷- نقشه میانگین بارش سالانه حاصل از SKV

جدول ۶- نتایج حاصل از تعیین شاخص‌های آماری

MRE	MAE	R	RMSE	متغیر های مستقل	روش
۰/۲۲	۴۶/۹۵	۰/۴۷	۵۷/۲	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی	IDW
۰/۲۲	۴۸/۶۱	۰/۴۵	۵۸/۷	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع	MIDW
۰/۱۹	۳۹/۴۳	۰/۶۶	۴۹/۳۵	-	SK
۰/۱۵	۳۴/۱	۰/۷۴	۴۲/۹۴	-	OK
۰/۱۴	۳۰/۸۹	۰/۸	۴۰/۷۸	ارتفاع	Ock
۰/۱۳	۲۷/۲۶	۰/۸	۳۸/۸	ارتفاع	SKV
۰/۱۴	۲۹/۶۸	۰/۸۲	۳۷/۵۴	ارتفاع	RK
۰/۱۴	۲۸/۹	۰/۸۲	۳۷/۲۳	عرض جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۴	۲۸/۹	۰/۸۲	۳۷/۲	طول جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۴	۲۸/۹	۰/۸۲	۳۷/۱	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۴	۲۹/۷۲	۰/۷۶	۴۰/۸۴	ارتفاع	مدل رگرسیون خطی
۰/۱۳۵	۲۹/۷	۰/۸	۳۹/۶۸	عرض جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۴	۳۰/۸۲	۰/۸	۳۸/۰۲	طول جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۳	۲۸/۶	۰/۸۳	۳۵/۲	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۱	۲۴/۷	۰/۸۹	۲۹/۴۹	عرض جغرافیایی، ارتفاع	ANN-K
۰/۱۱	۲۳/۸	۰/۸۹	۲۸/۸	طول جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۱	۲۳/۹	۰/۸۹	۲۸/۵	ارتفاع	
۰/۱	۲۲/۱	۰/۹	۲۷/۶	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع	ANN
۰/۱۱	۲۵/۲۸	۰/۸۷	۳۱/۶	عرض جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱۱	۲۳/۹	۰/۸۷	۳۰/۹۸	طول جغرافیایی، ارتفاع	
۰/۱	۲۱/۹۵	۰/۸۹	۲۹/۱	ارتفاع	
۰/۱	۲۰/۷۵	۰/۹	۲۷/۳۱	طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع	

IDW=وزن دهی عکس فاصله؛ MIDW=وزن دهی عکس فاصله اصلاح شده؛ SK= کوریچینگ ساده؛ OK= کوریچینگ معمولی؛ OCK= کوکویچینگ معمولی؛ SKV= کوریچینگ ساده با میانگین های محلی متفاوت؛ RK= رگرسیون-کوریچینگ؛ ANN= شبکه عصبی مصنوعی؛ ANN-K= شبکه عصبی مصنوعی-کوریچینگ

بارندگی با تکنیک فازی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال ششم، شماره ۱، صفحه ۳۹-۴۷.

منابع

انصاری، ح و داوری، ک. ۱۳۸۹. تخمین و بازسازی داده‌های

- The MathWorks, 840pp.
- Demyanov, V., Kanevsky, M., Chernov, S., Savelieva, E and Timonin, V. 1998. Neural Network residual kriging application for climate data. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 2, 215-232.
- Diodato, N and Ceccarelli, M. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy), *Earth Surface Processes and Landforms*, 30:259-268.
- Di Piazza, A., Lo Conti, F., Noto, L.V., Viola, F and La Loggia, G. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13, 396-408.
- Diskin, M.H. 1970. Factors Affecting Variation of Mean Annual Rainfall in Israel. *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology*, XV, 4: 41-49.
- El-Shafie, A.H., El-Shafie, A., El Mazoghi, H.G., Shehata, A and Taha, M.R. 2011. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to Alexandria, Egypt. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 6(6). 1306-1316.
- French, M.N., Krajewski, W.F and Cuykendall, R.R. 1992. rainfall forecasting in space and time using neural network, *Journal of Hydrology*, 137, 1-31.
- Gadgay, B., Kulkarni, S and Chandrasekhar, B. 2012. Novel Ensemble Neural Network Models for better Prediction using Variable Input Approach, *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887) Volume 39– No.18, pp:37-45.
- Goodale, C.L., Alber, J.D and Ollinger, S.V. 1998. Mapping monthly precipitation, temperature and solar radiation for Ireland with polynomial regression and digital elevation model. *Climate Research*, 10, 35-49.
- Goovaerts, P. 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Kim, T and Valdes, J.B. 2003. Nonlinear model for drought forecasting based on conjunction of wavelet transforms and neural networks. *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Volume 8(6), pp:319-328.
- Kravchenko, A., Zhang, R and Tung, Y.K. 1996. Estimation of Mean Annual Precipitation in Wyoming Using Geostatistical Analysis. 1996. *Proceedings of American Geophysical Union*, 16
- پولادی، ا. ۱۳۸۱. مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با سایر روش‌ها در برآورد مکانی بارندگی روزانه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، گروه عمران.
- پیکتن، ف. ۱۳۸۸. شبکه‌های عصبی، ترجمه میرصالحی، م.م. و تقی‌زاده کاخکی، ح. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۸۰ صفحه.
- حسنی پاک، ع.ا. ۱۳۸۹. زمین‌آمار (ژئواستاتیسٹیک). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
- عساکره، ح. ۱۳۸۴. تغییرات زمانی - مکانی بارش استان اصفهان طی دهه‌های اخیر، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان (علوم انسانی)، جلد ۱۸، شماره ۱، صفحه ۹۱-۱۱۶.
- کریمی گوغری، ش. و اسلامی، ا. ۱۳۸۷. پیش‌بینی بارندگی سالانه در استان کرمان با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۲، شماره ۲، صفحه ۱۲۳-۱۳۲.
- مدنی، ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر واحد تفرش، ۶۵۸ صفحه.
- مصدیقی، م. ۱۳۹۰. روش‌های آمار و رگرسیون با رویکرد کاربردی در علوم گیاهی و جانوری، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع) مشهد، ۴۲۱ صفحه.
- مهدوی، م. ۱۳۷۷. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- مهدی زاده، م.، مهدیان، م.ح. و حجام، س. ۱۳۸۵. کارایی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی اقلیمی حوزه آبریز دریاچه ارومیه. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۲: ۱۱۶-۱۰۳.
- Azadi, S and Sepaskhah, A.R. 2012. Annual precipitation forecast for west, southwest, and south provinces of Iran using artificial neural networks, *Theoretical and Applied Climatology*, 109:175-189.
- Basist, A. Bell, G.D and Meentemeyer, V. 1994. Statistical relationships between topography and precipitation patterns. *Journal of Climate*, 7(9), 1305-1315.
- Chang, C.L., Lo, S.L and Yu, S.L. 2005. Applying fuzzy theory and genetic algorithm to interpolate precipitation. *Journal of Hydrology*, 314: 92-104.
- Daly, C., Neilson, R.P and Phillips, D.L. 1994. A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain, *Journal of Applied Meteorology*, 33, 140-158.
- Demuth, H and Beal, M. 2002. *Neural Network Toolbox For Use with MATLAB. User's Guide, Version 4.*

- of Climatology, 18:1031-1047.
- Prudhomme, C and Duncan, W.R. 1999. Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *International Journal of Climatology*. 19 (12). 1337-1356.
- Ramirez, M.C.V., Velho, H.F.D.C and Ferreira, N.J. 2005. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Saopaulo region. *Journal of hydrology*. 301 (1-4). pp:146-162.
- SeyyednezhadGolkhatmi, N., Sanaeinejad, S.H., Ghahraman, B and Rezaee Pazhand, H. 2012. Extended Modified Inverse Distance Method for Interpolation Rainfall, *International Journal of Engineering Inventions*, 1(3):57-65.
- Smith, R.B. 1979. The influence of mountains on the atmosphere. *Adv. Geophys.* 21, 87-230. Academic Press.
- Spreen, W.C. 1947. A determination of the effect of topography upon precipitation. *Trans. Am. Geophys. Union* 28, 285-290.
- Tabios, G.Q and Salas, J.D. 1985. A Comparative Analysis of Techniques for Spatial Analysis Precipitation. *Water Resources Bulletin*. 21:365-380.
- Tsung, C.K. 2004. Introduction to geographic information system, 2th edition, Mc Graw Hill.
- Valipour, M. 2012. Critical Areas of Iran for Agriculture water management According to the Annual Rainfall, *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, 84 (4):600-608.
- Weisse, A.K and Bois, P. 2001. Topographic effects on statistical characteristics of heavy rainfall and mapping in the French Alps. *Journal of Applied Meteorology*. 40 (4), 720-740.
- Wotling, G., Bouvier, Ch., Danloux, J and Fritsch, J.M. 2000. Regionalization of extreme precipitation distribution using the principal components of the topographical environment. *Journal of Hydrology*. 233, 86-101.
- thAnnual Hydrology Days, Fort Collins, Colorado, pp. 271-282.
- Lo, S.S. 1992. Glossary of Hydrology, Water Resources Publications. PP 1794
- Luc, K.C., Ball, J.E and Sharma, A. 2001. An Application of artificial neural networks for forecasting, *Mathematical and Computer Modelling*, 33 (6-7), pp:683-693.
- Luk, K.C., Ball, J.E and Sharma, A. 2000. A study of optimal model lag and spatial inputs to artificial neural network for rainfall forecasting, *Journal of Hydrology*, 227, 56-65.
- Maier, H.R and Dandy, G.C. 2000. Application of artificial neural networks to forecasting of surface water quality variables: Issues, applications and challenges. In: *Artificial neural networks in hydrology*. 287-309.
- Martinez-Cob, A. 1996. Multivariate geostatistical analysis of evapotranspiration and precipitation in mountainous terrain. *Journal of Hydrology*. 174 (1-2), 19-35.
- Moral, F.J. 2010. Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation, *International Journal of Climatology*, 30:620-631.
- Namasivayam, A and Waldemar, A. 2001. Comparison of prediction of extremely low birth weight neonatal mortality by regression analysis and by neural networks, *Early human Development*, 65, 123-137.
- Ninyerola, M., Pons, X., Roure, J.M. 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*. 20 (14), 1823-1841.
- Pardo-Iguzquiza, E. 1998. Comparison of Geostatistical Methods for Estimating the Areal Average Climatological Rainfall Mean Using Data on Precipitation and Topography. *International Journal*

Estimation Of Average Annual Precipitation Of Khorasan Razavi Province Using Spatial Coordinates

M. Nourali^{۱*}, B.Ghahraman^۲

Received: Sep.3, 2013

Accepted: Apr.9, 2014

Abstract

Prediction of annual precipitation is of prime importance for water resources management and agricultural crop pattern planning. Different methods are used such as classical estimation method, geostatistical methods, multiple linear regression, artificial neural networks and Kriging combined with neural networks for prediction of precipitation at unsampled locations. In this study, non-climatic inputs, were used such as geographic coordinates and altitude, and average annual precipitation of 47 stations (corresponding to 25 years period of 1886 to 2011) at province of Khorasan Razavi were adopted. The highest correlation was found to be between average annual precipitation (as dependent variable) and three coordinate variables of altitude and geographical coordinates of the stations (as independent variables). Based on the results, however, IDW method was not sensitive to altitude. Effective range was 30.2 kilometers under SK and OK methods, while it was increased to 40 kilometers under ordinary cokriging which supports for high dependency of precipitation to altitude in spatial context. The semivariogram parameters of sill, nugget effect, effective range and relative nugget effect were quite different for different years which is an indication of spatio-temporal pattern of precipitation at the study area. The best results were attributed to RK and SKV, however. The structure of the adopted neural network in this study was the multilayer perceptron (MLP) with sigmoid tangent and linear functions. Different structures of neural networks were tested with different inputs, the optimum network for prediction of average annual precipitation was attributed to three inputs (longitude, latitude and altitude) corresponding to 3-6-1 structure with Levenberg-Marquardt algorithm. The highest correlation coefficient and the lowest error were due to artificial neural network method, so it was the best method in this study.

Keywords: Precipitation, Artificial Neural Network, Multilayer Perception, Interpolation, Ordinary Cokriging

۱ - Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, International Branch, Ferdowsi University of Mashhad

۲ - Professor, Water Engineering Department, College of Agricultural, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: mahrouznourali@yahoo.com)