

## ارزیابی مقایسه‌ای سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) و روش‌های متداول درون‌یابی در تخمین بارش در استان فارس

طاهره عباسی<sup>1</sup>، سیدامیر شمس‌نیا<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 1395/9/20 تاریخ پذیرش: 1396/3/4

### چکیده

در بررسی مسایل هیدرولوژیکی و منابع آب، تحلیل اطلاعات بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کمبود نقاط برداشت و تعداد قرائت، به دلیل محدودیت‌های مختلف، دسترسی به این اطلاعات را محدود می‌نماید. بنابراین کاربرد روش‌های میان‌یابی و تخمین سطح آب در نقاط مشخص بر اساس اطلاعات نقاط هم‌جوار از جایگاه ویژه‌ای در مطالعات مختلف برخوردار است. در این پژوهش روش‌های متداول میان‌یابی، روش زمین آمار کریجینگ و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در استان فارس مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این مطالعه از بیست ایستگاه سینوپتیک استان فارس با طول دوره آماری 29 ساله از سال 1981-1982 الی 2009-2010 استفاده شده است. طی بررسی‌های انجام شده دی ماه سال‌های 1992-1993 و 2004-2005 به عنوان بهترین الگوی دوره ترسالی و ماه اردیبهشت سال‌های 2008-2009 و 2009-2010 به عنوان بهترین الگوی دوره خشک‌سالی و همچنین ماه‌های اردیبهشت و آذر سال 2006-2007 به عنوان الگوی سالانه نرمال انتخاب شد. در سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) برای هر کدام از سال‌های ذکر شده تعداد توابع عضویت، نرون و نوع تابع عضویت  $G_{\text{ussmf}}$ ،  $G_{\text{bell}}$  و  $G_{\text{mf}}$  به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت. قابل ذکر است که در این سیستم ابتدا پانزده ایستگاه به عنوان آموزش قرار داده شد و پنج ایستگاه تنگاب، شورجه، بابا عرب، شیراز و چمریز مورد ارزیابی قرار گرفت. طی این پژوهش از دو روش کریجینگ و سیستم استنتاج فازی عصبی تطبیقی استفاده شد و نتایج با شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R) و شاخص کارایی مدل (EF) مورد مقایسه قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید در دوره‌های ترسالی سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)، نتایج قابل قبول‌تری را ارائه داده است. در دوره خشک‌سالی روش کریجینگ برای تخمین بارندگی پیشنهاد می‌شود. در دوره‌های نرمال در ماه اردیبهشت روش کریجینگ و در ماه آذر روش سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)، دقیق‌ترین نتایج را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، تخمین بارش، سیستم استنتاج فازی-عصبی، کریجینگ

### مقدمه

آن از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. اگرچه بروز خشک‌سالی باعث شده است که کشور با مشکلات کمبود آب به صورت جدی‌تر مواجه شود اما محدودیت‌های منابع آب از یک سو و برداشت بی‌رویه منابع، از سوی دیگر، در حال تضعیف این منبع حیاتی است. در بررسی مسایل هیدرولوژیکی و منابع آب، تحلیل اطلاعات بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل همواره توجه دست‌اندرکاران این علم به روی روش‌هایی بوده است که بتوانند با استفاده از آن‌ها، در نقاط فاقد آمار، اطلاعات بارندگی را به کمک داده‌های باران سنجی موجود تولید نمایند. دهقانی و همکاران در تحقیقی به ارزیابی سیستم‌های استنتاج فازی-عصبی، شبکه عصبی و روش‌های زمین آمار در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت قزوین پرداختند. نتایج نشان داد سیستم استنتاج فازی-عصبی در مقایسه با سایر روش‌ها با توجه به شاخص‌های آماری نتایج بهتری را نشان می‌دهد

در سال‌های اخیر خسارت‌های ناشی از سیل در بسیاری از مناطق جهان رشد صعودی داشته است. بارش‌های غیرمترقبه به‌عنوان یک عامل تهدید کننده در احتمال وقوع سیل محسوب می‌شود. پیش‌بینی بارش در مدیریت و هشدار معضل سیل نقش مهمی برعهده دارد. با آگاهی از میزان بارندگی، می‌توان امکان وقوع سیل را در منطقه پیش‌بینی و اقدامات لازم را به عمل آورد. در مناطق آسیب‌پذیر، ایجاد ساختارهای دفاعی در برابر سیل مهم و جدی است و پیش‌بینی به موقع بارش نیز عاملی بوده که برای مقابله با سیل و اهداف مدیریتی

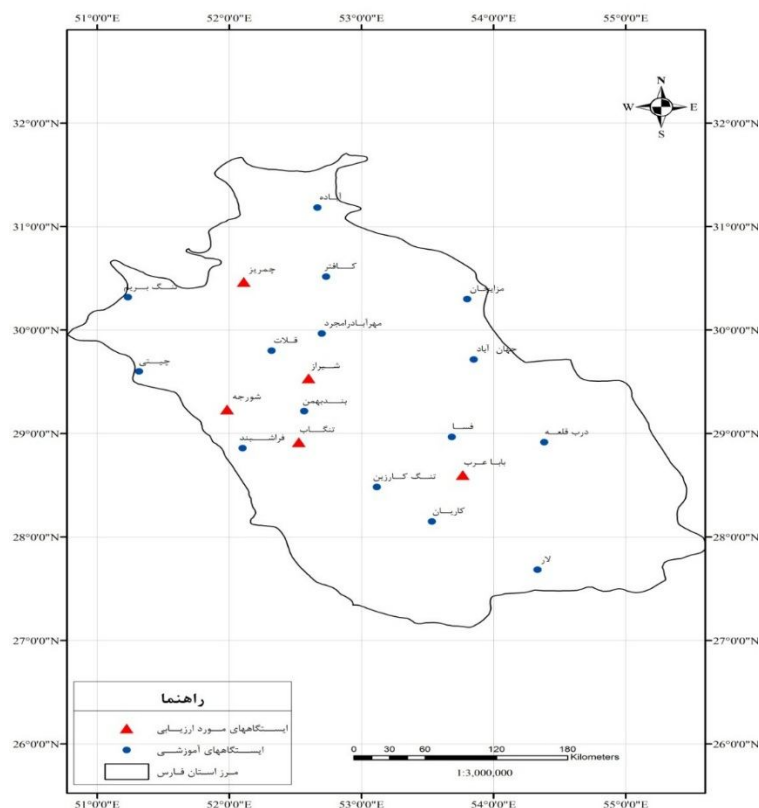
1- گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، شیراز، ایران  
2- گروه مهندسی آب، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی شیراز، شیراز، ایران  
(\*- نویسنده مسئول: Email: ashamsnia\_82@yahoo.com)

فازی-عصبی تطبیقی نسبت به تعداد و نوع تابع عضویت از حساسیت زیادی برخوردارند. براساس نتایج حاصل از تحقیقات گذشته هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تخمین بارش در نقاط فاقد آمار در استان فارس با استفاده از زمین آمار و روش سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی و مقایسه نتایج حاصل از تخمین بارش و تحلیل میزان خطا در این پژوهش جهت ارائه روشی مناسب‌تر و دقیق‌تر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام مطالعه حاضر تعداد 20 ایستگاه در نقاط مختلف استان فارس با دوره آماری 29 ساله از سال زراعی 1981 لغایت 2010 انتخاب شده است. جهت انتخاب این ایستگاه‌ها به دو نکته توجه شده است. اول ایستگاه‌ها طوری انتخاب شدند که در سطح استان پراکنده باشند و دوم ایستگاه‌هایی انتخاب شدند که دارای قدمت آماری خوب و قابل اطمینانی بودند. شکل 1 توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

(Dehghani et al., 2009). در بررسی امکان جایگزینی روش ANFIS به جای روش‌های زمین آماری در تخمین سطح آب زیرزمینی نشان دادند نتایج هر دو روش تقریباً یکسان بوده و هیچ کدام از دو روش از دقت بالا و قابل قبولی برخوردار نبودند. در مقاله-ای اثر انتخاب توابع انتقال مختلف بردقت پیش‌بینی‌های منتخب بر ساختار سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی آموزش دیده در شبیه-سازی بارش- رواناب رودخانه خرم‌آباد را بررسی کردند نتایج نشان داد که تابع انتقال گوسی و زنگوله‌ای بهترین کارایی را در بین توابع انتقال برای شبیه‌سازی بارش رواناب در رودخانه موردنظر دارند (نوری و حقی زاده، 1394). در پژوهش دیگری، با استفاده از سه روش شبکه عصبی، استنتاج فازی و شبکه تطبیقی عصبی-فازی مدل بارش- رواناب حوضه ليقوان‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی را ارائه نمودند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که شبکه عصبی و منطق فازی، به تنهایی قادر به تبیین این مدل نمی‌باشد، ولی در صورت تلفیق این دو روش نتیجه مطلوب برای مدل‌سازی بارش- رواناب در سطح حوضه مورد بررسی حاصل می‌شود (نورانی و صالحی، 1387; kurtulus et al., 2012). ارزیابی روش سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی برای میان‌یابی ارتفاع هیدرولیکی نشان داده که مدل‌های سیستم استنتاج



شکل 1- توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

و همچنین دارای این مزیت است که اجازه استخراج قوانین فازی را از اطلاعات عددی یا دانش متخصص می‌دهد و به‌طور تطبیقی یک قاعده بنیاد می‌سازد. علاوه بر این، می‌تواند تبدیل پیچیده هوش بشری به سیستم‌های فازی را تنظیم کند. مشکل اصلی مدل پیش-بینی ANFIS احتیاج نسبتاً زیاد به زمان برای آموزش ساختار و تعیین پارامترها می‌باشد. به منظور ساده‌سازی، سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی  $X$  و  $Y$  و یک خروجی  $Z$  دارد. برای یک مدل فرض می‌کنیم که سیستم استنتاجی مورد نظر دو ورودی  $X$  و  $Y$  و یک خروجی  $Z$  دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی-سوگنو درجه اول، می‌توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر-آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

قانون اول: اگر  $X$  برابر  $A_1$  و  $Y$  برابر  $B_1$  باشد آنگاه:

$$Z_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

قانون دوم: اگر  $X$  برابر  $A_2$  و  $Y$  برابر  $B_2$  باشد آنگاه:

$$Z_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

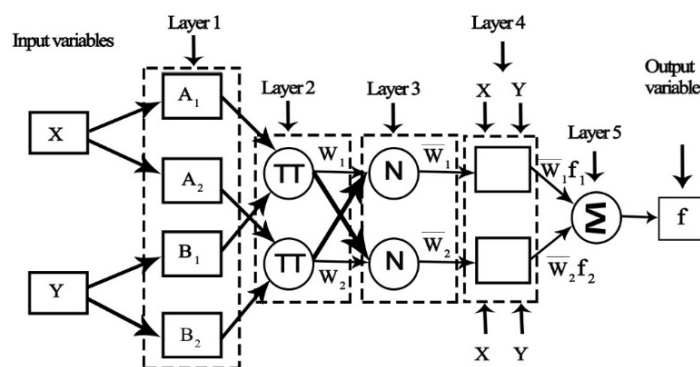
که  $p_i, q_i, r_i$  ( $i=1,2$ ) پارامترهای خطی در بخش تالی مدل فازی تاکاگی-سوگنو درجه اول هستند ساختار ANFIS شامل پنج لایه می‌شود، شکل 2 و معرفی خلاصه‌ای از مدل ارائه شده است.

در طی دوره آماری مورد مطالعه براساس مقادیر متوسط بلندمدت بارندگی هر ایستگاه وضعیت خشک‌سالی و ترسالی در هر سال و هر ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل ماه دی سال-های 1993-1992 و 2005-2004 به عنوان بهترین الگوی دوره ترسالی و ماه فروردین سال‌های 2009-2008 و 2010-2009 به-عنوان بهترین الگوی دوره خشک‌سالی و همچنین ماه‌های اردیبهشت و آذر سال 2007-2006 به عنوان الگوی سالانه نرمال انتخاب شد. سپس جهت آنالیز داده‌ها، 75 درصد داده‌های بارندگی (15 ایستگاه) برای آموزش شبکه و 25 درصد داده‌ها (5 ایستگاه) برای ارزیابی نتایج استفاده گردید. برای ارزیابی روش کریجینگ از نرم افزار ArcGIS و برای انجام روش ANFIS از نرم افزار Matlab استفاده شده است.

### ساختار و الگوریتم مدل ANFIS

ANFIS یک شبکه پیش‌خور چند لایه می‌باشد که از الگوریتم-های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور ترسیم یک فضای ورودی به یک فضای خروجی استفاده می‌کند. ANFIS با توانایی ترکیب قدرت زبانی یک سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه تطبیقی سیستم عصبی، نشان داده است که در مدل کردن کارهای عددی مثل مدیریت مخازن، مدل کردن سری‌های زمانی هیدرولوژیکی، برآورد رسوب و پیش‌بینی سطح آب در مخازن بسیار قدرتمند می‌باشد. (Jang et al., 1997; Farahmand et al., 2010)

مدل ANFIS قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد



شکل 2- یک نمونه ساختار مدل ANFIS

مجموعه فازی تقسیم شده و مقرر می‌گردد که هر مجموعه فازی به چه بازه‌ای تعلق می‌گیرد.

$$O_{l,i} = u_{A_i}(x) \quad i=1,2 \quad (1)$$

$$o_{l,i} = u_{A_{i-2}}(y) \quad i=3,4 \quad (2)$$

همان‌طور که از شکل پیداست، ساختار شبکه ANFIS از 5 لایه تشکیل شده است:

لایه اول (لایه ورودی‌ها)<sup>1</sup>: در این لایه هر ورودی به چند

1-Input Nodes

$$R = \frac{\sum (y_{actual} \times y_{forecast})}{\sqrt{(\sum y_{actual}^2) \times (\sum y_{forecast}^2)}} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{actual} - y_{forecast})^2} \quad (9)$$

مقادیر  $y_{actual}$ : مقادیر تخمینی توسط شبکه  $y_{forecast}$  مشاهده شده

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (oi - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^n (pi - Qi)^2}{\sum_{i=1}^n (Qi - \bar{O})^2} \quad (10)$$

$oi$ : مقدار مشاهده شده  $pi$ : مقدار تخمین زده شده  $\bar{O}$ : متوسط مقادیر مشاهده شده  $n$ : تعداد مشاهدات

### کریجینگ (kiring)

به طور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد. از مهم‌ترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. بنابراین برای هر مقدار تخمین زده شد می‌توان دامنه از اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد در حالی که در روش‌های کلاسیک معمولاً چنین نخواهد بود. روش‌های تخمین کلاسیک نمی‌توانند ساختار فضایی را در نظر بگیرند. در روش کریجینگ برای هر تخمینی، پراش تخمین قابل محاسبه است. پراش تخمین نشانگر گسترش توزیع خطای تخمین حول میانگین است. کریجینگ یک روش زمین آمار برای درون‌یابی داده‌ها براساس پراش فضایی است. در این روش مانند روش IDW که در آن نزدیکی به نقاط نمونه به عنوان وزن محسوب می‌گردد، پراش فضایی تابعی از فاصله شناخته می‌شود. در این روش برای هر یک از ایستگاه‌های درون و بیرون یک پهنه بر حسب فاصله و موقعیت آن وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود به گونه‌ای که پراش تخمین کمینه شود.

### نتایج

در این مطالعه ابتدا پانزده ایستگاه را به عنوان آموزش قرار داد شد و پنج ایستگاه تنگاب، شورجه، باباعرب، شیراز و چمریز را مورد ارزیابی قرار گرفت. در سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی توابع عضویت Gauss2mf, Gsusmf و Gbell به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت. سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی از الگوریتم‌های شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند. این سیستم از قدرت زبانی

این کار با استفاده از تابع عضویت انجام می‌شود. توابع عضویت انواع متفاوتی دارد که از جمله آن می‌توان به توابع دوزنقه‌ای، مثلثی، سیگموئید، تابع  $\pi$  تابع dsig، و تابع زنگوله‌ای شکل، که حالت کلی تری از آن‌ها را شامل می‌شود.

$$u_{A_0} = \frac{1}{1 + \left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^{2b_i}} \quad (3)$$

مجموعه  $\{ai, bi, ci\}$  پارامترهای تطبیقی یا S1 نامیده می‌شوند. لایه دوم (گره‌های قاعده)<sup>1</sup> که در آن مقادیر ورودی به هر گره در هم ضرب شده و حاصل که وزن قانون‌ها می‌باشد به دست می‌آید.

$$O_{2,i} = w_i = u_{A_i}(x)u_{B_i}(y) \quad i=1,2 \quad (4)$$

لایه سوم (گره‌های متوسط)<sup>2</sup> که گره‌های این لایه براساس رابطه 5 وزن قانون‌ها را نرمال سازی می‌کنند.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad i = 1,2 \quad (5)$$

لایه چهارم که لایه قوانین<sup>3</sup> نامیده می‌شود و در این لایه قانون‌ها براساس پارامترهای متعاقب به دست می‌آیند.

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = w_i(p_i + q_i + r_i) \quad i=1,2 \quad (6)$$

به مجموعه  $S2 = \{pi, qi, ri\}$  که ضرایب این ترکیب خطی هستند پارامترهای متعاقب گویند.

لایه پنجم (گره‌های خروجی)<sup>4</sup> که آخرین لایه شبکه می‌باشد تنها شامل یک تک گره بوده که با جمع کردن همه مقادیر ورودی به آن خروجی کل را تعیین محاسبه می‌کند.

$$O_{5,i} = \sum \bar{w}_i f_i \quad (7)$$

روش کار ساخت مدل سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS):

در این مدل ابتدا برروی داده‌ها نرمال سازی انجام می‌شود، سپس داده‌ها به دو بخش داده‌های آموزش شبکه و داده‌های تست شبکه تقسیم می‌شوند، و مقادیر توابع عضویت، نرون و نوع توابع Gaussmf, Gauss2mf, Gbell مورد ارزیابی قرار گرفت.

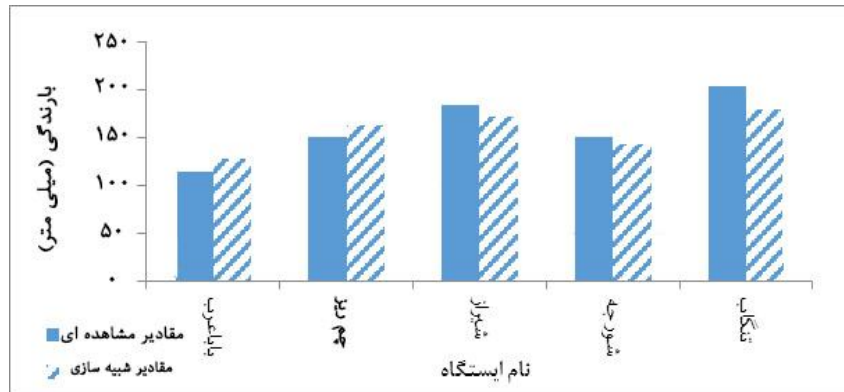
برای ارزیابی کارایی مدل از متغیرهای آماری ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و شاخص کارایی مدل (EF) استفاده شده است.

- 1 -Rule Nodes
- 2 -Average Nodes
- 3 -Consequent Nodes
- 4 -Output Nodes

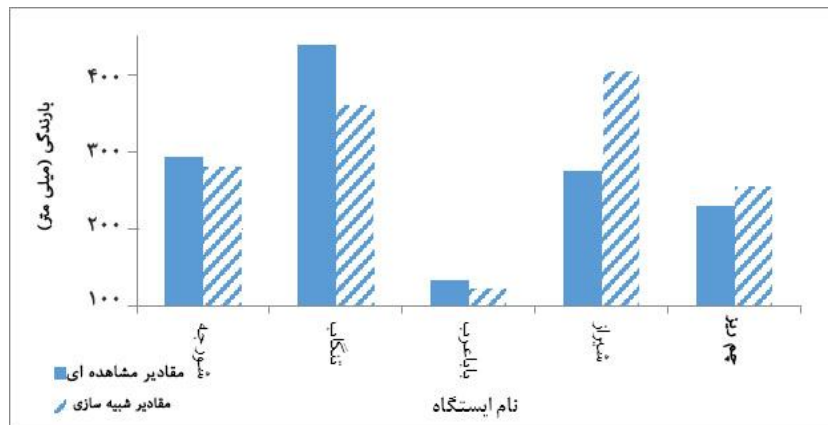
Ordinary Kriging Spherical  
Ordinary Kriging Circular  
Ordinary Kriging Exponential  
Ordinary Kriging Gaussian  
Simple Kriging Spherical  
Universal Kriging Spherical  
Simple Kriging Circular  
Universal Kriging Circular

سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی در مدل سازی فرآیندهای پیچیده بسیار قدرتمند می باشد. مدل های ANFIS به عنوان تکنیک های مدل سازی قوی و آماری در علم بارش معرفی شده اند.

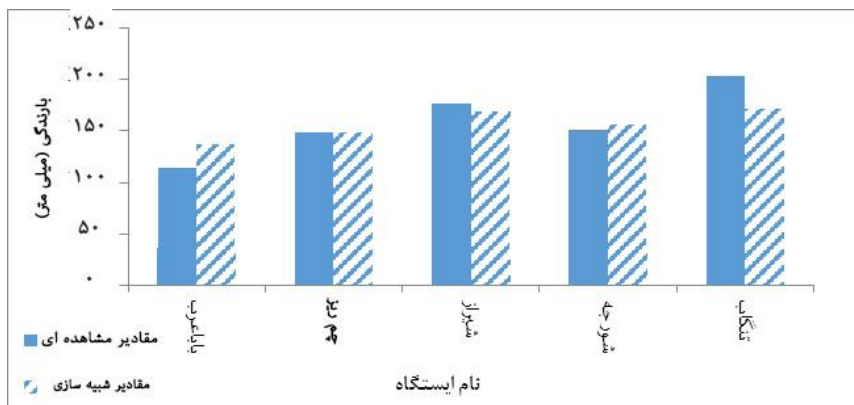
در مدل زمین آماری از سه روش کریجینگ معمولی و ساده و جهانی با نیم تغییرنماهای کروی، دایره ای، نمایی و گوسی استفاده شده است.



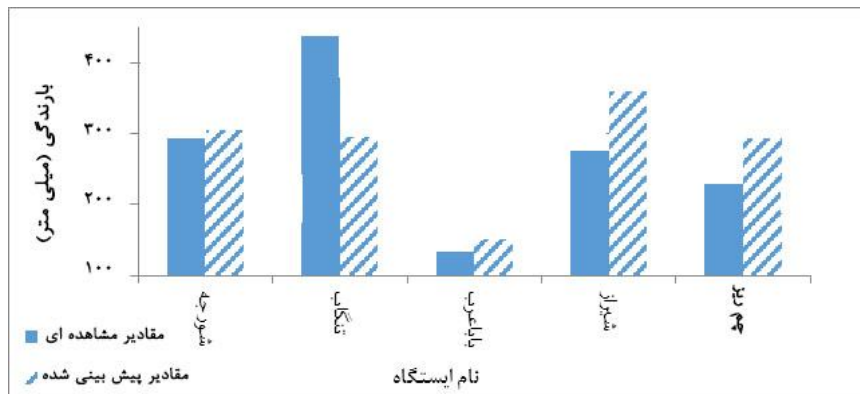
شکل 3- نمودار مقایسه ای داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ترسالی 1992 - 1993 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 4- نمودار مقایسه ای داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ترسالی 2004 - 2005 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 5- نمودار مقایسه ای داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره ترسالی 1992-1993 با استفاده از روش کریجینگ



شکل 6- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره ترسالی 2004-2005 با استفاده از روش کریجینگ

ایستگاه‌های مشخص شده با هشت نیم تغییر نمای مدل کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر ضریب همبستگی، جذرمیانگین مربعات خطا و شاخص کارایی مدل محاسبه و در جداول 1 و 2 نشان داده شده است.

مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در دو دوره ترسالی 1992-1993 و 2004-2005 با دو روش ANFIS و کریجینگ در شکل‌های 3-6 نشان داده شده است. در هر کدام از سال‌های 1993-1999 و 2004-2005 بارندگی

جدول 1- روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ در بارندگی ماهانه استان فارس بر اساس شاخص‌های آماری (دوره ترسالی 1993 - 1999)

سال	روش‌های مختلف میان‌یابی	EF	RMSE	R
1992- 1993	Ordinary Kriging Spherical	. /61	. /08	. /97
	Ordinary Kriging Circular	. /52	. /09	. /95
	Ordinary Kriging Exponential	. /50	. /09	0 /91
	Ordinary Kriging Gaussian	. /40	. /10	0 /94
	Simple Kriging Spherical	. /16	. /12	0 /82
	Kriging Spherical Universal	0 /51	. /09	0 /95
	Simple Kriging Circular	. /15	. /12	0 /84
	Universal Kriging Circular	. /52	. /09	0 /95

جدول 2- روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ در بارندگی ماهانه استان فارس بر اساس شاخص‌های آماری (دوره ترسالی 2004- 2005)

سال	روش‌های مختلف میان‌یابی	EF	RMSE	R
2004-2005	Ordinary Kriging Spherical	. /38	. /21	. /63
	Ordinary Kriging Circular	. /36	. /20	. /61
	Ordinary Kriging Exponential	. /37	. /20	. /62
	Ordinary Kriging Gaussian	. /33	. /21	. /59
	Simple Kriging Spherical	. /36	. /20	. /62
	Kriging Spherical Universal	. /36	. /20	. /61
	Simple Kriging Circular	. /36	. /20	. /62
	Universal Kriging Circular	. /36	. /20	. /61

به منظور کمی‌سازی نتایج نیز مقایسه دو روش ANFIS و کریجینگ با استفاده از شاخص‌های آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد در سال 1992-1993، روش ANFIS مقدار شاخص RMSE کمتر و شاخص تاثیر بالاتری دارد. مقدار ضریب همبستگی نیز بالا و نزدیک به یک می‌باشد (جدول 3). در سال

با توجه به جداول فوق مشخص می‌شود بهترین روش برآزش یافته برای سال 1992- 1993 و 2004- 2005 با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین مقدار جذرمیانگین مربعات خطا و نزدیک‌ترین شاخص کارایی مدل به یک، روش Ordinary Kriging Spherical می‌باشد.



2008-2009 و 2009-2010 با دو روش ANFIS و کریجینگ در شکل‌های 7 تا 10 نشان داده شده است.

در هر کدام از سال‌های 2008-2009 و 2009-2010 بارندگی ایستگاه‌های مشخص شده با هشت نیم تغییرنمای مدل کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر ضریب همبستگی، جذرمیانگین مربعات خطا و شاخص کارایی مدل محاسبه و در جداول 5 و 6 نشان داده شده است.

با توجه به جدول‌های فوق مشخص می‌شود بهترین روش برآزش یافته برای سال 2008-2009 و 2009-2010 با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین مقدار جذرمیانگین مربعات خطا و نزدیک‌ترین شاخص کارایی مدل به یک، روش Simple Kriging Circular می‌باشد. به منظور کمی‌سازی نتایج نیز مقایسه دو روش ANFIS و کریجینگ با استفاده از شاخص‌های آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد در سال 2008-2009 روش کریجینگ از نظر شاخص خطا RMSE در محدوده مناسب‌تری قرار دارد. با توجه به شاخص EF نیز روش کریجینگ مناسب‌تر است.

2004-2005 نیز به همین ترتیب است و مقادیر شاخص‌های آماری روش ANFIS در محدوده مناسب‌تری نسبت به روش کریجینگ قرار دارند (جدول 4).

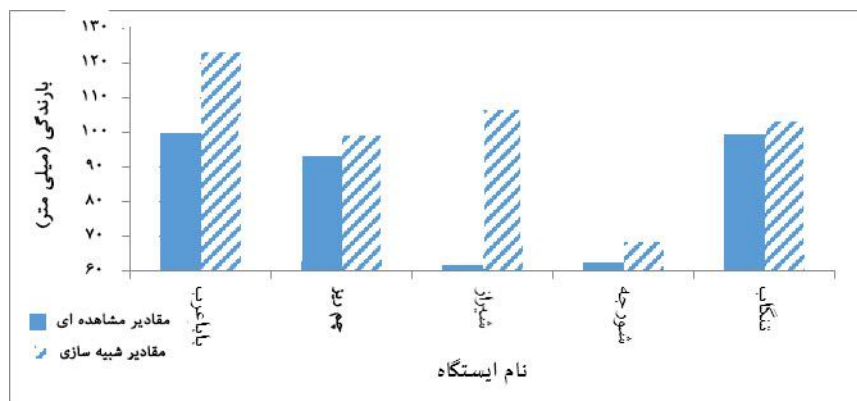
جدول 3- ارزیابی روش‌های ANFIS و کریجینگ (دوره ترسالی 1992-1993)

روش میان‌یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/06	0/97	0/76
KRIGING	0/08	0/97	0/61

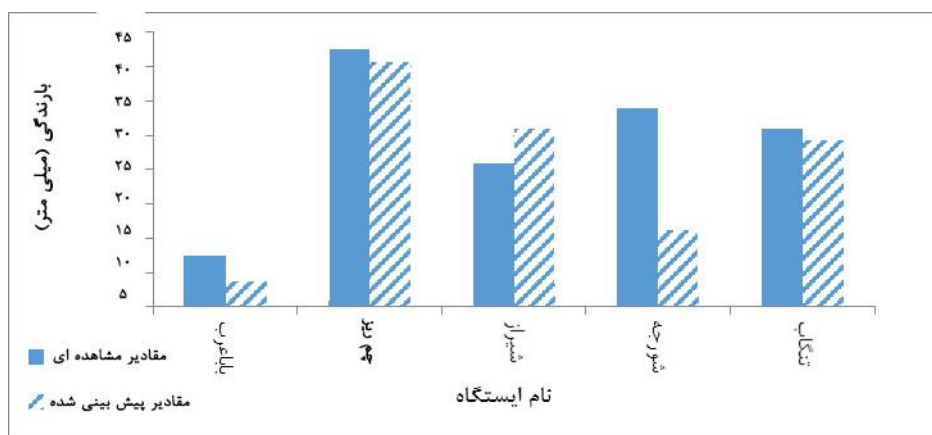
جدول 4- ارزیابی روش‌های ANFIS و کریجینگ (دوره ترسالی 2004-2005)

روش میان‌یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/17	0/76	0/52
KRIGING	0/21	0/63	0/38

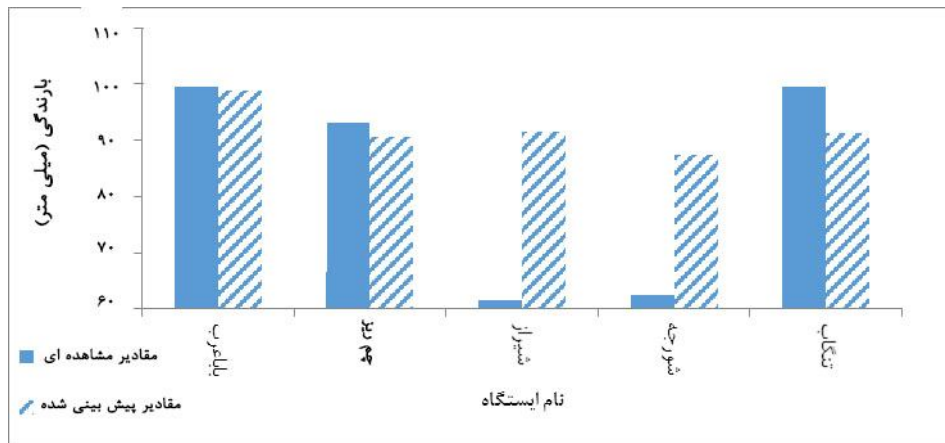
مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در دو دوره خشک‌سالی



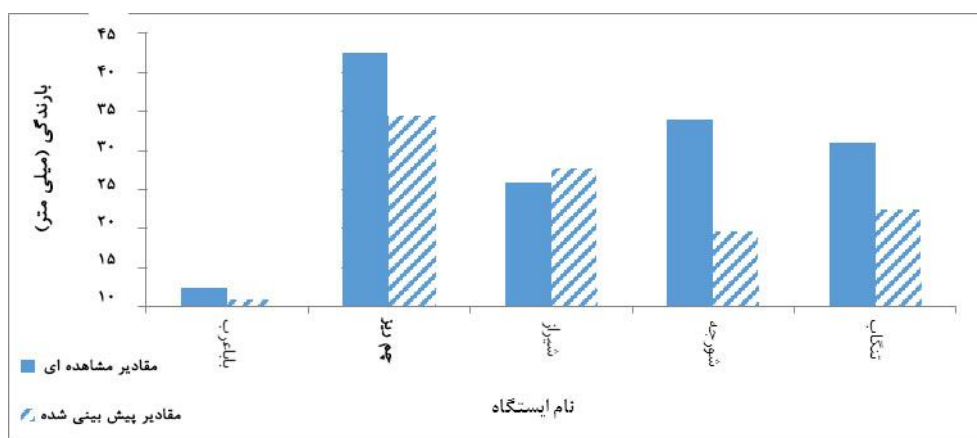
شکل 7- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره خشک‌سالی 2008-2009 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 8- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره خشک‌سالی 2009-2010 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 9- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره خشک‌سالی 2008-2009 با استفاده از روش کریجینگ



شکل 10- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره خشک‌سالی 2009-2010 با استفاده از روش کریجینگ

جدول 5- روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ در ماهانه استان فارس بر اساس شاخص‌های آماری (دوره خشک‌سالی 2008-2009)

سال	روش‌های مختلف میان‌یابی	EF	RMSE	R
2008-2009	Ordinary Kriging Spherical	-0 /40	0 /16	0 /61
	Ordinary Kriging Circular	- /07	0 /14	0 /45
	Ordinary Kriging Exponential	- /24	0 /15	0 /57
	Ordinary Kriging Gaussian	- /75	0 /18	0 /55
	Simple Kriging Spherical	-0 /04	0 /14	0 /59
	Kriging Spherical Universal	-0 /40	0 /16	0 /61
	Simple Kriging Circular	-0 /03	0 /14	0 /62
	Universal Kriging Circular	-0 /07	0 /14	0 /45

کریجینگ بهتر از روش ANFIS است (جدول 8). مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی در دو دوره نرمال ماه اردیبهشت 2006 - 2007 و ماه آذر 2006-2007 با دو روش ANFIS و کریجینگ در شکل‌های (11 تا 14) نشان داده شده است.

شاخص EF کارایی مدل را نشان می‌دهد و دامنه تغییرات آن  $-\infty$  تا 1 است و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد مدل بهتر است. مقدار شاخص RMSE کمتر و شاخص تاثیر بالاتری دارد. مقدار ضریب همبستگی هر دو روش نیز تقریباً یکسان است (جدول 7). در سال 2004 - 2005 نیز با توجه به شاخص‌های آماری روش



جدول 6- روش های مختلف درون یابی کریجینگ در بارندگی ماهانه استان فارس بر اساس شاخص های آماری (دوره خشک سالی 2009 - 2010)

سال	روش های مختلف میان یابی	EF	RMSE	R
2009-2010	Ordinary Kriging Spherical	0 /08	0 /14	0 /86
	Ordinary Kriging Circular	0 /12	0 /14	0 /87
	Ordinary Kriging Exponential	-0 /07	0 /15	0 /85
	Ordinary Kriging Gaussian	0 /03	0 /14	0 /87
	Simple Kriging Spherical	0 /10	0 /14	0 /76
	Kriging Spherical Universal	0 /08	0 /14	0 /86
	Simple Kriging Circular	0 /29	0 /12	0 /87
	Universal Kriging Circular	0 /12	0 /14	0 /87

جدول 8- ارزیابی روش های ANFIS و کریجینگ (دوره خشک -

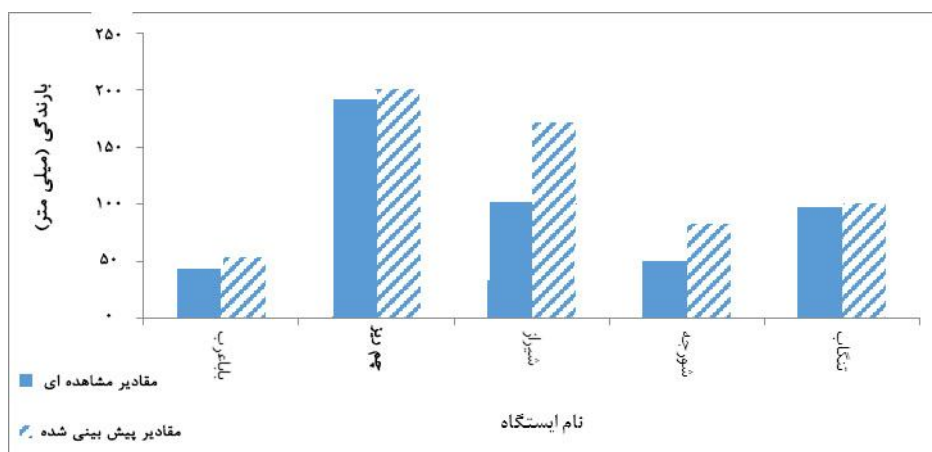
سالی 2009 - 2010)

روش میان یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/13	0/75	0/26
KRIGING	0/12	0/87	0/29

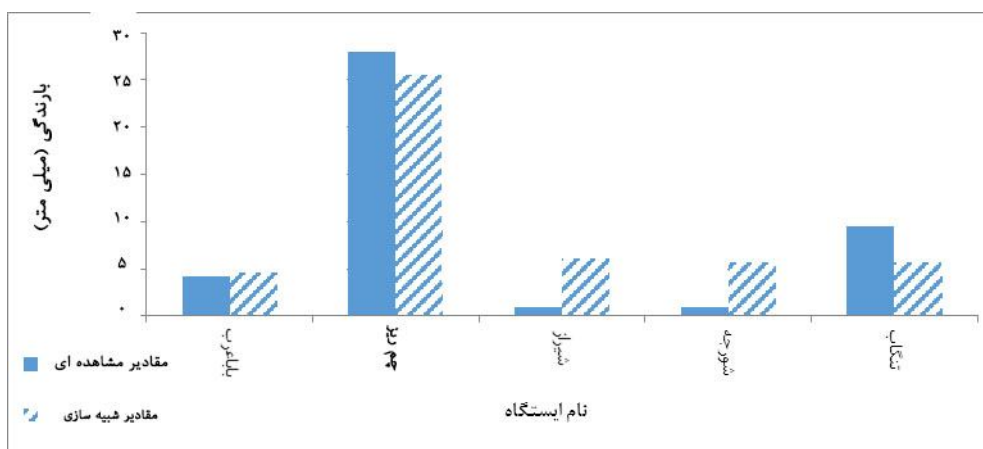
جدول 7- ارزیابی روش های ANFIS و کریجینگ (دوره خشک -

سالی 2008-2009)

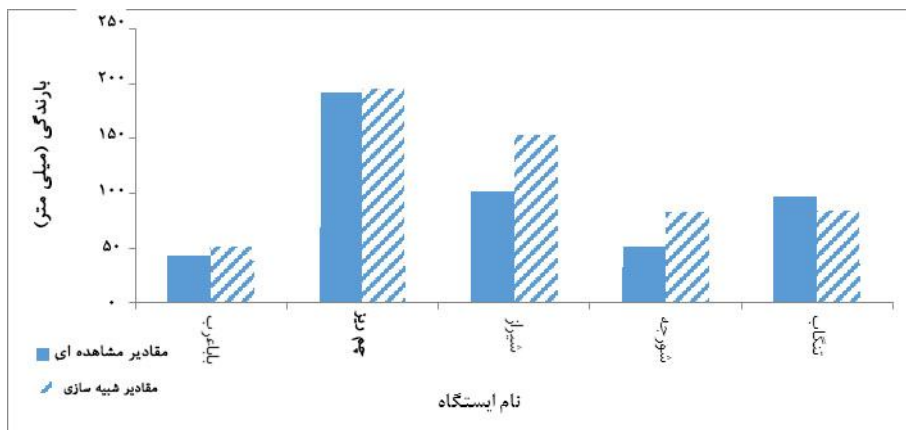
روش میان یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/176	0/61	-0/70
KRIGING	0/14	0/62	-0/03



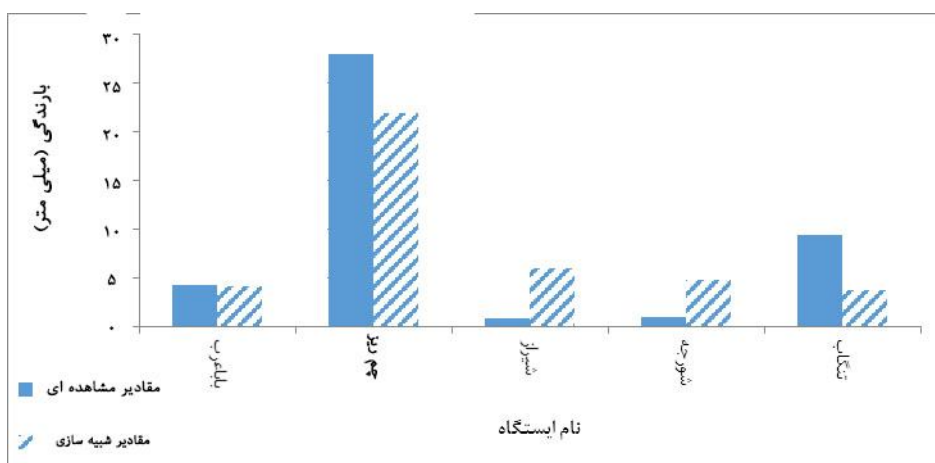
شکل 11- نمودار مقایسه ای داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره نرمال ماه اردیبهشت 2007 - 2006 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 12- نمودار مقایسه ای داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده در دوره نرمال ماه آذر 2007 - 2006 با استفاده از مدل ANFIS



شکل 13- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره نرمال ماه اردیبهشت 2007-2006 با استفاده از روش کریجینگ



شکل 14- نمودار مقایسه‌ای داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره نرمال ماه آذر 2007-2006 با استفاده از روش کریجینگ

جزرمیانگین مربعات خطا و شاخص کارایی مدل محاسبه و در جداول 9 و 10 نشان داده شده است.

در هرکدام از ماه‌های اردیبهشت و آذر سال 2007-2006 بارندگی ایستگاه‌های مشخص شده با هشت نیم تغییرنمای مدل کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر ضریب همبستگی،

جدول 9- روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ در بارندگی ماهانه استان فارس بر اساس شاخص‌های آماری (دوره نرمال اردیبهشت 2007-2006)

ماه	روش‌های مختلف میان‌یابی	EF	RMSE	R
اردیبهشت 2006-2007	Ordinary Kriging Spherical	0 /61	0 /15	0 /84
	Ordinary Kriging Circular	0 /60	0 /15	0 /83
	Ordinary Kriging Exponential	0 /64	0 /14	0 /85
	Ordinary Kriging Gaussian	0 /61	0 /15	0 /84
	Simple Kriging Spherical	0 /70	0 /13	0 /91
	Kriging Spherical Universal	0 /61	0 /15	0 /84
	Simple Kriging Circular	0 /72	0 /13	0 /91
	Universal Kriging Circular	0 /60	0 /15	0 /83

جدول 10 - روش‌های مختلف درون‌یابی کریجینگ در بارندگی ماهانه استان فارس بر اساس شاخص‌های آماری (دوره نرمال آذر 2006-2007)

ماه	روش‌های مختلف میان‌یابی	EF	RMSE	R
آذر 2006-2007	Ordinary Kriging Spherical	0/78	0/12	0/92
	Ordinary Kriging Circular	0/76	0/13	0/91
	Ordinary Kriging Exponential	0/77	0/12	0/93
	Ordinary Kriging Gaussian	0/69	0/14	0/87
	Simple Kriging Spherical	0/34	0/21	0/80
	Kriging Spherical Universal	0/78	0/12	0/92
	Simple Kriging Circular	0/33	0/21	0/78
	Universal Kriging Circular	0/76	0/13	0/91

استان فارس به پیش‌بینی بارندگی با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی - تطبیقی (ANFIS) و مدل‌های زمین آماری (کریجینگ) پرداخته شده است. به منظور بررسی بیش‌تر توانایی این مدل‌ها نتایج حاصل از دو روش مذکور با استفاده از شاخص‌های آماری در سه دوره ترسالی، خشک‌سالی و وضعیت نرمال مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از این بررسی مناسب‌ترین روش جهت پیش‌بینی بارندگی در استان فارس مشخص و مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل از این تحقیق در دوره ترسالی (سال‌های 1993-1992 و 2005-2004) با توجه به نتایج هر سه شاخص آماری (EF, R, RMSE) سیستم استنتاج فازی - عصبی - تطبیقی (ANFIS) نتایج بهتری را نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر R در مدل ANFIS همچنین دقت پیش‌بینی در این مدل را نسبت به مدل کریجینگ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعه Banik و همکاران در سال 2009 که با بررسی مدل‌های مختلف پیش‌بینی بارش در بنگلادش نشان دادند در مدل ANFIS دقت پیش‌بینی بارش نسبت به مدل‌های ANN, MR و GA از بیش‌ترین مقدار برخوردار است (Binak, et al., 2009). همچنین Ghalhari و همکاران با بررسی هر دو مدل کریجینگ و ANFIS بارش زمستانه در مشهد را بررسی کردند و نشان دادند مدل ANFIS در پیش‌بینی دقت بهتر و قابل قبولی دارد (Ghalhari and Shakeri., 2015). در دوره خشک‌سالی (سال‌های 2009-2008 و 2010-2009) نتایج حاصل از مقایسه دو روش با استفاده از شاخص‌های آماری نشان داد روش کریجینگ مناسب‌تر است. در دوره نرمال (اردیبهشت 2007-2006 و آذر 2007-2006) نتایج بدست آمده یکسان نبود بطوری‌که در اردیبهشت 2007-2006 روش کریجینگ و در آذر 2007-2006 سیستم استنتاج فازی - عصبی - تطبیقی (ANFIS) نتایج قابل قبول‌تری را نشان داد. علت تفاوت در نتایج بین دوره‌های مختلف می‌تواند به دلیل شرایط آب و هوایی مختلف تعداد آمارها و صحت آن‌ها باشد. تحقیق شریفان و امیری (1393) در مقایسه سیستم استنتاج فازی عصبی و روش زمین آمار نشان داد.

با توجه به جدول‌های فوق مشخص می‌شود بهترین روش برازش یافته برای ماه‌های اردیبهشت و آذر سال 2006-2007 با توجه به بالاترین ضریب همبستگی و کم‌ترین مقدار جذرمیانگین مربعات خطا و نزدیک‌ترین شاخص کارایی مدل به یک، به ترتیب روش‌های Simple Kriging Circular در ماه اردیبهشت و Ordinary Kriging Spherical و Universal Kriging Spherical در ماه آذر می‌باشد.

به منظور کمی‌سازی نتایج نیز مقایسه دو روش ANFIS و کریجینگ با استفاده از شاخص‌های آماری نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد در ماه اردیبهشت 2007-2006، روش کریجینگ با توجه به مقدار کم‌تر شاخص RMSE و مقادیر بالاتر ضریب همبستگی و شاخص کارایی مدل مناسب‌تر است (جدول 11). در ماه آذر 2007-2006 برعکس روش ANFIS دارای شاخص RMSE کم‌تر و مقادیر بالاتر ضریب همبستگی و شاخص کارایی مدل بالاتری می‌باشد (جدول 12).

جدول 11 - ارزیابی روش‌های ANFIS و کریجینگ (دوره نرمال ماه اردیبهشت 2006-2007)

روش میان‌یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/16	0/90	0/57
KRIGING	0/13	0/91	0/72

جدول 12 - ارزیابی روش‌های ANFIS و کریجینگ (دوره نرمال ماه آذر 2006-2007)

روش میان‌یابی	RMSE	R	EF
ANFIS	0/09	0/94	0/88
KRIGING	0/12	0/92	0/78

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک

and genetic algorithm approaches. *International Technology Management Review*. 2.1:1-18.

Dehghani, A.A., Asgari, M., Mosaedi, A. 2009. Comparison of Geostatistics, Artificial Neural Networks and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Approaches in Groundwater Level Interpolation (Case study: Ghazvin aquifer). *J. Agric. Sci. Natur. Resour.*, Vol. J.6: 517-529.

Farahmand, A.R., Manshouri, M., Liaghat, A and Sedghi, H. 2010. Comparison of kriging, ANN and ANFIS models for spatial and temporal distribution modeling of groundwater contaminants. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 8.3-4: 1146-1155.

Ghalhari, G.A., Shakeri, F. 2015. Prediction of winter rainfall using Adaptive Fuzzy Neural Networks, Case study: Khorasan Razavi Province, Iran. *Advances in Environmental and Geological Science and Engineering*. 2: 412-427

Jang, J.S.R., Sun, C.T and Mizutani, E. 1997. *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice-Hall International. New Jersey.

Kurtulus, B and Nicolas, F. 2012. Hydraulic head interpolation using ANFIS-model selection and sensitivity analysis. *Computers and Geosciences*. 38.1: 43-51.

در مجموع هیچ‌کدام از دو روش نتایج قابل قبولی نداشته و هیچ روشی مزیت قطعی نسبت به روش دیگر ندارد. در تحقیق حاضر نیز با قطعیت نمی‌توان گفت کدام روش بهتر و مناسب‌تر است. این پژوهش فقط جهت دو سال آماری مورد بررسی قرار گرفته است. اما با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان عنوان نمود که روش سیستم استنتاج فازی - عصبی - تطبیقی (ANFIS) می‌تواند جهت تخمین داده‌های بارش روش مناسبی باشد و با در نظر گرفتن طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها و آموزش مدل می‌توان نتایج قابل قبولی را به‌خصوص در دوره‌های خشک و نرمال انتظار داشت.

## منابع

نوری، ف.، حقی‌زاده، ع. 1394. شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب با استفاده از شبکه عصبی - مصنوعی و سیستم فازی عصبی تطبیقی و رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خرم‌آباد). صفحه ۲۴۲-۲۳۳

نورانی، و صالحی، ک. 1387. مدل‌سازی بارش - رواناب با استفاده از شبکه عصبی فازی تطبیقی و مقایسه آن با روش‌های شبکه عصبی و استنتاج فازی، مطالعه موردی حوضه آبخیز ليقوان چای واقع در استان آذربایجان شرقی. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران اردیبهشت 1387.

Banik, S., Anwer, M., Khodadad Khan, A.F.M., Ara Rouf, R., Chanchary, F. 2009. Forecasting Bangladeshi monsoon rainfall using neural network

## Comparative Evaluation of Adaptive Neuro-fuzzy Inference System (ANFIS) and Common Interpolation Methods of Rainfall Estimation in Fars Province

T. Abbasi<sup>1</sup>, S. A. Shamsnia<sup>2\*</sup>

Received: Dec.10, 2016

Accepted: May.25, 2017

### Abstract

In examination of hydrologic issues and water resources, analysis of rainfall information has special importance. Due to various restriction, lack of harvest and visit reading rate of rainfall, limited us to access these information. So apply the methods of estimating water level in specific points is important in the various studies, on the base information of contiguous points. In this research, the common methods of interpolation, Kriging ground statistics and adaptive neuro-fuzzy ablation system were evaluated in Fars province. In this study, 20 synoptic stations of Fars province has been used during 29 years statistical period from 1981-1982 until 2009-2010. Through the investigation was done, December in years of 1992-1993 and 2004-2005 as the best pattern of wetness and April in years of 2008-2009 and 2009-2010 as the best pattern of drought period and also April and November in the 2006-2007 was chose as the annual normal pattern. In Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for each of the above years, the number of membership, Gauss2mf, Gsusmf and Gbell were evaluated separately. It's noticeable that at first consider 15 stations as a training in this system and 5 station Tongab, Shourjeh, Baba Arab, Shiraz and Chamriz were evaluated. In this project rating of RMSE,  $R^2$  and EF evaluated and compared by two methods of Kriging and Adaptive neuro-fuzzy inference system. According to the obtained results it became clear that in the wetness periods Adaptive neuro-fuzzy inference system, provided more acceptable results. Also during the drought period for predict the rainfall, Kriging method is suggested. The most accurate results are obtained in normal periods in April by Kriging method and in November by Adaptive neuro-fuzzy inference system method.

**Keywords:** Fars province, Neuro-Fuzzy Inference System, Estimating Precipitation, Kriging

---

1-Department of Water Engineer, Shiraz Unit, Islamic Azad University of Shiraz, Shiraz, Iran  
2- Department of Water Engineer, Shiraz Unit, Islamic Azad University of Shiraz, Shiraz, Iran  
(\*\_Corresponding Authour Email: ashamsnia\_82@yahoo.com)