ارزیابی دقت روش‌های میان‌یابی در برآورد متوسط بارش ماهانه و سالانه جهت تهیه نقشه‌های هم‌بارش در استان چهارمحال و بختیاری

محبوبه غزالی[1]، سید حسن طباطبائی[2] و فاطمه محمدی[3]

1 و3- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

چکیده

در بسیاری از مطالعات و بررسی‌های منابع طبیعی و کشاورزی به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری نقطه‌ای باران، برآورد بارش منطقه‌ای و یا تخمین بارش در مناطق مابین ایستگاه‌ها امری ضروری است. برای حل این مسئله روش‌های مختلفی وجود دارد که از جمله آن‌ها استفاده از روش‌های میان‌یابی می‌باشد که دارای دقت متفاوتی هستند. در این تحقیق دقت روش‌های مختلف میان‌یابی جهت برآورد متوسط بارش ماهانه و سالانه استان چهارمحال و بختیاری به‌منظور تهیه نقشه‌های هم‌بارش، مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای بررسی خطای روش‌ها و انتخاب بهترین روش میان‌یابی در تعیین متوسط بارش‌ها از فن اعتبارسنجی حذفی استفاده شد. برای مقایسه آماری مدل‌ها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE) و ضریب (R^2) استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش میان‌یابی انحنای کمینه، دقیق‌ترین روش میان‌یابی بارش در استان چهارمحال و بختیاری از نظر میزان ضریب تبیین (R^2>0/928)، میزان RMSE ماهانه (حداکثر 12 میلی‌متر) و میزان RMSE سالانه (حداکثر 50 میلی‌متر) می‌باشد. در نهایت نقشه‌های هم‌بارش ماهانه و سالانه با استفاده از روش انحنای کمینه تهیه گردید.

کلمات کلیدی: میان‌یابی، اعتبارسنجی حذفی، بارندگی و نقشه‌های هم‌بارش.

مقدمه

میان‌یابی لازمه‌ی مطالعه و بررسی پهنه‌های مکانی- اقلیمی است. این ضرورت به‌علت کمبود امکانات در تاسیس ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی در مقیاس گسترده است. کمبود ایستگاه‌هایی که به‌طور کامل حاوی چنین مشخصاتی باشند، اقلیم‌شناسان را ملزم به رعایت اصول معینی در میان‌یابی می‌سازد. به فرآیند برآورد ارزش کمی، برای نقاط فاقد داده، به‌کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده موسوم هستند) میان‌یابی گویند. این فرآیند به‌دلیل محدودیت داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به‌منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش انجام می‌گیرد. بنابراین میان‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (9).

در علوم و مهندسی آب، کاربردهای فراوانی از روش‌های میان‌یابی در برآورد چگونگی توزیع بارندگی و تخمین فراسنج‌های ژئوهیدرولوژی نظیر مقدار رطوبت خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع، اسیدیته، تعیین سطح ایستابی و ... به چشم می‌خورد. برآورد بارش در مناطق فاقد آمار و مابین ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه‌های آبریز از موارد مهم در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب می‌باشد. روش‌های کلاسیک مانند رگرسیون خطی از رایج‌ترین روش‌ها در برآورد بارندگی حاصل از تعمیم داده‌های نقطه‌ای به داده‌های منطقه‌ای است. روش تیسن[1] از جمله روش‌های میان‌یابی است که دارای محاسبات آسان و سریع است، اما عدم وجود دقت لازم در این برآوردها، گاهی منجر به حصول نتایج غیرقابل قبول می‌گردد. در روش‌های مشابه دیگر نیز، بدون در نظر گرفتن ساختار فضایی و موقعیت نسبی نقاط برآورد صورت می‌گیرد (8).

مهدوی و همکاران (13)، سه روش میان‌یابی کریجینگ[2] (معمولی و کوکریجینگ[3]) و کریجینگ با یا بدون متغیر کمکی را در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه

1. Tissen
2. Kriging
3. Cokriging

در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران مقایسه نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که روش کریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع، مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه می‌باشد. سلیمانی و همکاران (7)، به تحلیل منحنی‌های عمق- سطح- تداوم بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از دو روش میان‌یابی کریجینگ و عکس فاصله[1] در منطقه کفه نمک سیرجان پرداختند. نتایج این ارزیابی نشان داد که در منطقه مورد مطالعه روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بهتر از روش عکس فاصله است. میثاقی و محمدی (15)، با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک (رگرسیون) و زمین آمار (کریجینگ، کوکریجینگ) برای استخراج خطوط هم‌باران جهت پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی تحقیقی را انجام دادند و در ادامه از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان یک درون‌یاب مستقل استفاده نموده و نتایج حاصل از الگوریتم و مدل‌های مذکور را با هم مقایسه نمودند. نتایج نشان دهنده برتری روش‌های زمین آماری و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. غفوریان و تلوری (10)، برای ترسیم نقشه‌های هم‌باران رگبارها جهت تهیه منحنی‌های عمق- سطح- تداوم استان خراسان روش‌های مختلف میان‌یابی (کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و روش عکس فاصله) را مورد آزمون قرار دادند. مهدی‌زاده و همکاران (14)، به بررسی کارایی روش‌های زمین آماری در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که روش اسپلاین[2] با توان 2 و بدون متغیر کمکی ارتفاع برای بارندگی و همین روش با توان 2 و متغیر کمکی ارتفاع برای مجموع سالانه گرمای فعال[3] مناسب‌تر است. مقایسه خطای حاصل از روش‌های زمین آماری مورد استفاده در این تحقیق با روش گرادیان، برتری روش زمین آماری بر روش کلاسیک (گرادیان) را نشان می‌دهد. عساکره (9)، با بررسی میزان خطای برآوردی و درصد آن و انحراف استاندارد نقشه‌ها نشان داد که برازش مدل خطی بر نیمه پراش‌نگار[4] بهترین الگو برای میان‌یابی بارش 26 اسفند ماه 1376 ایران زمین براساس روش کریجینگ است.

شمسایی و همکاران (8)، در تحقیقی با استفاده از GIS روش‌های میان‌یابی وزن‌دهی عکس فاصله[5]، توابع پایه شعاعی[6]، کریجینگ و کوکریجینگ را برای برآورد توزیع مکانی دو طوفان بزرگ در حوضه آبریز سد دز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در مجموع روش‌های کریجینگ نتایج منطقی‌تری ارائه می‌دهد. ادب و همکاران (2)، به ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی برپایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) در تهیه نقشه‌ی هم‌بارش سالانه در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده مناسب بودن مقادیر میان‌یابی بارش سالانه استان خراسان رضوی با روش رگرسیون خطی سینوسی بر پایه DEM است. امیدوار و خسروی (3)، به ارزیابی روش‌های کریجینگ دایره‌ای، نمایی، گوسی، چهار وجهی منتظم و کروی در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های SPI[7] دارای مدل نمایی هستند و تغییرات مکانی آن‌ها با این مدل قابل توجیه است. رزمخواه و همکاران (5)، در بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با استفاده از روش کریجینگ دریافتند که برازش مدل گوسی به روش کریجینگ با دامنه 200 کیلومتر بر سمی واریوگرام، بهترین الگو برای میان‌یابی متوسط بارش سالانه در استان فارس می‌باشد.

آبتو و همکاران (16)، در برآورد بارش ماهانه، روش کریجینگ را برای جنوب فلوریدا توصیه نمودند. گوارتس (17)، روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ با روند خارجی و کوکریجینگ را برای برآورد بارندگی سالانه و

1. Inverse distance weight
2. Spline thin plate smoothing (TPSS)
3. Active heat
4. Semivariogram
5. Inverse Distance to a power
6. Radial Basis function
7. Standardize precipitation index (SPI)

دمای 36 ایستگاه کلیماتولوژی در ناحیه‌ای به وسعت 5000 کیلومتر مربع در کشور پرتغال بررسی کرد. در مقایسه روش‌های ذکر شده با روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ معمولی، روش کریجینگ ساده مناسب‌ترین روش شناخته شد. ثقفیان و همکاران (19)، چند روش درون‌یابی تیسن، میانگین متحرک وزنی، رویه متحرک، رویه چند جمله‌ای و کریجینگ را برای یک طوفان یک روزه در سال 1369 در جنوب غرب ایران بررسی کردند که روش میانگین وزنی با توان 3 بیشترین دقت را نشان داد. هابرلندت (18)، روش‌های میان‌یابی زمین آمار را بر روی داده‌های ساعتی طوفان ثبت شده از رادار و باران‌سنج بکار گرفت.

بررسی‌های فوق نشان می‌دهد که روش مناسب برای میان‌یابی و برآورد یک متغیر، به نوع آن و عوامل منطقه‌ای تاثیر گذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی روش‌های مختلف میان‌یابی برای برآورد متوسط بارش ماهانه و سالانه در استان چهارمحال و بختیاری و در نهایت انتخاب مدلی بهینه جهت استخراج نقشه‌های هم‌بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد که با مساحت 16532 کیلومترمربع در قسمت جنوب‌غربی کشور واقع است. به‌دلیل قرار گرفتن کل استان روی سلسله جبال زاگرس از نظر ارتفاع از سطح دریا جزو استان‌های مرتفع کشور محسوب می‌شود. رشته کوه‌های زاگرس که تقریباً کلیه مناطق غربی کشور را احاطه نموده‌اند و موقعیت جغرافیایی این استان، موجب بارش فراوان در ارتفاعات و پراکندگی بارش‌ها در استان شده است.

اطلاعات مورد نیاز برای انجام این پژوهش که شامل متوسط بارش ماهانه و سالانه می‌باشد، از اداره کل هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری تهیه گردید. این اطلاعات مربوط به 44 ایستگاه (32 ایستگاه باران‌سنجی، 7 ایستگاه کلیماتولوژی و 5 ایستگاه سینوپتیک) می‌باشند که در نقاط مختلف استان قرار دارند. در این تحقیق از آمار بارندگی کل ایستگاه‌های هواشناسی مربوط به سال‌های 2003، 2004 و 2005 استفاده گردید. شکل 1، پراکندگی ایستگاه‌های موردنظر را نشان می‌دهد.

ریزش‌های جوی در استان چهارمحال و بختیاری از مهرماه آغاز و در دی ماه به بیشترین مقدار و سپس تا اردیبهشت کم می‌شود. درصد بارش ماهانه در فاصله آبان تا اردیبهشت بیش از 90 درصد بارش سالانه و در فاصله خرداد تا مهر کمتر از 10 درصد بارش سالانه را تشکیل می‌دهد (11).

از بین آمار موجود برای 12 ماه هر سال، پنج ماهِ ژوئن، ژولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر همان‌طور که در شکل 2، دیده می‌شود، به‌دلیل عدم وقوع بارش و یا نزدیک به صفر بودن بارش در آن‌ها حذف گردید و تحقیق بر روی اطلاعات بارندگی ماهانه و سالانه، ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آپریل و می (که تقریباً بازه زمانی آبان تا اردیبهشت هر سال را در بر می‌گیرد) انجام گردید.

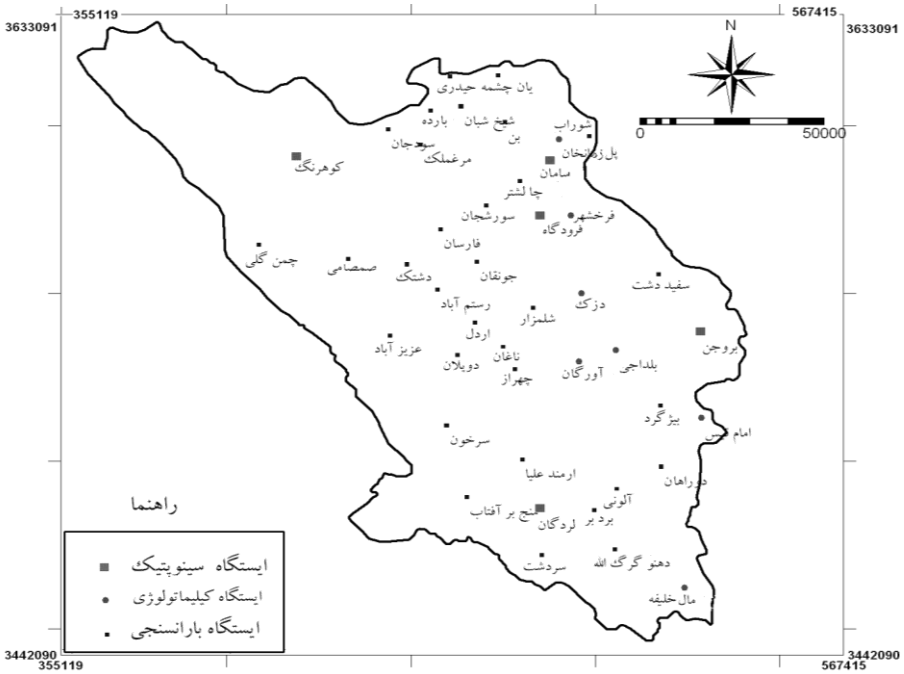
معادله کلی میان‌یابی به‌صورت معادله (1) است و تفاوت روش‌های مختلف در نحوه برآورد فاکتور وزنی این معادله می‌باشد (8):

$$\hat{Z}(s_0)=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i Z(s_i) \qquad (1)$$

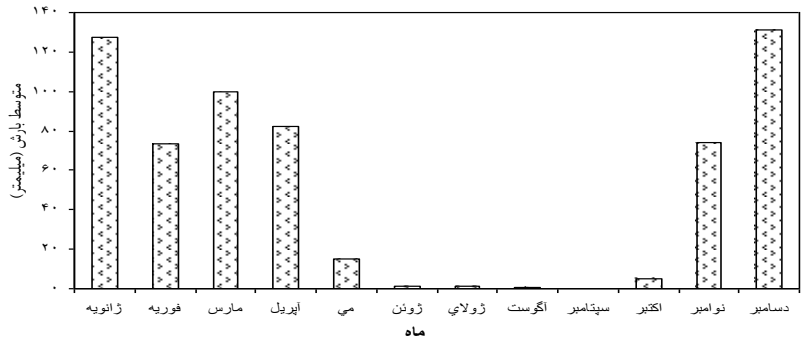
که در آن: $\hat{Z}(s_0)$:مقدار برآوردشده بارندگی در موقعیتS_0، $Z(s_i)$:مقدار اندازه‌گیری شده در موقعیت S_i، λ_i :فاکتور وزنی ایستگاه در موقعیت S_i، i :معرف نقاط اندازه‌گیری شده و N :تعداد کل ایستگاه‌ها است.

مدل‌های مورد استفاده جهت برازش شامل: روش توان‌دهی عکس فاصله، روش کریجینگ، روش انحنای

کمینه، روش نزدیک‌ترین همسایه، روش رگرسیون چند جمله‌ای، روش میانگین متحرک، روش توابع پایه شعاعی و روش چند جمله‌ای مکانی[1] می‌باشند.



شکل 1: پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری (بر حسب مختصات UTM)



شکل 2: متوسط بارندگی ماهانه ایستگاه‌های موردنظر در سال‌های 2003، 2004 و 2005

برای بررسی خطای هر روش میان‌یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین متوسط بارندگی ماهانه در این تحقیق از فن اعتبارسنجی حذفی (CV)[1]، استفاده شد. در این روش برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری شده که معمولاً تنها ابزار مقایسه می‌باشند، می‌توان تخمین انجام داد سپس به مقایسه مقدار مشاهده‌ای و تخمینی پرداخت. بدین ترتیب که در روش CV یک نقطه حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش میان‌یابی موردنظر، برای این نقطه تخمین صورت می‌گیرد. سپس این نقطه به محل خود برگردانده می‌شود و نقطه‌ی بعدی حذف می‌گردد. به‌همین ترتیب مقدار تمام نقاط برآورد می‌شود. در پایان دو ستون به‌دست می‌آیدز یکی ستون مقادیر مشاهده‌ای و دیگری ستون مقادیر برآورد شده که می‌توان با مقایسه این دو ستون، با استفاده از معیارهای مختلف نسبت به انتخاب بهترین

1. Local Polynomial

2. Cross-Validation (CV)

روش اقدام نمود. با ترسیم مقادیر این دو ستون در مقابل هم و با برازش خط مستقیم بر آن‌ها و محاسبه ضریب تبیین (R^2)، میزان دقت هر کدام از روش‌های اعمال شده تعیین شد. همچنین جهت مقایسه مدل‌ها از مقادیر ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE) برای هر مدل استفاده گردید. مقدار RMSE از معادله‌ی (2) قابل محاسبه می‌باشد:

(2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_p - x_{\exp})^2}{n}}$$

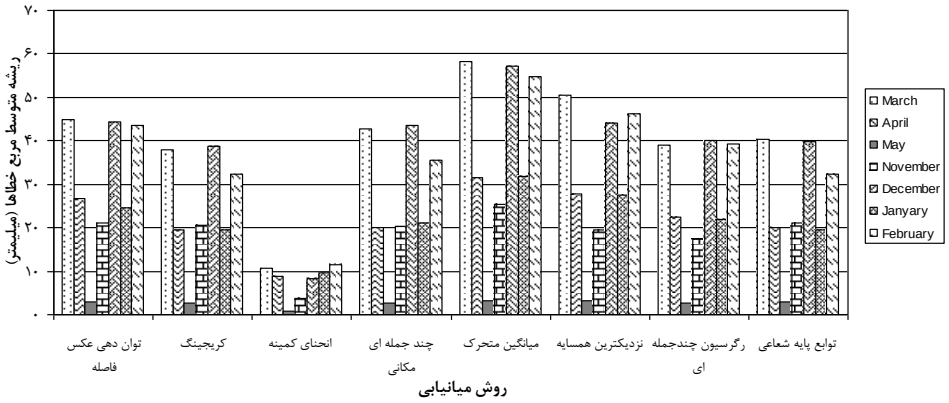
در این فرمول، $x_{\exp}$:مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده x_p : مقادیر برآورد شده توسط مدل است. هرچه مقدار RMSE کمتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود.

نتایج و بحث

شکل 4، مقادیر محاسبه شده ضریب RMSE برای متوسط بارش سالانه در سال‌های 2003، 2004 و 2005 را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش انحنای کمینه (با RMSE<50 میلی‌متر) دقیق‌ترین روش برای برآورد متوسط بارش سالانه بر مبنای این شاخص می‌باشد.

جداول 1، 2 و3 مقادیر محاسبه شده ضریب R^2 را برای متوسط بارش‌های ماهانه و جدول 4، برای متوسط بارش‌های سالانه در سال‌های 2003 ،2004 و 2005 ارائه می‌نماید. با توجه به این مقادیر مشاهده می‌شود که روش انحنای کمینه دارای بالاترین مقدار R^2 (R^2>0/928)، برای متوسط بارش‌های ماهانه و سالانه بوده و لذا دقیق‌ترین روش می‌باشد.

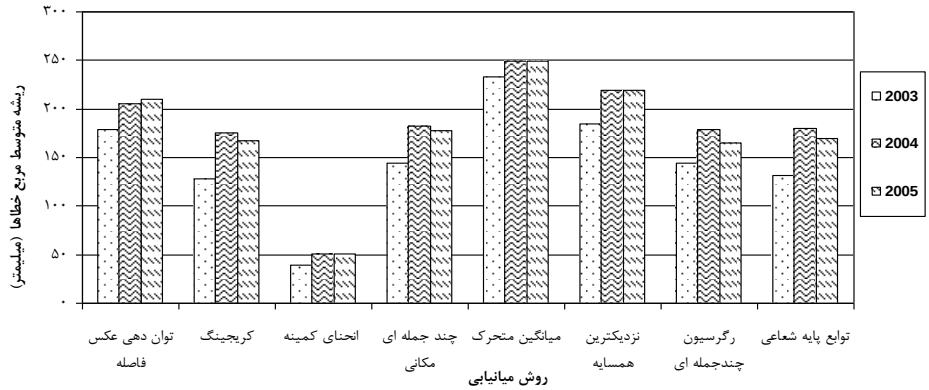
شکل 3، متوسط مقادیر محاسبه شده ضریب RMSE برای سال‌های 2003، 2004 و 2005 در ماه‌های مورد نظر را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش انحنای کمینه (با RMSE<12 میلی‌متر) دقیق‌ترین روش برای برآورد متوسط بارش ماهانه بر مبنای این شاخص می‌باشد و روش‌های کریجینگ و توابع پایه شعاعی (با میانگین مقدار RMSE حدود 20 میلی‌متر) که تقریباً دارای دقت برابری می‌باشند، در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس این شکل، روش‌های میانگین متحرک و نزدیک‌ترین همسایه داری بیشترین مقدار خطا (در حدود 50 میلی‌متر) در بین روش‌های میان‌یابی هستند. این نمودار برتری قابل توجه روش انحنای کمینه نسبت به سایر روش‌ها را نشان می‌دهد در حالی که سایر روش‌ها از نظر دقت تفاوت زیادی با هم ندارند.



شکل 3: متوسط مقادیر محاسبه شده ضریب RMSE برای سه سال مورد تحلیل در ماه‌های موردنظر.

با توجه به نتایج ارائه شده، مشاهده شد که روش انحنای کمینه بیشترین دقت را برای میان‌یابی بارش‌های ماهانه و سالانه در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی شده از نظر میزان R^2 و RMSE در استان چهارمحال و بختیاری دارد. روش کریجینگ در این مطالعه، در اولویت دوم برای میان‌یابی پارامترهای موردنظر قرار می‌گیرد ولی برتری روش انحنای کمینه محسوس می‌باشد.

لذا نقشه‌های هم‌بارش ماهانه و سالانه در این استان با استفاده از این روش ترسیم گردیدند که در شکل‌های 5 و 6 نشان داده شده‌اند.



شکل 4: مقادیر محاسبه شده ضریب RMSE برای متوسط بارش سالانه در سال‌های 2003، 2004و 2005.

جدول 1: مقادیر محاسبه شده ضریب R^2 برای سال 2003 در ماه‌های موردنظر

ماه / روش میان‌یابی	مارس	آپریل	می	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه
توان‌دهی عکس فاصله	0/5	0/456	0/379	0/41	0/485	0/52	0/5
کریجینگ	0/57	0/63	0/4	0/38	0/57	0/62	0/65
انحنای کمینه	0/97	0/937	0/94	0/98	0/98	0/94	0/97
چند جمله‌ای مکانی	0/52	0/61	0/43	0/404	0/48	0/57	0/59
میانگین متحرک	0/018	0/035	0/24	0/013	0/095	0/006	0/009
نزدیکترین همسایه	0/3	0/27	0/215	0/456	0/465	0/32	0/33
رگرسیون چند جمله‌ای	0/54	0/499	0/44	0/534	0/54	0/53	0/48
توابع پایه شعاعی	0/53	0/61	0/337	0/35	0/55	0/63	0/65

جدول 2: مقادیر محاسبه شده ضریب R^2 برای سال 2004 در ماه‌های موردنظر

ماه / روش میان‌یابی	مارس	آپریل	می	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه
توان‌دهی عکس فاصله	0/21	0/35	0/667	0/35	0/495	0/48	0/45
کریجینگ	0/205	0/38	0/655	0/39	0/54	0/61	0/52
انحنای کمینه	0/93	0/94	0/96	0/97	0/95	0/95	0/95
چند جمله‌ای مکانی	0/12	0/36	0/67	0/28	0/48	0/64	0/53
میانگین متحرک	0/0046	0/012	0/407	0/153	0/07	0/1	0/0011
نزدیکترین همسایه	0/25	0/16	0/598	0/313	0/37	0/41	0/322

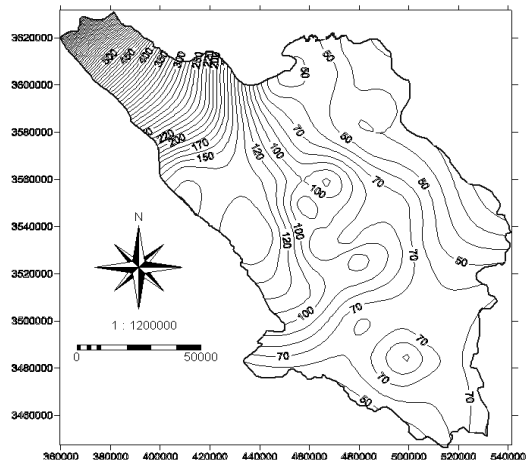
رگرسیون چند جمله‌ای	0/108	0/398	0/62	0/308	0/61	0/595	0/33
توابع پایه شعاعی	0/21	0/35	0/64	0/38	0/49	0/597	0/49

جدول 3: مقادیر محاسبه شده ضریب R^2 برای سال 2005 در ماه‌های موردنظر

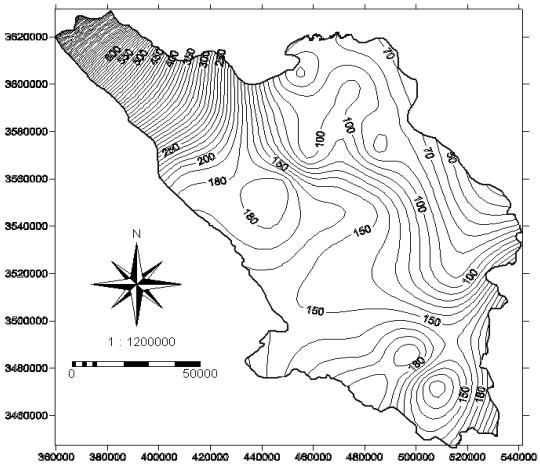
ماه / روش میان‌یابی	مارس	آپریل	می	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه
توان‌دهی عکس فاصله	0/43	0/507	0/497	0/44	0/297	0/179	0/467
کریجینگ	0/538	0/34	0/443	0/405	0/305	0/32	0/59
انحنای کمینه	0/955	0/961	0/93	0/934	0/928	0/95	0/975
چند جمله‌ای مکانی	0/45	0/52	0/46	0/44	0/24	0/396	0/57
میانگین متحرک	0/142	0/024	0/388	0/0048	0/047	0/009	0/023
نزدیکترین همسایه	0/286	0/34	0/33	0/124	0/25	0/02	0/31
رگرسیون چند جمله‌ای	0/458	0/53	0/57	0/57	0/495	0/433	0/5
توابع پایه شعاعی	0/533	0/499	0/398	0/34	0/298	0/304	0/57

جدول 4: مقادیر محاسبه شده ضریب R^2 برای متوسط بارش سالانه در سال‌های (2003، 2004 و 2005)

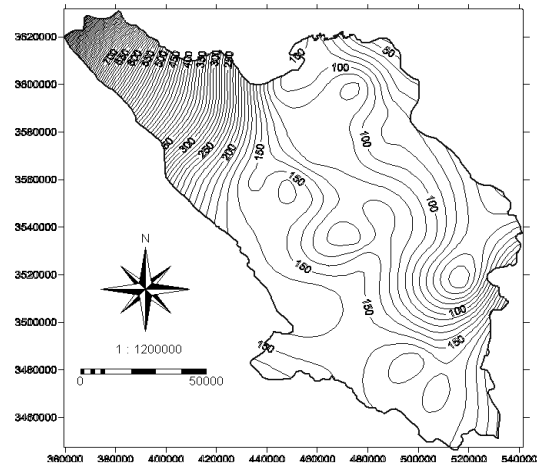
سال / روش میان‌یابی	2003	2004	2005
توان‌دهی عکس فاصله	0/56	0/39	0/46
کریجینگ	0/7	0/5	0/56
انحنای کمینه	0/98	0/97	0/97
چند جمله‌ای مکانی	0/64	0/49	0/53
میانگین متحرک	0/009	0/022	0/019
نزدیکترین همسایه	0/39	0/26	0/26
رگرسیون چند جمله‌ای	0/62	0/48	0/57
توابع پایه شعاعی	0/68	0/49	0/55



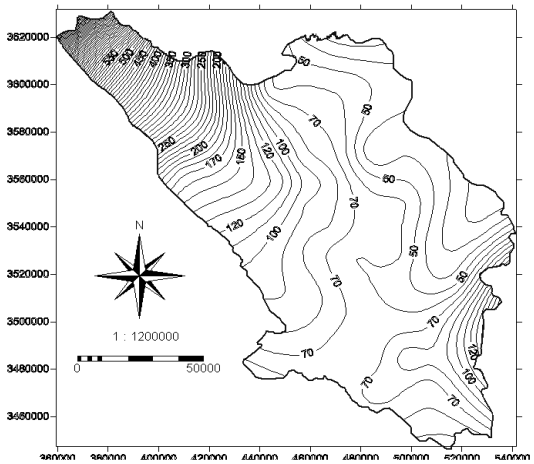
الف) نقشه‌ی هم‌بارش نوامبر



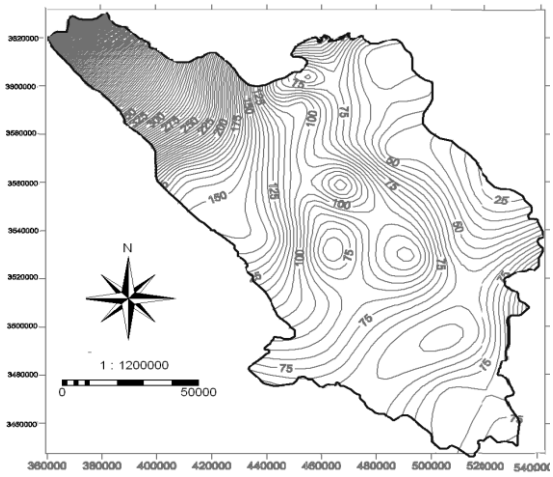
ب) نقشه‌ی هم‌بارش دسامبر



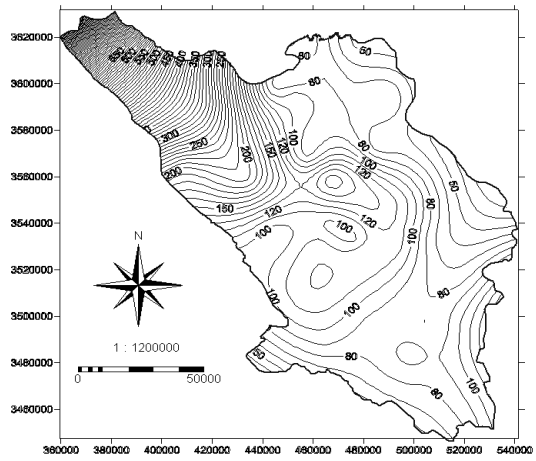
د) نقشه‌ی هم‌بارش فوریه



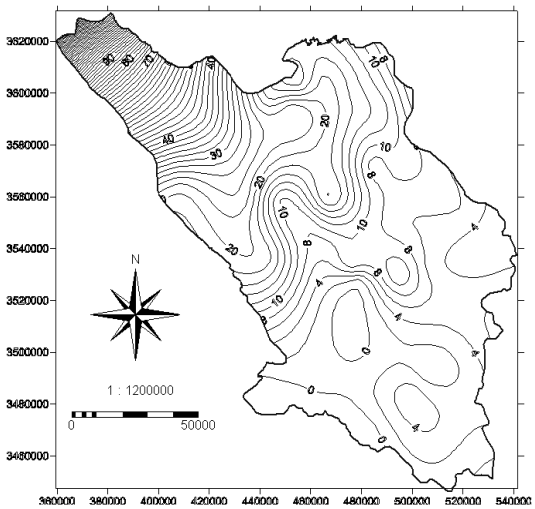
ج) نقشه‌ی هم‌بارش ژانویه



ه) نقشه‌ی هم‌بارش آپریل

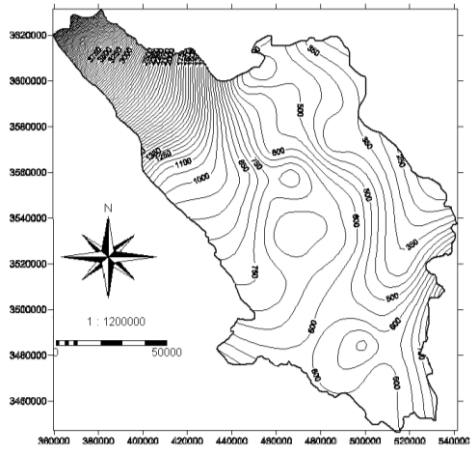


و) نقشه‌ی هم‌بارش مارس



ی) نقشه‌ی هم‌بارش می

شکل 5 (الف تا ی): نقشه‌های هم‌بارش در ماه‌های موردنظر با استفاده از روش میان‌یابی انحنای کمینه.



شکل 6: نقشه‌ی هم‌بارش سالانه با استفاده از روش میان‌یابی انحنای کمینه.

بررسی نقشه هم بارش سالیانه که توسط روش انحنای کمینه میان یابی و ترسیم شده است نشان می‌دهد که کمترین میزان بارش در نواحی شرقی استان در حدود 250 میلیمتر در سال است. بیشترین میزان بارندگی نیز مربوط به نواحی شمال غربی استان می باشد. یکی از اشکالات مهم در تمامی روش‌های میانیابی عدم دقت این روش‌ها در برون‌یابی[1] است. در شمال غربی، آخرین ایستگاه هواشناسی ایستگاه کوهرنگ با حداکثر بارندگی 1420 میلیمتر در سال است (سایت سازمان هواشناسی استان چهارمحال و بختیاری). حال اینکه خطای ناشی از برون‌یابی مقادیر بیش از 3000 میلیمتر در سال را برای غربی‌ترین نقاط استان نشان می‌دهد که به طور یقین صحیح نیست. به همین دلیل توصیه می‌شود که در عمل از این روش‌ها برای میان یابی بارندگی استفاده گردد و در برون‌یابی با احتیاط بسیار زیاد استفاده شده و حتی الامکان استفاده نگردد.

نتیجه گیری

بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر این است که:

- روش انحنای کمینه، مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی بارش در استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.
- در مقایسه با سایر روش‌های ارزیابی شده، روش مذکور از نظر ضریب R^2 و RMSE نتایج بهتری را از خود نشان داده است. از این روش‌ها برای برون‌یابی بارندگی حتی الامکان استفاده نشود.

منابع

1- احمدالی، خ.، س.، نیک‌مهر، و ع.، لیاقت، 1387، ارزیابی روش‌های کر یجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک (مطالعه موردی: اراضی منطقه بوکان)، مجله پژوهش آب ایران، 2(3): 55-64.

2- ادب، ح.، غ.، فلاح قالهری، و ر.، میرزابیاتی، 1387، ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه DEM در تهیه نقشه هم‌بارش سالانه در استان خراسان رضوی، همایش ژئوماتیک87، تهران.

3- امیدوار، ک.، و ی.، خسروی، 1388، ارزیابی روش کریجینگ در تعیین مدلی بهینه جهت پایش شاخص بارندگی استاندارد در محیط GIS (مطالعه موردی: استان یزد)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.

4- حبشی، ه.، س.م.، حسینی، ش.، شتابی، و ج.، محمدی، 1385، ارزیابی دقت و صحت روش‌های درون‌یابی در تخمین ازت کل خاک با استفاده از GIS، سومین همایش سیستم‌های اطلاعات مکانی، قشم.

1. Extrapolation

5- رزمخواه، ه.، ع.، آخوند علی، و ب.، ثقفیان، 1388، بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه با استفاده ازتکنیک زمین آماری کریجینگ، مطالعه موردی: استان فارس، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.

6- سالاری‌جزی، م.، ح.، زارعی، و م.، تقیان، 1388، کاربرد و ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در محاسبه تراز سطح آب زیرزمینی در سطح دشت میان‌آب (سال آبی 1385-1386)، دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، اصفهان.

7- سلیمانی، ک.، م.، حبیب‌نژاد، ع.، جان آبکار، و م.، بنی اسدی، 1385، تحلیل منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارندگی با استفاده از روش‌های زمین‌آماری در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: کفه نمک سیرجان)، مجله بیابان، 11(1): 42 - 31.

8- شمسایی، ا.، ب.، ثقفیان، و دهقانی، 1386. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارندگی توفان‌های بزرگ حوضه آبریز سد دز، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد.

9- عساکره، ح.، 1387، کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش (مطالعه موردی: میان‌یابی بارش 1376/12/26 در ایران زمین)، مجله جغرافیا و توسعه، (12): 42- 25.

10- غفوریان، ر.، و ع.، تلوری، 1385، تعیین روابط عمق، مساحت و تداوم بارش در استان خراسان، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.

11- فتاحی، ر.، و م.، غزالی، 1387، بررسی احتمال وقوع بارش‌های بهاره و پاییزه جهت کشت دیم در استان چهارمحال و بختیاری، همایش خشکسالی در استان چهارمحال و بختیاری و راه‌های مقابله با آن، شهرکرد.

12- کارآموز، م.، ب.، حافظ، و ر.، کرایچیان، 1383، طراحی سیستم پایش کیفی رودخانه به روش زمین‌آماری کریجینگ، اولین کنفرانس سالانه مدیریت منابع آب ایران، تهران.

13- مهدوی، م.، ا.، حسینی چگینی، م.، مهدیان، و س.، رحیمی بندرآبادی، 1383، مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران، مجله منابع طبیعی ایران، 57(2): 17-1.

14- مهدی‌زاده، م.، م.، مهدیان، و س.، حجام، 1385، کارایی روش‌های زمین‌آماری در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله فیزیک زمین و فضا، 32(1): 116-103.

15- میثاقی، ف.، و ک.، محمدی، 1385، پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمارکلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (فرصت‌ها و چالش‌ها) شهرکرد.

16- Abtew, W., J., Obeysekera, and G., Shih, 1993, Spatial Analysis for Monthly Rainfall in South Florida, Journal of Water Resources Bulletin, 29(2):179-188.

17- Goovaerts, P., 2000, Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation of Rainfall, Journal of Hydrology, 228(1-2):113- 129.

18- Haberlandt, U., 2007, Geostatistical Interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event, Journal of Hydrology, 332: 144-157.

19- Saghafian, B., M., Tajrishy, N., Jalali, and H., Taheri shahraini, 2003, Modeling of Spatial variability of Daily rainfall in Southwest of Iran, Journal of Iranica scientia, 10(2):164-157.

20- www.chaharmahalmet.ir/rain.asp