

بررسی مکفی بودن بارش در مراحل مختلف فنولوژیکی غلات دیم در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان بر پایه روش‌های درونیابی کلاسیک و زمین آمار

مارال نیازمرادی¹، حسین کاظمی^{2*}، فرشید قادری³

تاریخ دریافت: 94/07/29 تاریخ پذیرش: 95/04/01

دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hossein_k_p@yahoo.com

چکیده

بارندگی یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی است که از تغییرپذیری زمانی و مکانی بسیار زیادی برخوردار است. تعیین مقدار بارش در هر منطقه در توسعه و مدیریت اراضی کشاورزی، به‌خصوص مناطق دیم، نقش قابل توجهی دارد. در این پژوهش به‌منظور تخمین و تهیه نقشه تغییرات بارش‌های سالانه، فصلی (بهاره و پاییزه) و ماهانه (آبان، آذر، اردیبهشت و خرداد) در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان، از روش‌های مختلف درونیابی کلاسیک و زمین‌آماري مانند کریجینگ، وزن‌دهی براساس معکوس فاصله، تابع پایه شعاعی و چند جمله‌ای موضعی استفاده شد. جهت ارزیابی این روش‌ها، از شاخص‌های اعتبارسنجی میانگین مطلق خطا (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمک گرفته شدند. نتایج نشان داد که براساس کمینه مقدار شاخص‌های یاد شده، برای تخمین بارش سالانه، بارش بهاره، بارش آبان ماه، بارش اردیبهشت ماه و بارش پاییزه روش چندجمله‌ای موضعی بهترین روش است. در تخمین بارش آذر ماه و خرداد ماه، روش‌های کریجینگ - مدل گوسی و مدل چندربعی - تابع پایه شعاعی به‌ترتیب بیش‌ترین دقت را از خود نشان دادند. روش وزن‌دهی عکس فاصله به‌دلیل میزان بالای شاخص‌های اعتبارسنجی، به‌عنوان نامناسب‌ترین روش در نظر گرفته شد. نقشه‌های تهیه شده انواع بارش نشان داد که مقادیر متغیر بارش، از شمال به سمت جنوب شهرستان افزایش یافته و شرایط بسیار مستعدی جهت کشت دیم غلات پاییزه ایجاد می‌کنند، اما در مجموع 53/75 درصد و 27/77 درصد از اراضی میانی و شمالی شهرستان، به‌ترتیب از نظر میزان بارش خرداد ماه و بارش بهاره برای این محصولات در پهنه مستعد و نیمه‌مستعد قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: توزیع مکانی بارش، کریجینگ، نیم‌تغییرنما، GIS

Investigation of Precipitation Sufficiency at Different Phenological Stages of Rainfed Cereals in the Agricultural Lands of Gorgan County by Classic and Geostatistical Interpolation Methods

M Niazmoradi¹, H Kazemi^{2*}, F Ghaderi-Far³

Received: 21 October 2015 Accepted: 21 June 2016

1-M.Sc. Student of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

2-Assist. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

3-Assoc. Prof., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

*Corresponding Author, Email: hossein_k_p@yahoo.com

Abstract

Precipitation is one of the most important climatic factors with high variations in time and space. Determination of the amount of precipitation in different regions is very important in development and management of agricultural lands especially in rainfed farming. In this research, in order to estimate and provide maps of the variation of annual, seasonal (spring and autumn) and monthly (November, May, December and June) precipitations in the agricultural lands of Gorgan county, different interpolation methods such as Kriging, inverse distance weighting (IDW), radial basis functions (RBE) and local polynomial interpolation (LPI) were used. The performance criteria for evaluation of these methods were Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE). The results showed that, based on the minimum of these indices, local polynomial interpolation was the best method to estimate the annual, spring, November, May and autumn precipitations. In estimation of December and June precipitations, Gaussian (Kriging) and multi-quadric (RBF) presented the most accurate results, respectively. Also, the inverse distance weighting (IDW) was found to be the worst method, with the highest error statistically. The produced maps in Gorgan county showed that most rainfall variables were in high suitable condition for rainfed farming of cereals, and these values were increased from north to south. In general, 53.75 and 27.77 percent of the studied areas were suitable and less-suitable for these crops according to June and spring rainfall maps in the central and north lands of the county, respectively.

Keywords: GIS, Kriging, Semivariogram, Spatial distribution of precipitation

مقدمه

50 درصد آن در 24 درصد مساحت کشور روی می-دهد (کامکار و مهدوی دامغانی 1387). با این تفاسیر، شایسته است که کشت و کار گیاهان زراعی مختلف در هر منطقه، براساس میزان نزولات جوی مکان مورد نظر، انجام گیرد تا از سایر عوامل محیطی نیز به صورت کارآمدتری استفاده شود. تغییرات قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کمبود ایستگاه-های باران‌سنجی در ثبت میزان بارندگی روزانه از

ایران به دلیل واقع شدن در اقلیمی خشک همواره با مشکل کمبود آب مواجه بوده است و آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی به‌شمار می‌رود. متوسط بارندگی ایران که از نظر اقلیمی در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته است، حدود 225 میلی‌متر در سال است که همین بارندگی اندک نیز با توزیع مکانی نامناسبی باریده می‌شود، به‌شکلی که

روش‌های تبدیل بارندگی روزانه نقطه به نقطه در آفریقای جنوبی بررسی شده و از بین روش‌های وزن-دهی براساس معکوس فاصله⁴، کریجینگ و اسپلاین⁵، روش وزن‌دهی براساس معکوس فاصله توصیه شد (لینچ 2001). مهدی‌زاده و همکاران (1385) به نقل از هوسی و همکاران (1992) اعلام کردند که برای برآورد بارندگی متوسط سالانه در منطقه کوهستانی واقع در جنوب نوادا و جنوب شرقی کالیفرنیا، به علت همبستگی بارندگی و ارتفاع در این منطقه، روش کوکریجینگ مناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی می‌باشد. گوواررتز (2000) روش‌های مختلف کریجینگ را برای تعیین تغییرات مکانی بارندگی در پرتغال بررسی و نتایج کار را با روش‌های رگرسیون خطی با در نظر گرفتن ارتفاع، روش‌های یک متغیره تیسن و وزن‌دهی براساس معکوس فاصله مقایسه کرد.

هر ساله در استان گلستان و از جمله در شهرستان گرگان، گیاهان پاییزه‌ای مانند گندم، جو و کلزا به صورت دیم کشت می‌شوند. بنابراین اطلاع از نحوه پراکنش مکانی و زمانی متغیرهای بارش سالانه، بارش بهار، بارش پاییزه، بارش آبان ماه، بارش آذر - ماه، بارش اردیبهشت ماه و بارش خرداد ماه در اراضی کشاورزی این شهرستان و همچنین تعیین روش مناسب در تخمین این متغیرها در خارج از ایستگاه‌های هواشناسی موجود، می‌تواند به مدیریت بهتر زراعت این محصولات و رسیدن به تولید پایدار با کم‌ترین نوسان کمک نماید. علت انتخاب بارش، اهمیت آن در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان زراعی دیم منطقه می‌باشد. بنابراین، این مطالعه با هدف تخمین و بررسی تغییرات متغیر بارش از نظر زمانی و مکانی براساس مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی شامل روش زمین‌آماري مانند کریجینگ معمولی و روش‌های کلاسیک مانند وزن‌دهی براساس معکوس فاصله (IDW)، توابع چند

سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی را امری اجتناب‌پذیر می‌نماید (قهرودی تالی 1384). روش‌های مختلفی جهت برآورد و تخمین نقاط نامعلوم وجود دارد مانند روش‌های کلاسیک و زمین‌آمار.

زمین‌آمار شاخه‌ای از علم آمار است که در آن ساختار مکانی داده‌های نقطه‌ای موجود در جامعه، مورد بررسی قرار گرفته تا بتوان مقدار یک کمیت را در نقطه‌ای با مختصات مشخص، با استفاده از مقادیر معلوم همان کمیت در نقاط دیگر، به دست آورد (مهدی-زاده و همکاران 1385). با استفاده از روش زمین‌آمار می‌توان وجود همبستگی مکانی بین مقادیر یک متغیر در یک ناحیه را بررسی نمود. نیم‌تغییرنما¹ اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود (حسنی پاک 1386).

تحقیقات فراوانی در زمینه درون‌یابی داده‌های اقلیمی در جهان و ایران انجام گرفته است به طور مثال: مظفری و همکاران (1391) در ارزیابی روش‌های زمین-آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش در استان بوشهر، از روش‌های کریجینگ (معمولی و ساده) و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی زمین، جهت برآورد بارش سالانه استفاده کردند. نتایج مشخص نمود که روش رگرسیون با توابع چندجمله‌ای² درجه چهارم مناسب‌ترین روش می‌باشد. تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار، نشان داد که از بین روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ معمولی از دقت بیشتری برخوردار بوده است (صفرراد و همکاران 1392). خسروی و همکاران (1393) به منظور طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای، نشان دادند که روش کریجینگ ساده از نوع نمایی و کریجینگ معمولی از نوع کروی³ بهترین روش برای میان‌یابی و درون‌یابی دما و بارش می‌باشد.

1 - Semivariogram

2 - Local polynomial interpolation

3 - Spherical

4 - Inverse distance weighting

5 - Spline

هم‌دیدی مستقر در سطح استان گلستان از سال 1374 تا 1391 استفاده شد.

روش‌های درون‌یابی

روش‌های درون‌یابی کلاسیک، روش‌هایی هستند که از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند، در صورتی‌که در روش‌های زمین‌آماری، تخمین براساس ساختار مکانی موجود در محیط صورت می‌گیرد. روش‌های درون‌یابی کلاسیک عبارتند از روش وزن-دهی براساس معکوس فاصله، نزدیک‌ترین نقطه، روش میانگین متحرک، روش سطح روند و روش سطح متحرک. از روش‌های زمین‌آماری می‌توان به انواع کریجینگ و کوکریجینگ اشاره کرد.

نیم‌تغییرنا

در این پژوهش از تابع نیم‌تغییرنا جهت نمایش تغییرات مکانی متغیر با در نظر گرفتن فاصله، استفاده شد که در معادله 1 آمده است.

1]

$$[g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

جمله‌ای موضعی (LPI) و توابع پایه شعاعی (RBF) انجام شد.

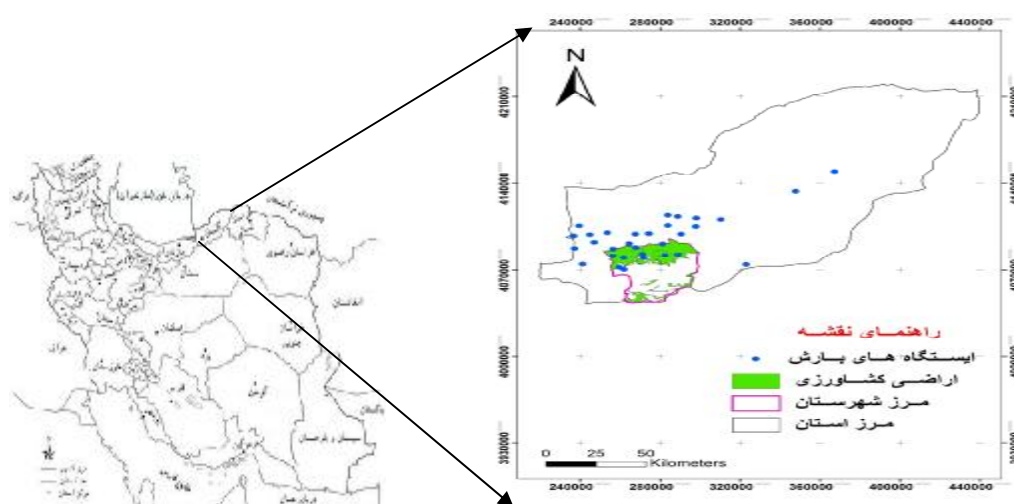
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان گرگان با وسعت 1616 کیلومترمربع و در بخش جنوبی استان گلستان با مختصات 54 درجه و 12/9 دقیقه تا 54 درجه و 44/9 دقیقه طول شرقی و 36 درجه و 30/6 دقیقه تا 36 درجه و 58/8 دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (بی‌نام 1388). منطقه مورد بررسی، محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان است که با استفاده از لایه کاربری اراضی استان گلستان (آمایش سرزمین) تفکیک شد و نقشه محدوده کشاورزی شهرستان تهیه گردید (شکل 1).

جمع‌آوری داده‌های هواشناسی

برای تهیه نقشه‌های دما و بارش محدوده مورد مطالعه، از داده‌های اقلیمی 30 ایستگاه باران‌سنجی و



شکل 1 - موقعیت شهرستان گرگان و استان گلستان در کشور به همراه ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده.

عبور می‌کند. این روش حالتی از شبکه عصبی مصنوعی است. از دیگر خصوصیات این روش این است که مقادیر بیش‌تر از بیشینه مقادیر مشاهده‌ای و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده‌ای در سطح تخمین وجود دارد (گل‌محمدی و همکاران 1387). در این پژوهش از روش-های چندربعی¹⁰، چندربعی معکوس¹¹ و نواری کم-ضخامت¹² استفاده شد.

فاصله معکوس وزن‌دار: در این روش برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده، براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این وزن‌ها توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک-تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم‌جوار تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (1387). مقدار عامل وزنی با استفاده از معادله 3 محاسبه می‌شود:

$$I_i = \frac{D_i^{-a}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-a}} \quad [3]$$

که در آن I_i ، وزن نقطه I_i ، D_i فاصله نقطه I_i تا نقطه مجهول و a معادل توان وزن‌دهی می‌باشد. در این پژوهش از توان‌های 1، 2 و 3 (عیوضی و مساعدی 1391) این روش استفاده شد

چندجمله‌ای موضعی: این روش کمینه مجذورات متناسب را بین نقاط شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن نقطه تخصیص می‌دهد. در این روش براساس ضریب تخصیص داده شده، با به‌دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر متغیر در نقاط همسایگی x ، y ، z و کمینه‌سازی اطلاعات محاسبه شده، میان‌یابی صورت می‌گیرد (کازمی و همکاران 1391، روپرت 1997). در این بررسی از درجه‌های 1، 2 و 3 (عیوضی و مساعدی 1391) این روش استفاده شد.

که در آن $g(h)$ مقدار نیم تغییرنا در فاصله h ، $Z(x_i + h)$ و $Z(x_i)$ مقدار متغیر در نقاط $(x_i + h)$ ، x_i و $N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های به‌کار رفته به‌ازای هر فاصله h می‌باشند. در صورت وجود ساختار فضایی، وابستگی مقادیر نقاط نزدیک به هم بیش‌تر از وابستگی نقاط دور از هم می‌باشد. هر تابع نیم‌تغییرنا از سه مؤلفه اصلی تشکیل شده است. در یک تغییرنا با افزایش فاصله، مقدار تغییرنا به تدریج تا فاصله معینی افزایش می‌یابد و در بیش‌تر از آن فاصله به حد ثابتی می‌رسد، این نقطه را حد آستانه⁶ (ترنگمار و همکاران 1985) و به فاصله‌ای که در آن مقدار تغییرنا به حد ثابت و مشخص خود می‌رسد، دامنه مؤثر⁷ گویند (صادقی 1391).

کریجینگ: کریجینگ یک روش برآورد آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآورد کننده خطی نااریب می‌باشد (محمدی 1385). در کریجینگ واریانس تخمین نیز در کمترین مقدار می‌باشد. بنابراین کریجینگ به‌همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز محاسبه می‌نماید (حسنی پاک 1386). این برآورد به‌صورت معادله 2 تعریف می‌شود:

$$z(x_i) = \sum_{i=1}^n I_i z^*(x_i) \quad [2]$$

در این معادله $z^*(x_i)$ تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x و I_i وزن آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقطه $z(x_i)$ است. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد (حسنی پاک 1386، محمدی 1385). در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی با مدل‌های کروی، گوسی⁸ و نمایی⁹ استفاده شد.

توابع پایه شعاعی: از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای

10 - Multiquadric

11 - Inverse multiquadric

12 - Thin plate spline

6 - Sill

7 - Range

8 - Gaussian

9 - Exponential

بارش سالانه: در بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی، روش چند جمله‌ای موضعی درجه 1 جهت میان‌یابی بارش سالانه، دارای کم‌ترین میزان RMSE (31/06 میلی‌متر) و بیش‌ترین دقت بوده، در اولویت اول جهت تهیه نقشه قرار گرفت. روش چندجمله‌ای موضعی بهترین روش درون‌یابی برای مناطقی با سطوح هموار می‌باشد. از آنجایی که بیش‌ترین مساحت اراضی کشاورزی گرگان در قسمت‌های مرکزی و شمالی شهرستان واقع شده‌اند و دامنه ارتفاع از سطح دریا برای این نقاط بین 20 تا 310 متر در نوسان است، بنابراین روش چند جمله‌ای موضعی توانست تخمین بهتری را ارائه کند. در این بررسی روش چند جمله‌ای درجه 3 دارای بیش‌ترین مقدار RMSE (80/34 میلی‌متر) بوده و کم‌ترین دقت را نشان داد، بنابراین به‌عنوان نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول 1). مظفری و همکاران (1391) در ارزیابی روش‌های زمین‌آمار جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه در استان بوشهر، روش رگرسیون با تابع چندجمله‌ای درجه چهارم را به‌عنوان روش برتر معرفی کردند. در تحقیق دیگری، ارزیابی روش‌های میان‌یابی بارش سالانه در کل استان گلستان نشان داد که روش‌های زمین‌آمار کربجینگ و کو کربجینگ با مدل بیضوی و با میزان خطای 60/49 و 64/46 نسبت به روش‌های قطعی برتر بوده است (عیوضی و مساعدی 1391). برای بررسی وجود یا عدم وجود وابستگی مکانی بارش سالانه در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان، پس از برازش مدل‌های مختلف نیم تغییرنما، مدل نمایی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب گردید (شکل 2 الف). پارامترهای این مدل در جدول 2 نشان داده شده است. مقدار اندک اثر قطعه-ای (0/002) و بالا بودن نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (0/99) نشان‌دهنده برتری مدل نمایی برای این متغیر بوده است.

در طبقه‌بندی میزان بارش سالانه جهت کشت گیاهان زراعی دیم از جمله غلات، بارش کم‌تر از 200 میلی‌متر گویای ضعیف بودن و بارش بالاتر از 400 میلی‌متر نشان‌گر تناسب بالای مناطق جهت دیم‌کاری

معیار اعتبارسنجی: از روش ارزیابی متقابل برای اعتبارسنجی برآوردهای حاصل از روش‌های میان‌یابی استفاده شد. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی مناسب روش‌های تخمین‌گر از شاخص‌های میانگین مطلق خطا (MAE)¹³ و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)¹⁴ استفاده شد.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |z^*(x_i) - z(x_i)|}{n} \quad [4]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (z(x_k) - z^*(x_k))^2} \quad [5]$$

در این معادلات $z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده در نقطه x_i ، $z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ، میانگین مقادیر مشاهده‌ای و n تعداد نقاط می‌باشد. صحت مدل با MAE مشخص می‌گردد که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت 100 درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد حاکی از کم شدن صحت مدل است. معمولاً هر قدر مقدار این معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر باشد، صحت روش بیش‌تر است. از دیدگاه نظری هرگاه RMSE برابر صفر شوند نمایان‌گر این است که مقدار تخمین‌زده شده یک کمیت، دقیقاً برابر مقدار واقعی آن است (کاظمی و همکاران 1391). در این پژوهش از نرم‌افزارهای GS⁺ نسخه 5 برای رسم نیم‌تغییرنما و ArcGIS نسخه 10 جهت اجرای مدل‌های درون‌یابی و تهیه نقشه استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها: قبل از کاربرد روش‌های درون‌یابی، بهتر است نمودار توزیع یا نگاره‌های مشابه برای بررسی نرمال بودن و همچنین موقعیت‌یابی مقادیر داده‌ها برای بررسی روندهای عمده، مورد توجه گیرد. در این مطالعه به‌جز بارش آبان‌ماه و بارش پاییزه، سایر متغیرها با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال شده‌اند.

13 - Mean absolute error

14 - Root mean square Error

از 400 میلی‌متر هستند، محدودیتی جهت کشت دیم محصولات پاییزه مانند گندم و جو ایجاد نمی‌کنند. بارش پاییزه: جهت تخمین بارش پاییزه روش چند-جمله‌ای موضعی با مدل درجه 3 مدل برتر در نظر گرفته شد. این مدل در مقایسه با روش‌های دیگر کم-ترین مقدار خطای RMSE را نشان می‌دهد. اصولاً روش چند جمله‌ای موضعی در مناطقی که تغییرات توپوگرافی محدود است، بهتر از سایر روش‌های درون‌یابی عمل می‌کند و برآورد بهتری خواهد داشت (عیوضی و مساعدی 1391).

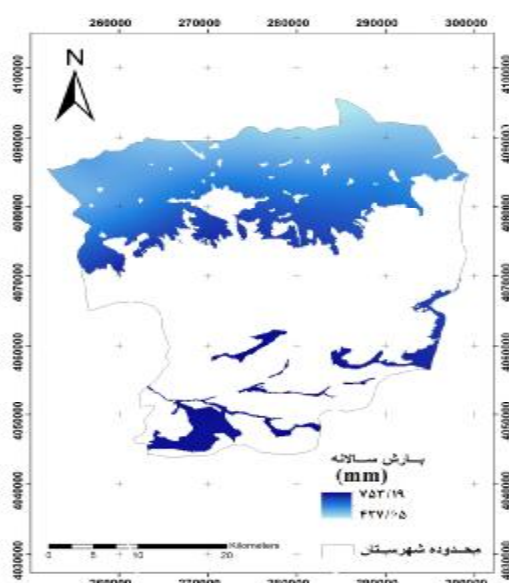
می‌باشد (فیضی زاده و همکاران 1391). بررسی پراکنش بارش سالانه در سطح اراضی کشاورزی گرگان (شکل 2 ب)، گویای کاهش میزان این متغیر از اراضی جنوبی به سمت شمال شهرستان می‌باشد، به نحوی که از میزان 748/86 میلی‌متر به 426/73 میلی‌متر در سال می‌رسد. بارش بیش‌تر اراضی جنوب و جنوب‌شرقی شهرستان را می‌توان به وجود ارتفاعات البرز با آب و هوای سرد و خشک نسبت داد. اراضی شمالی شهرستان به دلیل مجاورت و همسایگی با مناطق خشک و نیمه‌خشک (شهرستان آق‌قلا)، دارای بارش کم‌تری می‌باشند. بنابراین با توجه به اینکه این اراضی دارای بارش بالاتر

جدول 1- نتایج ارزیابی زمین‌آماری در تخمین بارش‌های مؤثر در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان.

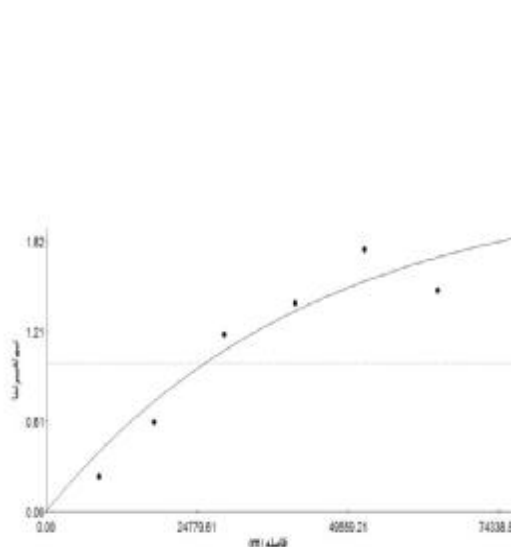
متغیر	روش	کریجینگ	وزن‌دهی براساس معکوس فاصله			چند جمله‌ای موضعی			توابع پایه شعاعی		مدل / توان	اولویت	
			توان 1	توان 2	توان 3	درجه 1	درجه 2	درجه 3	چند ربعی	چند ربعی			
بارش سالانه	MAE(mm)	34/82	35/75	40/02	56/98	41/90	32/85	23/38	50/80	41/66	27/54	36/84	35/91
	RMSE(mm)	46/83	46/23	56/83	68/84	51/51	41/06	31/06	74/79	80/34	34/45	45/01	51/29
	اولویت	6	5	9	10	8	3	1	11	12	2	4	7
بارش پاییزه	MAE(mm)	14/33	14/23	15/21	20/07	18/54	18/03	16/64	15/14	11/62	14/06	15/77	15/67
	RMSE(mm)	19/54	18/77	21/40	24/40	23/46	23/70	23/15	20/60	14/99	18/08	19/49	20/78
	اولویت	5	3	8	12	10	11	9	6	1	2	4	7
بارش بهاره	MAE(mm)	9/28	10/64	9/89	20/38	16/21	12/45	9/42	6/89	8/90	8/68	9/56	9/04
	RMSE(mm)	11/56	13/54	12/12	24/75	12/16	16/86	11/17	8/66	11/85	11/02	12/00	10/79
	اولویت	5	9	8	12	11	10	4	1	6	3	7	2
بارش آبان	MAE(mm)	2/08	2/36	2/28	5/45	3/55	2/88	2/72	2/19	2/07	2/14	2/62	2/66
	RMSE(mm)	7/61	7/83	7/37	8/92	8/08	7/95	7/42	5/30	5/41	6/13	6/46	9/07
	اولویت	7	8	5	11	10	9	6	1	2	3	4	12
بارش آذر	MAE(mm)	5/35	5/63	5/09	8/18	8/32	8/65	5/51	5/86	6/24	6/13	5/93	8/07
	RMSE(mm)	6/57	6/87	6/23	10/46	10/49	10/84	6/38	6/95	7/75	7/56	7/15	10/21
	اولویت	3	4	1	10	11	12	2	5	8	7	6	9
بارش اردیبهشت	MAE(mm)	4/91	5/31	5/47	8/58	7/47	6/81	4/44	4/12	4/31	4/83	6/43	5/53
	RMSE(mm)	6/37	6/67	7/37	10/30	8/84	8/14	5/27	5/12	5/42	7/13	7/44	7/13
	اولویت	4	5	9	12	11	10	2	1	3	6	8	7
بارش خرداد	MAE(mm)	2/21	2/43	2/35	5/45	3/55	2/88	2/72	2/19	2/07	2/14	2/62	2/66
	RMSE(mm)	2/70	2/85	2/98	6/11	4/12	3/40	3/69	2/79	3/03	2/67	2/99	3/28
	اولویت	2	4	5	12	11	10	10	3	7	1	6	8

جدول 2- پارامترهای نیم‌تغییرنما متغیرهای مورد مطالعه.

متغیر	مدل برازش شده	اثر قطعه‌ای	سقف	دامنه تأثیر	نسبت اثر قطعه‌ای به سقف	مجموع مربعات باقی‌مانده
بارش سالانه	نمایی	0/002	2/228	43900	0/99	0/156
بارش بهاره	کروی	0/001	1/254	45900	0/99	0/289
بارش پاییزه	نمایی	0/001	1/662	31600	0/99	0/091
بارش آبان	گوسی	0/019	1/704	30000	0/98	0/026
بارش آذر	گوسی	0/511	1/454	31300	0/64	0/010
بارش اردیبهشت	کروی	0/001	1/452	54300	0/99	0/184
بارش خرداد	کروی	0/002	1/420	51700	0/99	0/399



(ب)



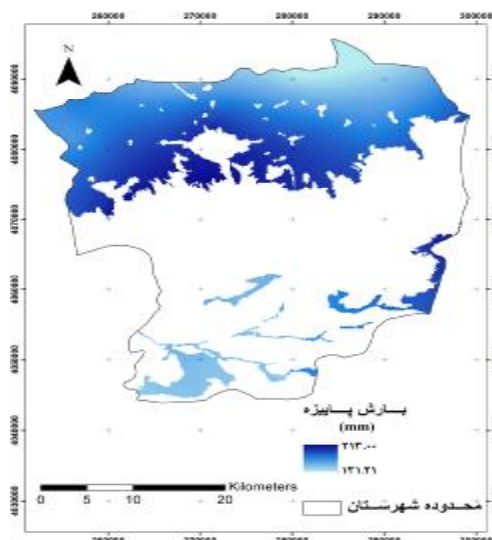
(الف)

شکل 2- (الف) نیم‌تغییرنمای تجربی برازش داده شده و (ب) درونیابی بارش سالانه در اراضی کشاورزی گرگان.

تغییرنماهایی معمولاً برای تخمین زمین‌آماری مناسب نمی‌باشد. گزارش شده است که مقدار بارش پاییزه در حدود 45 تا 90 میلی‌متر جهت کشت غلات پاییزه دیم نظیر گندم بسیار مستعد است (فیضی‌زاده و همکاران 1391). از آنجایی که میزان بارش پاییزه در سطح اراضی شهرستان گرگان 213 تا 131 میلی‌متر می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که توزیع و پراکنش این متغیر، شرایط بسیار مطلوبی را برای کشت دیم این گیاهان فراهم می‌کند. مراحل اولیه نموی گندم عموماً در طی پاییز و زمستان و در شرایط که دمای هوا پایین بوده و مقدار بارش بالاست، رخ می‌دهد. هنگامی که مرحله جوانه‌زنی تا ساقه‌دهی طولانی باشد، زیست توده بیش-

با در نظر گرفتن مقادیر خطاها طبق جدول 1، مشاهده می‌شود که با انجام اولویت‌بندی، روش وزن-دهی براساس معکوس فاصله با توان 1، به دلیل داشتن بیشترین مقدار خطا و کمترین دقت، نامناسب‌ترین روش می‌باشد. نتایج تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنما در جدول 3 نشان می‌دهد که جهت بررسی وجود همبستگی مکانی بین داده‌های بارش پاییزه مورد استفاده جهت میان‌یابی، مدل نمایی مناسب‌ترین مدل برازش است (شکل 3 الف). این شکل نشان می‌دهد که نمودار نیم-تغییرنما تمایلی به نزدیک شدن به مقدار ثابت (سقف یا آستانه) نداشته و با افزایش فاصله در محدوده نمونه-برداری همواره افزایش می‌یابد. وجود این چنین نیم-

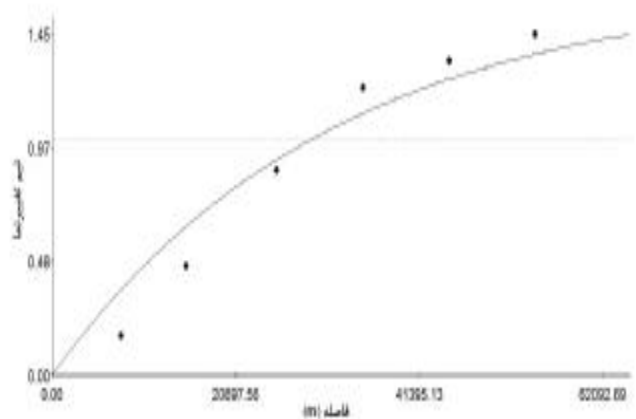
دیگر مطلوبیت کمتری جهت تخمین بارش آبان ماه داشته است. با استفاده از متغیرهای نسبت اترقطعه‌ای به سقف و مجموع مربعات باقی‌مانده (جدول 2)، مدل گوسی، مدل مناسب جهت برازش نیم‌تغییرنمای بارش آبان‌ماه انتخاب شد (شکل 4 الف). تاریخ کاشت گیاهان پاییزه و به‌خصوص غلات دیم در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان، از اوایل آبان ماه تا اواسط آذر ماه ادامه دارد، بنابراین مقدار مناسبی از نزولات جوی جهت تأمین رطوبت مورد نیاز بذور بایستی فراهم باشد. اصولاً بارش بیش‌تر از 45 میلی‌متر جهت کشت گیاهان زراعی در اراضی کشاورزی در حد قابل قبولی می‌باشد. با توجه به شکل 4 ب، مشاهده می‌شود که بارش آبان در محدوده 52-87 میلی‌متر قرار داشته و محدودیتی جهت کشت این گیاهان از نظر این متغیر در منطقه مورد مطالعه وجود ندارد.



ب)

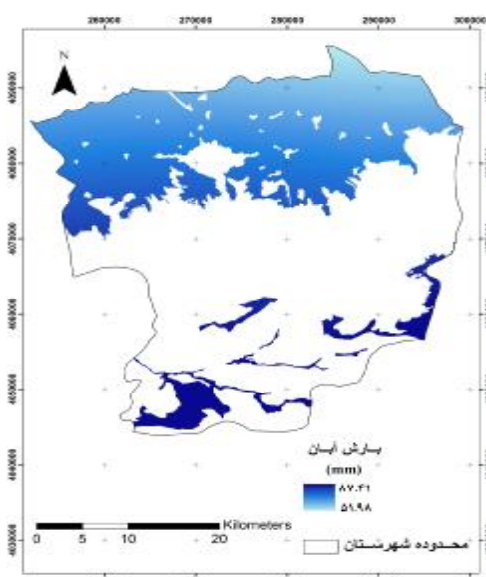
تری تولید می‌شود البته این در شرایطی مطلوب است که منطقه در اواخر دوره رشد غلات دیم با مشکل خشکی و کمبود رطوبت مواجه نشود (بهنیا 1376). توزیع و پراکندگی بارش پاییزه بیش‌تر در نوار مرکزی و در بخش‌های شرقی اتفاق می‌افتد (شکل 3 ب).

بارش آبان ماه: با بررسی جدول 2 مشاهده می‌شود که از میان روش‌های مختلف مورد استفاده، روش چندجمله‌ای درجه 2 و درجه 3 با اختلاف اندکی در مقدار RMSE و شاخص MAE، جهت انجام میان‌یابی به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم قرار دارند. روش تابع پایه شعاعی پس از روش فوق در رتبه بعدی قرار گرفت. البته مدل نواری کم‌ضخامت در بین تمام مدل‌های به‌کار رفته دارای بیش‌ترین میزان خطا بوده و نامناسب‌ترین مدل در نظر گرفته شد. مقایسه روش‌ها نشان می‌دهد که روش کریجینگ نسبت به روش‌های

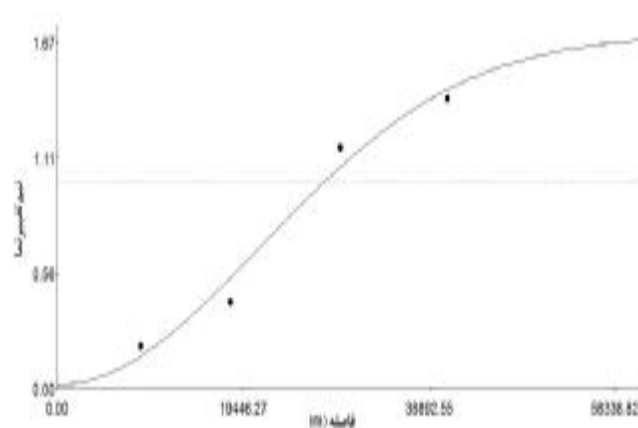


الف)

شکل 3- الف) نیم‌تغییرنمای برازش داده شده و ب) میان‌یابی بارش پاییزه در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان.



(ب)



(الف)

شکل 4- (الف) نیم‌تغییرنمای برازش داده شده و (ب) میان‌یابی بارش آبان ماه در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان.

شناخته شد (جدول 1). نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که جهت بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی و ارتباط میان داده‌های مربوط به بارش آذر ماه در شهرستان گرگان، مدل گوسی مناسب‌ترین روش برای برازش نیم‌تغییرنما می‌باشد (جدول 2). این مدل معرف درجه پیوستگی بالای متغیر مکانی است. وجود رطوبت در مراحل ابتدایی رشد گیاهان جهت جوانه‌زنی و سبز شدن ضروری می‌باشد. با توجه به تاریخ کاشت غلات دیم در منطقه مورد بررسی، آذر ماه مصادف با مرحله سبز شدن گندم بوده و مقدار رطوبت در این دوره با میزان رشد رویشی قبل از ورود به مرحله پنجه زنی و تحمل سرمای زمستان همبستگی خواهد داشت. میزان بارش آذر ماه در سطح اراضی کشاورزی این شهرستان بین 56-64 میلی‌متر در نوسان می‌باشد که مقدار مناسبی بوده و عامل محدودکننده کشت دیم در این منطقه نخواهد بود. کم‌ترین میزان بارش آذر ماه در قسمت‌های شمالی شهرستان دیده شد (شکل 4 الف).

بارش بهار: جهت درون‌یابی بارش بهار، روش چندجمله‌ای موضعی مدل درجه 2 با داشتن کم‌ترین میزان RMSE (8/66) نسبت به سایر مدل‌ها و در

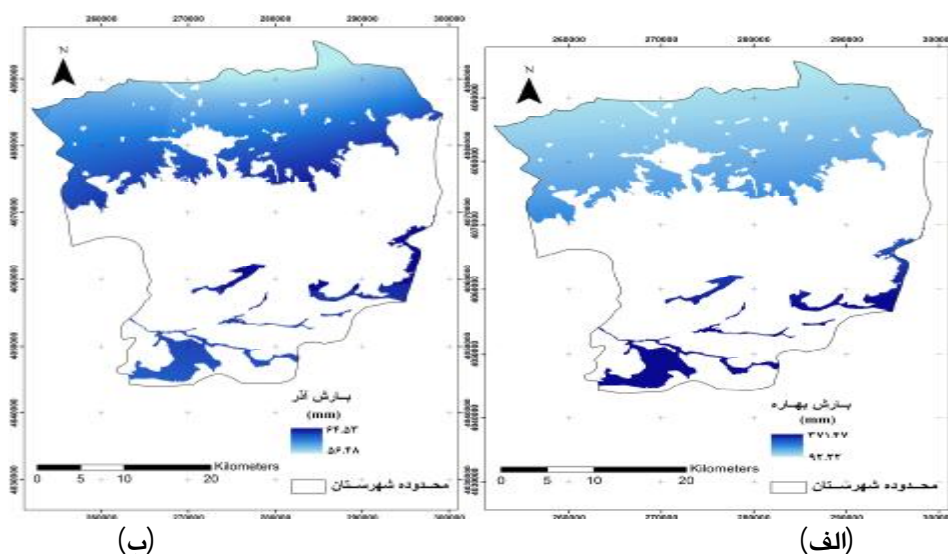
بارش آذر ماه: روش‌های مورد استفاده در این مطالعه جهت درون‌یابی بارش آذر ماه، نشان داد که روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها برتری داشته و مدل گوسی با داشتن کم‌ترین میزان خطاها و بیش‌ترین دقت در رتبه اول قرار گرفت. روش‌های چندجمله‌ای موضعی و توابع پایه شعاعی در مکان‌های بعدی واقع شدند. روش کریجینگ یکی از معتبرترین روشهای زمین آماری است که در بسیاری از مطالعات به‌عنوان روش برتر جهت میان‌یابی انتخاب می‌شود. این روش برآورد آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآورد کننده خطی نااریب می‌باشد در کریجینگ واریانس تخمین نیز در کم‌ترین مقدار می‌باشد. بنابراین کریجینگ به همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز محاسبه می‌نماید (حسنی پاک 1386). به‌طور کلی روش مناسب زمین آماری در برآورد یک متغیر، به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار بر آن بستگی دارد و نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد (نقی‌زاده مهرجردی 1387). روش وزن‌دهی براساس معکوس فاصله با دارا بودن بالاترین میزان خطاها، به‌عنوان روش نامناسب جهت تخمین توزیع مکانی بارش آذر ماه

شمالی شهرستان دارای این میزان بارش بهاره بوده که به‌عنوان پهنه نیمه‌مستعد (S_3) جهت کشت این گیاهان طبقه‌بندی شدند. 12/23 درصد از اراضی منطقه نیز شرایط رشدی مستعدی (S_2) برای غلات دیم در بخش-های شمالی شهرستان نشان دادند. اصولاً رشد گیاهان پاییزه یا بهاره تحت تأثیر میزان بارش بهاره قرار می‌گیرد. گیاهان پاییزه به‌دلیل تلاش برای تکمیل رشد زایشی در فصل بهار، به شدت به بارش این دوره نیازمند می‌باشند. کمبود میزان نزولات در این برهه زمانی که با سنبله‌دهی گیاهان و پرشدن دانه همراه است، می‌تواند باعث عقیم شدن گلچه‌ها شود. بنابراین به‌منظور دستیابی به بازده بالاتر در واحد سطح، بارش بهاره دارای اهمیت خاصی می‌باشد. میزان بارش بهاره در این شهرستان در محدوده 92 تا 371 میلی‌متر قرار دارد که بیش‌ترین مقدار و توزیع آن در بخش‌های جنوبی منطقه واقع شده است. اصولاً بارش بهاره بالاتر از 60 تا 90 میلی‌متر، جهت کشت دیم گیاهان زراعی پاییزه بسیار مستعد است (فیضی زاده و همکاران 1391). براساس کلاس‌بندی بارش بهاره توسط کمالی (1387)، مناطقی با میزان بارش بالاتر از 110 میلی‌متر و کمتر از 80 میلی‌متر به‌ترتیب، در ارزش کیفی بسیار مستعد و غیرمستعد جهت کشت گندم دیم قرار گرفتند (جدول 3).

نتیجه دارا بودن بیش‌ترین میزان دقت و صحت، به‌عنوان برترین مدل شناخته شد. مقدار پایین خطای MAE در این مدل نیز گویای این واقعیت می‌باشند. مدل‌های نواری کم ضخامت و چندربعی مربوط به روش تابع پایه شعاعی و مدل درجه سوم روش چندجمله‌ای موضعی، به‌ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. ضمن این‌که مقدار خطاهای بررسی شده مربوط به این سه روش در جدول 1، دارای تشابه بسیار زیاد است به‌طوری که می‌توان ارزش آن‌ها را برابر قرار داد. مقایسه روش‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که روش‌های توابع پایه شعاعی و چندجمله‌ای موضعی، به‌ترتیب نسبت به روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی براساس معکوس فاصله برتری قابل توجهی داشتند و روش IDW به‌عنوان نامناسب‌ترین روش معرفی شد. در این پژوهش جهت برآزش نیم‌تغییرنمای بارش بهاره، از مدل کروی استفاده شد. دلیل این انتخاب، مقدار پایین مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS) مربوط به این مدل نسبت به مدل‌های دیگر این متغیر بود (جدول 2). مطابق این جدول، 46248/257 هکتار از اراضی جنوبی تا میانی شهرستان دارای بارش بیش‌تر از 118 میلی‌متر بوده و در طبقه بسیار مستعد (S_1) واقع شدند. همچنین با توجه به این‌که بارش 80-110 میلی‌متر رشد غلات را با محدودیت مواجه می‌کند، 9947/579 هکتار از اراضی

جدول 3- پهنه‌بندی میزان بارش بهاره در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان جهت کشت دیم غلات پاییزه.

میزان بارش (mm)	مساحت (ha)	مساحت هر پهنه نسبت به کل (%)	ارزش کیفی تناسب برای کشت دیم غلات
92/22 – 110	9947/579	15/54	نیمه مستعد
110 - 118	7833/933	12/23	مستعد
بیش از 118	46248/257	72/23	بسیار مستعد



شکل 5- میان‌یابی بارش آذر ماه (الف) و بارش بهاره (ب) در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان.

بارش در این دوره دقت شود و در صورت کمبود بارندگی، برنامه‌ریزی برای اجرای آبیاری تکمیلی جهت جلوگیری از کاهش عملکرد دانه انجام پذیرد. شکل 6 الف، نشان می‌دهد که در بخش‌های جنوبی شهرستان در مقایسه با قسمت‌های شمالی از نظر میزان توزیع بارش اردیبهشت ماه در وضعیت بهتری قرار دارند.

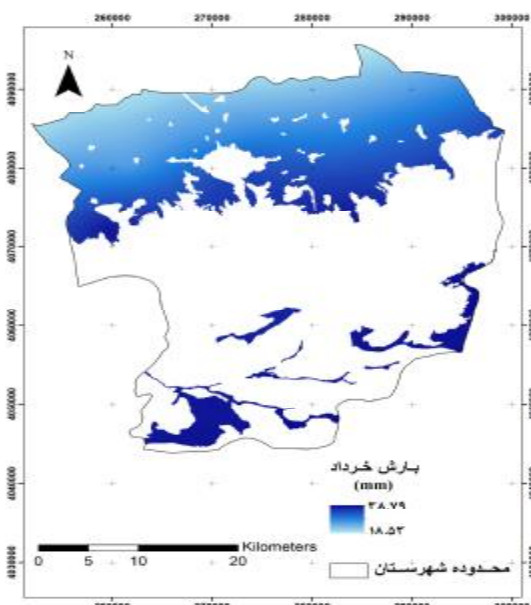
بارش خرداد ماه: بررسی روش‌های به‌کار رفته در این پژوهش، نشان می‌دهد که مدل چندربعی مربوط به روش توابع پایه شعاعی، جهت ترسیم لایه تخمین میان‌یابی بارش خرداد ماه بسیار مناسب می‌باشد. مدل‌های کروی کربجینگ و درجه دوم چندجمله‌ای موضعی به‌ترتیب در مکان‌های بعدی تناسب قرار گرفتند. روش وزن‌دهی براساس معکوس فاصله همانند متغیرهای گذشته، نامناسب‌ترین روش جهت درون‌یابی اعلام شد (جدول 1).

نیم‌تغییرنمای رسم شده برای بررسی ارتباط و همبستگی میان ایستگاه‌های مورد استفاده، جهت تخمین بارش خرداد ماه در اراضی کشاورزی شهرستان، نشان‌گر برتری مدل کروی می‌باشد. پارامترهای مربوط به این مدل در جدول 2 گویای دلیل این انتخاب است. بارش خرداد ماه، عاملی است که باعث تعیین وزن و اندازه دانه‌ها در محصول غلات دیم می‌شود. به عبارت

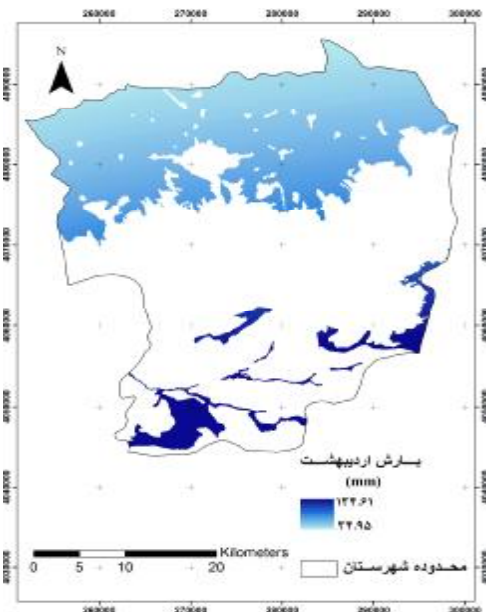
بارش اردیبهشت ماه: نتایج جدول 1 نشان می‌دهد که روش چندجمله‌ای موضعی از برتری قابل توجهی برخوردار است. این برتری به‌ترتیب مربوط به درجه 2، 1 و 3 می‌باشد. در بررسی روش‌های این متغیر، روش وزن‌دهی براساس معکوس فاصله به‌عنوان نامناسب‌ترین روش معرفی شد. جهت تشریح وابستگی داده‌های بارش اردیبهشت ماه، استفاده از مدل کروی بهترین نتیجه را در برآزش تغییرنما نشان داد. پارامترهای این مدل در جدول 4 نشان داده شده است. مقدار پایین اثر قطعه‌ای در این مدل می‌تواند به دلیل میزان ظهور اندک جزء تصادفی و یا غیرساختاری متغیر باشد که از حالت‌های ایده‌آل می‌باشد. در زمین‌آمار نیم‌تغییرنماهایی که در یک دامنه تأثیر مشخصی به آستانه معین می‌رسند، دارای اهمیت هستند (حسنی‌پاک 1386). طول دوره ساقه‌دهی - گرده افشانی یکی از مهم‌ترین مراحل نموی و تأثیرگذار در عملکرد دانه غلات پاییزه است. طی این مراحل، محدودیت منابع فتوسنتزی وجود داشته و کلیه عوامل باعث افزایش عرضه مواد فتوسنتزی و اختصاص آن به سنبله در حال رشد، می‌گردد و در نتیجه تعداد دانه در واحد سطح و عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (میرالس و اسلافر 2007). با اطلاع از این موارد بایستی به نحوه توزیع و پراکنش میزان

خرداد ماه به وقوع پیوند، در طبقه مستعد و بیش‌تر از 30 میلی‌متر، در پهنه بسیار مستعد جهت کشت گندم دیم قرار می‌گیرد. بر این اساس 0/26 درصد از اراضی شمالی شهرستان گرگان جهت کشت غلات دیم، دارای ارزش کیفی نیمه مستعد، 34246/57 هکتار برابر 53/49 درصد از اراضی میانی و شمالی با میزان بارش 20 تا 30 میلی‌متر، به‌عنوان طبقه مستعد در نظر گرفته شد. همچنین 46/26 درصد از اراضی جنوبی منطقه دارای بارش بالاتر از 30 میلی‌متر بوده و جهت کشت دیم غلات شرایط بسیار مستعد ایجاد می‌کند. با آبیاری تکمیلی، تنظیم تاریخ کاشت و استفاده از ارقام زودرس‌تر در نواحی دارای محدودیت، می‌توان کاهش عملکرد ناشی از کمبود میزان بارش در خرداد ماه را کاست.

دیگر کاهش رطوبت، تقریباً کلیه فرآیندهای دانه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج نشان داد که پراکنش مکانی بارش خرداد ماه در این منطقه مطابق با الگوی بارش سالانه است به این صورت که از جنوب به شمال شهرستان میزان وقوع بارش خرداد ماه کاهش می‌یابد. چنانچه در شکل 6 ب مشاهده می‌شود، مقادیر بارش در مرحله رسیدگی دانه (خرداد ماه) 18/5 تا 38 میلی‌متر می‌باشد که به‌غیر از مناطق شمالی شهرستان، توزیع و مقدار آن می‌تواند تأمین‌کننده نیاز گیاهی غلات دیم باشد. در مطالعه کمالی و همکاران (1389) در استان زنجان مشخص شد که چنانچه در منطقه‌ای میزان بارش خرداد ماه کم‌تر از 10 میلی‌متر باشد، ارزش کیفی آن منطقه نامناسب و اگر بین 10 تا 20 میلی‌متر باشد، متوسط و چنانچه بین 20 تا 30 میلی‌متر بارندگی در



(ب)



(الف)

شکل 6- میان‌یابی بارش اردیبهشت ماه (الف) و بارش خرداد ماه (ب) در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان.

نسبت به سایر روش‌ها داشت. این روش در مناطقی با تغییرات شدید توپوگرافی کارایی زیادی نداشته و می‌تواند برای منطقه نسبتاً هموار، مانند منطقه مورد مطالعه (اراضی کشاورزی شمال شهرستان)، روش مناسبی

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی و مقایسه مدل‌های به‌کار برده شده، نشان می‌دهد که در بیش‌تر موارد روش چند جمله‌ای موضعی برتری زیادی

باشد. در بیش‌تر متغیرهای بارش، روش وزندهی براساس معکوس فاصله نامناسب‌ترین روش معرفی شد. این روش معمولاً در شرایطی که تعداد داده‌های مورد استفاده کم‌تر از 30 عدد باشد، کارآیی مناسبی دارد. روش کریجینگ در مجموع نسبت به سایر روش‌های ذکر شده، پس از روش چند جمله‌ای موضعی، می‌تواند جهت میان‌یابی مورد استفاده قرار گیرد.

به نظر می‌رسد که در مناطق مختلف و متغیرهای متفاوت مورد مطالعه، روش واحدی به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی نمی‌تواند انتخاب شود. این انتخاب به نوع متغیر، ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد بررسی، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آن‌ها بستگی دارد. با اطلاع از میزان بارش‌های مؤثر در منطقه، می‌توان برای بسیاری از مدیریت‌های زراعی از جمله زمان‌بندی آبیاری، کوددهی و سمپاشی برنامه‌

ریزی و تصمیم‌گیری کرد. با توجه به وجود میزان کافی بارش سالانه و بارش پاییزه در سطح اراضی کشاورزی گرگان و توزیع ضعیف بارش بهاره و بارش خرداد ماه در بخش‌های میانی و شمالی منطقه، توصیه می‌شود که در صورت وجود منابع آبی، از آبیاری تکمیلی در طی این دوره‌ها استفاده گردد. همچنین با تنظیم تاریخ کاشت (کشت زود هنگام) و استفاده از ارقام زودرس، مقاوم و پاکوتاه‌تر غلات (مانند گیاه جو بدون پوشینه) در اراضی شمالی، می‌توان از منابع محیطی بیش‌ترین بهره‌برداری را برده و از طرفی از تنش خشکی انتهای فصل جلوگیری کرد و مانع کاهش شدید عملکرد در این نواحی شد. استفاده از ارقامی با کارایی مصرف بالای آب، دارای ریشه‌های عمیق‌تر و مقاوم به خشکی، می‌تواند راهکارهایی مناسب با شرایط اقلیمی اراضی میانی و شمالی شهرستان گرگان باشد.

منابع مورد استفاده

- بهینا م ر، 1376. غلات سردسیری. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم. 610 صفحه.
- بی‌نام، 1388. آمایش سرزمین استان گلستان. شرکت هامون‌گستر و استانداری گلستان. بخش 2، صفحه 239 تا 515.
- تقی‌زاده مهرجردی ر، زارعیان جهرمی م، محمودی ش، حیدری ا و سرمیدیان ف، 1387. بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی دشت رفسنجان. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال دوم، شماره 5، صفحه‌های 63 تا 70.
- حسنی‌پاک ع ا، 1386. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران. چاپ 2، 386 صفحه.
- خسروی م، دوستکامیان م، میرموسوی س ح، بیات ع و بیگ رضایی ا، 1393. طبقه‌بندی دما و بارش در ایران زمین با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تحلیل خوشه‌ای. فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره 13، صفحه‌های 121 تا 132.
- صادقی س، 1391. درون‌یابی نقطه‌ای در GIS با تاکید بر تکنیک کرایگینگ. انتشارات لوزا. 152 صفحه.
- صفرراد ط، فرجی سبکبار ح، عزیزی ق و عباسپور ر ع، 1392. تحلیل تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار (1995-2004). جغرافیا و توسعه، شماره 31، صفحه‌های 149 تا 164.
- عیوضی م و مساعدی ا، 1391. بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین‌آمار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 26، شماره 1، صفحه‌های 53 تا 64.
- فیضی زاده ب، ابدالی ح، رضایی بنفشه م و محمدی غ ح، 1391. پهنه‌بندی قابلیت کشت گندم دیم در سطح استان آذربایجان شرقی با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). شماره 96، صفحه‌های 75 تا 91.

- قهرودی تالی م، 1384. سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی، تهران. انتشارات جهاد دانشگاهی. واحد تربیت معلم.
- کاظمی ح، طهماسبی سروستانی ز ا، کامکار ب، شتایی ش و صادقی س، 1391. ارزیابی روش‌های زمین آمار جهت تخمین و پهنه‌بندی عناصر غذایی پرمصرف اولیه در برخی اراضی کشاورزی استان گلستان، نشریه دانش آب و خاک. جلد 22، شماره 1، صفحه‌های 201 تا 218.
- کامکار ب و مهدوی دامغانی م، 1387. مبانی کشاورزی پایدار. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. 307 صفحه.
- کمالی غ ع، ملائی پ و بهیار م ب، 1389. تهیه اطلس گندم دیم استان زنجان با استفاده از داده‌های اقلیمی و GIS، نشریه آب و خاک. جلد 24، شماره 5، صفحه‌های 894-907.
- گل محمدی گ، معروفی ص و محمدی ک، 1387. منطقه‌ای نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 46، صفحه‌های 501 تا 514.
- محمدی ج، 1385. پدومتری، آمار مکانی. نشر پلک. جلد دوم. 453 صفحه.
- مظفری غ ع، میرموسوی س ح و خسروی ی، 1391. ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش (مطالعه موردی در استان بوشهر). جغرافیا و توسعه، شماره 27، صفحه‌های 63 تا 76.
- مهدی‌زاده م، مهدیان م ح و حجام س، 1385. کارایی روش‌های زمین‌آمار در پهنه‌بندی اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه. مجله فیزیک زمین و فضا، جلد 32، شماره 1، صفحه‌های 103 تا 116.
- Goovarerts P, 2000. Geostatistical approach for incorporation elevation into the spatial interpolation of rainfall: Journal of Hydrology 228: 113-129.
- Hevesi JA, Istok JD and Flint AL, 1992. Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistic. Part I. Structural Analysis. Journal of Applied Meteorology 31: 661-676.
- Lynch SD, 2001. Converting point estimates of daily rainfall onto a rectangular grid. Department of agricultural engineering. University of Natal. South Africa.
- <http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc98/proceed/TO200/PAP196/P196.HTM>.
- Miralles DJ and Slafer GA, 2007. Sink limitation to yield in wheat: how could it be reduced? Journal Agricultural Science Cambridge 145: 139-149.
- Ruppert D, 1997. Empirical-bias bandwidths for local polynomial nonparametric regression and density estimation. Journal of the American Statistical Association 92: 1049-1062.
- Trangmar BB, Yost RS and Uehara G, 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. Advances in Agronomy 38: 45-94.