



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی به منظور تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت دیم غلات پاییزه

* حسین کاظمی^۱ و خلیل قربانی^۲

^۱ استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۵

چکیده

سابقه و هدف: شرایط اقلیمی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی است. در میان عوامل اقلیمی، متغیر بارش یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی است که در تولید محصولات کشاورزی به‌خاطر تأثیرگذاریش در تأمین آب قابل دسترس برای گیاه نقش مهمی ایفا می‌کند. میزان آب قابل دسترس برای گیاهان قویا به فصل بارش، توزیع مکانی و زمانی آن وابسته است همچنین آن می‌تواند موفقیت یا شکست در تولید محصولات کشاورزی را در یک فصل زراعی تعیین کند. شهرستان آق‌قلا یکی از مراکز مهم تولید محصولات کشاورزی از جمله غلات دیم در استان گلستان می‌باشد. بیش‌تر اراضی این شهرستان زیر کشت دیم محصولاتی مانند گندم و جو قرار می‌گیرد. در مجموع کشاورزی در شهرستان آق‌قلا به‌میزان بارش وابسته است. تعیین تغییرات مکانی بارش در اراضی کشاورزی این شهرستان به‌طور ویژه‌ای دارای اهمیت است. بنابراین هدف از این پژوهش، ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی به‌منظور تخمین و پهنه‌بندی متغیرهای بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا بود. همچنین این پژوهش اطلاعاتی را در سطح محلی فراهم می‌کند که می‌تواند به‌وسیله کشاورزان منطقه برای افزایش عملکرد در شرایط دیم مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش توزیع مکانی بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا به‌وسیله ۱۸ روش - مدل درونیابی قطعی و زمین‌آماري مانند وزن‌دهی معکوس فاصله، تابع پایه شعاعی، چندجمله‌ای موضعی، کریجینگ معمولی و کریجینگ عام، مورد ارزیابی قرار گرفت. معیار ارزیابی در این پژوهش، ریشه دوم میانگین مربعات باقی‌مانده (RMSE) و انحراف استاندارد عمومی (GSD)، با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود.

یافته‌ها: نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که روش چندجمله‌ای موضعی (درجه ۱ و ۲) بهترین الگو برای تخمین همه متغیرهای بارش به‌جز بارش بهاره و بارش خرداد ماه می‌باشد. زیرا این روش دارای بیش‌ترین دقت و کم‌ترین خطا بود. تجزیه و تحلیل نیم‌تغییرنماها نشان داد که متغیرهای بارش سالانه و خردادماه با مدل نمایی و بارش‌های پاییزه، بهاره و اردیبهشت‌ماه با مدل کروی بهترین برازش را دارند. نقشه‌های نهایی نشان داد که میزان بارش‌های سالانه، پاییزه

* مسئول مکاتبه: hossein_k_p@yahoo.com

و خردادماه در اراضی شمالی کم‌تر از مناطق جنوبی است. در این مطالعه مشخص شد که حدود ۶۵/۶۲ درصد از اراضی کشاورزی دارای بارش سالانه بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشند. همچنین دامنه تغییرات بارش پاییزه در این منطقه بین ۱۰۱/۱۱ تا ۱۶۶/۰۸ میلی‌متر مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که همانند تأمین نیازهای دمایی، نیاز رطوبتی سالانه و پاییزه گیاهان دیم رایج مثل گندم و جو، در این منطقه نیز تأمین می‌شود، اما از نظر میزان بارش بهاره و خردادماه این مقادیر ناکافی است. سطح وسیعی از اراضی منطقه برخوردار از بارش زیر ۱۰ میلی‌متر در خردادماه است که این میزان بارش برای پرشدن دانه‌ها کافی نیست.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، زمین‌آمار، کشت دیم، نیم‌تغییرنما

مقدمه

در بین عوامل اقلیمی، متغیر بارش یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اقلیمی است که در فعالیت‌ها و برنامه‌ریزی‌های مختلف کشاورزی دارای کاربردهای مستقیمی است. این عامل از بیش‌ترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار بوده و کمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره مورد توجه پژوهشگران مختلف می‌باشد. معمولاً از اطلاعات بارندگی در مطالعات نیاز آبی گیاهان موجود در الگوی کشت، تحلیل منطقه‌ای، تجزیه و تحلیل خشکسالی و ترسالی و پیش‌بینی به هنگام سیلاب استفاده می‌شود (18). تاریخ شروع بارندگی یکی از عوامل مهم در تعیین زمان کشت غلات زمستانه و تعیین زمان برداشت محصولاتی است که در اوایل پاییز به مرحله رسیدگی می‌رسند. با اطلاع از تاریخ‌های شروع، خاتمه و طول دوره بارش می‌توان تاریخ کاشت غلات را طوری تنظیم کرد تا مصرف آب در کشت‌های آبی به حداقل رسیده و نوبت‌های آبیاری هماهنگ با پراکنش زمانی بارندگی باشد. در مناطقی که غلات پاییزه به‌صورت دیم کشت می‌شوند، با تنظیم تاریخ کاشت می‌توان از بارندگی نازل شده حداکثر بهره را برد و با اعمال آبیاری تکمیلی، افزایش چشم‌گیری در مقدار عملکرد غلات حاصل شود (23).

تغییرات قابل‌ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک‌سو و کمی ایستگاه‌های باران‌سنجی در ثبت بارش از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارش را در زمان و مکان امری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (18). روش‌های درون‌یابی متنوعی وجود دارند که با کمک آن‌ها می‌توان خطوط هم‌باران را در منطقه مورد نظر استخراج کرد، اما به‌دلیل نابسندگی آمار و داده‌های موجود و دقت پایین اندازه‌گیری، تخمین‌ها در برخی روش‌ها چندان رضایت‌بخش نیست. این روش‌ها در یک تقسیم‌بندی کلی به روش‌های زمین‌آماری و روش‌های کلاسیک تقسیم می‌گردند. روش‌های کلاسیک روش‌هایی هستند که از آمار کلاسیک برای تخمین استفاده می‌کنند، در صورتی که در روش‌های زمین‌آماری، تخمین براساس ساختار مکانی موجود در محیط صورت می‌گیرد. در دهه‌های اخیر مبانی زمین‌آمار به خوبی گسترش یافته و توانایی این شاخه از آمار در بررسی و پیش‌بینی متغیرهای مکانی مشخص شده است (30). از روش‌های زمین‌آماری می‌توان به انواع کریجینگ و کوکریجینگ اشاره کرد. برخی از روش‌های درون‌یابی کلاسیک شامل وزن‌دهی معکوس فاصله، روش نزدیک‌ترین نقطه، روش میانگین متحرک و روش سطح روند می‌باشند.

دیگر، دقت و درستی نقشه‌های بارندگی و درجه حرارت با روش‌های مختلف میان‌یابی توسط ویسنت سرانو و همکاران (2003) مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های مورد بحث شامل مدل‌های مختلف رگرسیون، تیسن، اسپلین، سطوح رونددار، عکس وزنی فاصله و روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی، کریجینگ بلوکی، کریجینگ عمومی و کوکریجینگ بود. در پایان مشخص شد که برای تحلیل مکانی بارندگی روش‌های زمین‌آمار و برای درجه حرارت مدل رگرسیونی بهترین نتایج را ارائه دادند (36). مهدیان (2002) در پژوهشی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران انجام داده، اقدام به شناسایی بهترین روش جهت درون‌یابی متغیرهای درجه حرارت و تبخیر و تعرق نموده. ایشان از میان چندین روش، روش TPSS³ را مناسب برای درون‌یابی این عوامل اقلیمی معرفی کرد (16). به‌منظور بررسی تغییرات منطقه‌ای بارش سالانه در استان فارس، تقفیان و همکاران (2011) از اطلاعات ۱۲ ایستگاه هم‌دیدگی و ۱۰ مدل زمین‌آماری استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که برازش مدل گوسی کریجینگ و کوکریجینگ بر نیم‌تغییرنما داده‌های بارش سالانه با دامنه تأثیر ۲۰۰ کیلومتر، بهترین الگو برای درون‌یابی این متغیر است (28). امیدوار و خسروی (2009) با ارزیابی روش کریجینگ جهت پایش شاخص بارش استاندارد شده در استان یزد، به این نتیجه رسیدند که بهترین مدل جهت پایش این شاخص مدل نمایی می‌باشد (24).

در برخی از مطالعات جهت تخمین متغیرهای اقلیمی روش‌های کلاسیک درون‌یابی با انواع کریجینگ مقایسه شده‌اند. به‌منظور درون‌یابی متغیر بارش در منطقه جنوب آفریقا از روش‌های مختلف درون‌یابی مانند وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ

در تخمین و برآورد عوامل اقلیمی معمولاً از روش‌های مختلف درون‌یابی و زمین‌آماری در کنار هم استفاده می‌گردد. در بسیاری از این مطالعات از مدل‌های مختلف کریجینگ استفاده شده است. موگس و همکاران (2007) کار میان‌یابی بارش با استفاده از داده‌های دوره ابرناکی را در حوزه روفیجی¹ در تانزانیا با استفاده از زمین‌آمار انجام دادند. نتایج نشان داد روش کریجینگ اصلاح‌شده بهتر از روش‌های کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی براساس آماره ضریب تبیین (R^2) می‌باشد (19). نااوم و تسانس (2004) بهترین مدل را جهت تخمین نقشه هم‌بارش در کشور سوئیس، مدل‌های کریجینگ نمایی و کریجینگ عمومی معرفی نمودند (22). با استفاده از اطلاعات بارش ۱۰۶ ایستگاه در منطقه تراس اوس متس² کشور پرتغال، نیاز آبی سیب‌زمینی در کل این منطقه با استفاده از روش کریجینگ تخمین زده شد (33). اسکروین و همکاران (2003) طی پژوهشی الگوی مکانی طولانی‌مدت بارندگی و درجه حرارت را با روش‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. روش‌های مورد استفاده آن‌ها کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون چندمتغیره بود. نتایج نشان داد که کوکریجینگ در تخمین نقاط مرتفع ضعیف عمل می‌کند. در این پژوهش روش کریجینگ با روند خارجی با خطای تخمین کم‌تر به‌عنوان روش برتر انتخاب گردید (32). سان و همکاران (2000) به‌منظور تحلیل مکانی بارندگی روش‌های مختلفی را برای میان‌یابی داده‌های ثبت‌شده از ایستگاه‌های هواشناسی و رادار مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که از میان چهار روش میان‌یابی، استفاده از روش کوکریجینگ باعث کاهش ۴۰ درصدی خطا می‌شود (34). در پژوهشی

1- Ruffji

2- Tras-Os-Monts

3- Thin Plate Smoothing Spline

استان گلستان در طی یک دوره ۲۰ ساله، نتیجه گرفتند که با افزایش و کاهش بارندگی سالانه، عملکرد گندم دارای روند می‌باشد در حالی که در گیاه جو این روند وجود ندارد، اما جو دیم به شدت تحت تأثیر بارش‌های ماهانه قرار می‌گیرد (20). از آنجایی که انتخاب روش زمین‌آماری مناسب در برآورد یک متغیر، بستگی به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار دارد، بنابراین نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر نقاط تعمیم داد.

شهرستان آق‌قلا یکی از مراکز تولید محصولات کشاورزی از جمله غلات دیم می‌باشد. سطح زیر کشت گندم و جو دیم در این شهرستان در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ به ترتیب ۲۸۴۶۵ و ۵۵۳۴ هکتار بوده، اما متوسط عملکرد این محصولات در این شهرستان متغیر و وابسته به عوامل اقلیمی از جمله بارش است (10). بنابراین اطلاع از تغییرات انواع بارش در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا براساس روش‌های مختلف درون‌یابی، جهت دست‌یابی به یک الگوی صحیح پراکنش مکانی و زمانی و استفاده از آن‌ها در قالب نقشه‌های کاربردی برای مدیریت بهتر تولید محصولات کشاورزی دیم، از اهداف این پژوهش در نظر گرفته شد.

مواد و روش‌ها

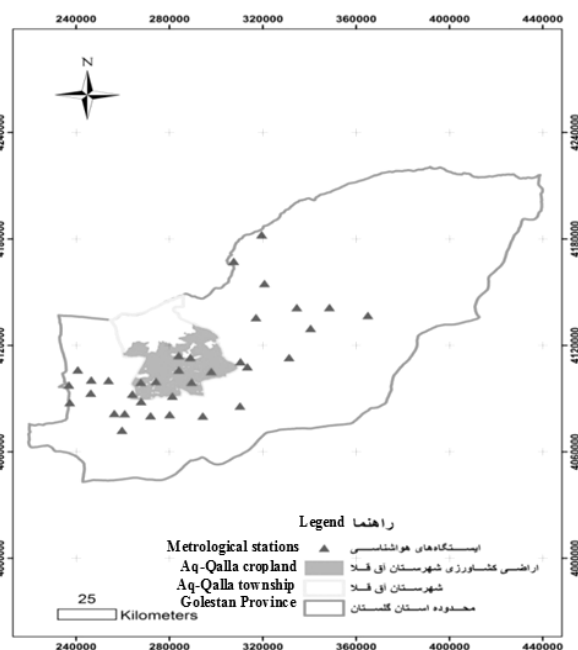
منطقه مورد مطالعه: شهرستان آق‌قلا با وسعت ۱۷۶۳ کیلومتر مربع، در گستره شمالی استان گلستان و در مختصات ۵۴ درجه و ۱۴/۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۵۵/۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۹/۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهرستان از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به شهرستان‌های گرگان و علی‌آباد، از شرق به شهرستان گنبد و از غرب به شهرستان بندر ترکمن محدود می‌شود. این پژوهش در محدوده اراضی

معمولی، کریجینگ تعمیم‌یافته و کوکریجینگ استفاده شد. نتایج نشان داد که کریجینگ معمولی با متوسط خطای ۶۱ میلی‌متر (۱۱ درصد) نسبت به دیگر روش‌ها برتر می‌باشد (4). کار میان‌یابی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک منطقه شالیزاری سلانگور در مالزی، با استفاده از ۱۳۸ نمونه انجام شد. در این مطالعه از مدل نمایی برای برازش نیم‌تغییرنما این عناصر استفاده شد و نقشه‌های نهایی با روش کریجینگ تهیه شد (1). آپایدین و همکاران (2004) با استفاده از روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله، چندجمله‌ای عام، توابع پایه شعاعی، کریجینگ و کوکریجینگ به درون‌یابی شش متغیر اقلیمی تشعشع خورشیدی، مدت تابش، درجه حرارت، رطوبت نسبی، سرعت باد و بارش در ترکیه طی دوره آماری ۱۹۷۱-۱۹۹۹ پرداختند و از ریشه میانگین مربعات خطا به عنوان معیار ارزیابی بهترین مدل استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش کوکریجینگ برای درون‌یابی این متغیرهای اقلیمی مناسب است (2).

در برخی از مطالعات از روش کوکریجینگ نیز در تخمین متغیرهای اقلیمی استفاده شده است. در مطالعه‌ای مشخص شد که روش کوکریجینگ برای میان‌یابی بارندگی ماه‌های اردیبهشت تا مهر (به‌جز خردادماه) روش کریجینگ با روند خارجی برای خردادماه و روش کریجینگ معمولی برای بارندگی سالانه و سایر ماه‌ها، مناسب‌ترین روش میان‌یابی برای همه نقاط استان گلستان تشخیص داده شد. بدترین روش میان‌یابی، روش فاصله معکوس مربع معرفی شد (5). همچنین در مطالعه‌ای، مناسب‌ترین روش جهت میان‌یابی بارش سالانه با توجه به اطلاعات ۵۷ ایستگاه مورد بررسی در استان بوشهر، روش رگرسیون با تابع چندجمله‌ای درجه چهارم تشخیص داده شد (21). مساعدی و کاهه (2008) با بررسی تأثیر بارندگی بر عملکرد محصولات گندم و جو در

آمده است (13). دامنه بارش سالانه این محدوده بین ۲۴۹ تا ۵۲۹ میلی‌متر در نوسان است. شکل ۱ محدوده مورد مطالعه در این پژوهش را نشان می‌دهد.

کشاورزی این شهرستان انجام شد. این محدوده قبلاً از روی لایه کاربری استان گلستان و تصاویر سنجنده تیم ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۱۰ به دست



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده.

Figure 1. Study area and location of used metrological stations.

محاسبه گردید. در این پژوهش میانگین دوره آماری متغیرهای اقلیمی میزان بارش سالانه، میزان بارش فصلی (پاییزه و بهاره) و میزان بارش ماهانه (اردیبهشت و خرداد) تهیه شدند. انتخاب این زمان‌ها منطبق با نیازهای اقلیمی و مراحل فنولوژیکی محصولات دیم پاییزه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. قبل از استفاده از داده‌ها، نرمال بودن آن‌ها بررسی گردید. سرانجام پهنه‌بندی تغییراتی مکانی سالانه، فصلی و ماهانه بارش در منطقه به صورت نقشه مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش‌های درونیابی: در این پژوهش جهت درونیابی متغیرهای اقلیمی بارش از روش‌های

داده‌های بارندگی: در این پژوهش از داده‌های بارندگی ۳۵ ایستگاه هواشناسی مستقر در محدوده مورد مطالعه و شهرستان‌های پیرامون آن استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده را نشان می‌دهد. بدین منظور از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی، هم‌دیدگی و اقلیم‌شناسی در یک دوره آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۵-۱۳۹۰) استفاده گردید. از داده‌های ایستگاه‌هایی استفاده شود که در این دوره انتخابی دارای پیوستگی آماری بودند. تعدادی از این ایستگاه‌ها زیر نظر سازمان هواشناسی کشور و تعدادی تحت نظارت وزارت نیرو می‌باشند. به منظور محاسبه مقادیر بارندگی، ابتدا داده‌های روزانه تهیه و سپس جمع بارندگی ماهانه و بعد سالانه

می‌شود. در این روش فرض بر این است که فرد از میانگین متغیر در کل سطح آگاهی ندارد. تابع کریجینگ معمولی نمونه‌ای ویژه‌ای از تابع کریجینگ عام است (37). در این روش فرض ایستگاهی صدق نمی‌کند و فرض میانگین ثابت وجود ندارد، یعنی میانگین در سراسر ناحیه مطالعاتی تغییر می‌کند. کریجینگ معمولی در هر منطقه کوچک میانگین را برآورد می‌کند (26).

کریجینگ عام: یک متغیر ناحیه‌ای غیرایستگاهی دو جز دارد یک روند شامل میانگین یا مقدار مورد انتظار متغیر ناحیه‌ای و یک مقدار باقی‌مانده که تفاوت مقدار اندازه‌گیری شده واقعی و روند است. در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر Z وجود دارد. در این صورت کریجینگ با یک جمله‌ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می‌شود (26, 27).

نیم‌تغییرنما: هدف اصلی از برقرار کردن تابع نیم‌تغییرنما آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود (9). تغییر واریانس بین نقاطی به فاصله h از یکدیگر، می‌تواند همبستگی متقابل بین مقدار متغیر را بین این نقاط نشان دهد. در صورت وجود ساختار مکانی، طبیعی است که وابستگی مقدار متغیر در نقاط نزدیک به هم بیش‌تر از نقاط دور از هم باشد. در این آزمایش از تابع نیم‌تغییرنما جهت نشان دادن تغییرات یک عامل با در نظر گرفتن فاصله استفاده شد که معادله آن به صورت زیر است:

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

که در آن، $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$: مقدار متغیر در نقاط x_i ، x_i+h و $N(h)$: تعداد جفت نمونه‌های به کار رفته

6- Semi-Variogram

کلاسیک مانند وزن‌دهی معکوس فاصله^۱، چندجمله‌ای موضعی^۲ و تابع پایه شعاعی^۳ و روش‌های زمین‌آماري مانند کریجینگ معمولی^۴ و کریجینگ عام^۵ با مدل‌های مختلف استفاده شد.

روش‌های زمین‌آماري

روش کریجینگ: کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماري است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآوردکننده خطی ناریب می‌باشد. شرط ناریب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چندجمله‌ای و وزن‌دهی معکوس فاصله نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین ناریب بودن، واریانس تخمین نیز در کم‌ترین مقدار می‌باشد (9, 14). این برآوردکننده به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (1)$$

که در آن، $\hat{z}(x_i)$: تخمین مقدار متغیر Z در نقطه x و λ_i : وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i می‌باشند. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد باید از کریجینگ غیرخطی استفاده نمود یا با استفاده از روش‌های تبدیل داده‌ها، توزیع متغیر مورد نظر را تبدیل به نرمال نمود (9, 35). در این پژوهش از دو نوع کریجینگ با مدل‌های کروی، دایره‌ای، گوسی و نمایی استفاده شد.

کریجینگ معمولی: یکی از روش‌های کریجینگ است که نسبت به دیگر روش‌های آن بیش‌تر استفاده

- 1- Invers Distance Wiegthed
- 2- Local Polynomial
- 3- Radial Basis Function
- 4- Ordinary Kriging
- 5- Universal Kriging

نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوری که توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد برآورد را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن‌ها را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط هم جوار توزیع می‌کنند (35). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (3)$$

که در آن، λ_i : وزن نقطه i ام، D_i : فاصله نقطه i ام تا نقطه مجهول و α : معادل توان وزن‌دهی می‌باشد.

معیار اعتبارسنجی: در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل (تقاطع) برای برآزش نکویی روش‌های درونیابی استفاده شد. این روش بر این اساس استوار است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود، سپس مقدار واقعی به محل واقعی برگردانده شده و برای تمامی نقاط، این عمل تکرار می‌شود و نتایج در قالب دو ستون مقادیر مشاهده شده و برآورد شده ارائه می‌شود (4). در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری خطای برآورد (ریشه دوم میانگین مربعات باقی‌مانده) (RMSE)^{۱۰} و انحراف استاندارد عمومی (GSD)^{۱۱} محاسبه می‌گردد. مقدار این معیارها با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ به دست آمد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (Z(x_k) - Z^*(x_k))^2} \quad (4)$$

$$GSD = RMSE / \bar{Z}(x_k) \quad (5)$$

- 9- Cross Validation
10- Root Mean Squared Error
11- General Standard Deviation

به‌ازای هر فاصله h می‌باشند (14). در این پژوهش از مدل‌های کروی^۱، نمایی^۲ گوسی^۳ و خطی^۴ برای برآزش نیم‌تغییرنما استفاده شد.

روش‌های کلاسیک

چندجمله‌ای موضعی: این روش حداقل مجذورات متناسب را بین نقاط شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن نقطه تخصیص می‌دهد. این روش از تابع چندجمله‌ای جهت درونیابی استفاده می‌کند. در این روش تعداد زیادی چندجمله‌ای برای داده‌های محدود در یک همسایگی معین برآزش داده می‌شود. براساس ضریب تخصیص داده شده، با به‌دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر x ، y و z و حداقل‌سازی اطلاعات محاسبه شده، درونیابی صورت می‌گیرد (6, 17, 25).

تابع پایه شعاعی: از جمله روش‌های درونیابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. توابع پایه شعاعی، از نوع شبکه‌های رو به جلو همراه با یک لایه میانی هستند. شبکه‌های توابع شعاعی دارای پایه ریاضیاتی بسیار قوی بر مبنای فرضیه منظم‌سازی برای حل مسایل مشکل می‌باشند. این شبکه‌ها تقریباً از سه لایه شامل ورودی مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند (6). توابعی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت عبارتند از: چندربعی معکوس^۵، چندربعی^۶، نواری کم‌ضخامت^۷ و نواری با کشش^۸.

وزن‌دهی معکوس فاصله: در این روش برای هر کدام از نقاط اندازه‌گیری شده، براساس فاصله بین آن

- 1- Spherical
2- Exponential
3- Gaussian
4- Linear
5- Inverse Multiquadric
6- Multiquadric
7- Thin Plate Spline
8- Spline With Tension

همچنین متغیر بارش خرداد ماه بعد از تبدیل لگاریتمی دارای کشیدگی ۰/۳۸ و چولگی ۰/۳۲- بود.

برآورد میزان بارش سالانه: نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی کلاسیک و زمین‌آماری نشان داد که جهت تخمین متغیر بارش سالانه، روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۲ با داشتن کم‌ترین خطا ($RMSE=43/61$) مناسب‌ترین روش بوده و روش وزن‌دهی معکوس فاصله با توان یک با دارا بودن بیش‌ترین خطا برآورد ($RMSE=78/74$) و انحراف استاندارد عمومی ($GSD=0/178$)، نامناسب‌ترین روش می‌باشد (جدول ۲). بر خلاف این نتایج عیوضی و مساعدی (2012) گزارش دادند که روش چندجمله‌ای موضعی به همراه روش چندجمله‌ای عام نتایج مناسبی را برای میان‌یابی بارش سالانه در کل استان گلستان ارائه نمی‌دهند و مدل‌سازی در این دو روش براساس برازش توابع چندجمله‌ای بر داده‌های مکانی نمونه‌برداری شده می‌باشد. با توجه به تغییرات شدید توپوگرافی در استان گلستان، این دو روش کلاسیک نمی‌تواند نتیجه خوبی را ارائه دهند. به همین دلیل این پژوهشگران روش‌های چندجمله‌ای را به‌عنوان روش‌های مناسب برای تخمین در مناطق هموار اعلام کردند (6). در مطالعه کنونی نیز ایستگاه‌های انتخابی در محدوده شهرستان آق‌قلا و شهرستان‌های اطراف، از کم‌ترین تغییرات توپوگرافی برخوردار بودند، به‌طوری‌که اکثر ایستگاه‌ها در نقاط ارتفاعی پایینی قرار داشتند. دامنه ارتفاع از سطح دریا برای این نقاط بین ۲۰ تا ۳۱۰ متر در نوسان بود. به همین دلیل در این ارزیابی، روش چندجمله‌ای موضعی توانست تخمین بهتری را ارائه کند. بعد از روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۲، روش تابع پایه شعاعی چندربعی و نواری با کشش، جهت تخمین این متغیر به ترتیب دارای کم‌ترین خطا بودند. در مقایسه بین روش‌های کریجینگ، مدل‌های مختلف کریجنگ معمولی نتایج بهتری را ارائه دادند (جدول ۲).

که در آن‌ها، $Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده در نقطه x_i ، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ، N : تعداد نقاط و $\bar{Z}(x_i)$: میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد. معمولاً هر چقدر مقدار این دو معیار کم‌تر باشد، دقت روش بیش‌تر است. پیش از انجام ارزیابی روش‌های درون‌یابی، همسان‌گردی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت و ناهمسان‌گردی در متغیرهای مورد بررسی مشاهده نشد. در انتها پس از تهیه همه لایه‌های بارش، طبقه‌بندی آن‌ها صورت گرفت، سپس جهت تهیه لایه تناسب اراضی کشت غلات پاییزه، همه لایه باهم ادغام شده و لایه نهایی در چهار کلاس طبقه‌بندی شد. در این پژوهش از نرم‌افزارهای GS^+ نسخه ۵ برای برازش نیم‌تغییرنماها و ArcGIS نسخه ۱۰ جهت اجرای مدل‌ها و ترسیم نقشه‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

خلاصه آماری داده‌ها: قبل از انجام محاسبات درون‌یابی، بررسی‌های متداول آماری مانند آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با کمک ابزارهای موجود در نرم‌افزار ArcMap صورت گرفت. مشخص شد که داده‌های بارش بهاره، بارش اردیبهشت‌ماه و بارش خردادماه از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند. برای نرمال‌سازی این داده‌ها از روش لگاریتمی استفاده شد. آمار توصیفی متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد بارش سالانه در ۳۵ ایستگاه باران‌سنجی مورد استفاده با مقدار چولگی ۰/۵۳ و کشیدگی ۲/۶۴، در دامنه ۲۳۱/۹۱ تا ۷۰۰/۶۴ میلی‌متر در نوسان بود. نزدیکی میانه به میانگین و نیز چولگی پایین این متغیر توزیع نرمال بودن آن را تأیید می‌کند. بیش‌ترین ضرایب کشیدگی و چولگی به متغیر بارش بهاره اختصاص داشت که بعد از تبدیل لگاریتمی به ترتیب به عدد ۰/۸۴ و ۱/۰۷ رسید.

جدول ۱- خلاصه نتایج متغیرهای آماری بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه.

Table 1. Summary results of statistic variables of monthly, seasonal and annual rainfalls.

سالانه Annual	پاییزه Autumn	بهاره Spring	خردادماه June	اردیبهشت‌ماه May	آماره / بارش			
میلی‌متر (mm)					Statistics index/ Rainfall			
تبدیل لگاریتمی Log transformation		بدون تبدیل Non- transformation		تبدیل لگاریتمی Log transformation		بدون تبدیل Non- transformation		
0.53	0.32	0.84	2.28	-0.32	2.23	0.57	1.72	چولگی Skewness
2.64	0.25	1.07	5.97	0.38	5.23	0.25	2.95	کشیدگی Kurtosis
231.91	73.9	3.68	39.58	0.40	1.5	2.74	15.5	مقدار کمینه Minimum
441.31	147.41	4.56	103.4	2.53	18.36	3.49	36.24	میانگین Average
700.64	233.64	5.76	3.79	4.45	86.02	4.56	95.64	مقدار بیشینه Maximum
438.22	138.48	4.49	89.92	2.56	11.5	3.38	29.45	میانه Median
127.23	37.79	0.41	53.69	0.92	18.05	0.42	17.58	انحراف معیار Standard deviation

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های درونیابی جهت برآورد میزان بارش سالانه.

Table 2. Results of interpolation methods assessment for estimation of annual rainfall amount.

رتبه Rank	انحراف استاندارد عمومی GSD	خطای برآورد RMSE	مدل / توان / درجه Model/power/ degree	روش Method
16	0.178	78.74	توان ۱ Power 1	وزن‌دهی معکوس فاصله Inverse Distance Weighting
15	0.150	66.30	توان ۲ Power 2	
12	0.132	58.32	توان ۳ Power 3	
4	0.105	46.37	درجه ۱ Degree 1	چندجمله‌ای موضعی Local polynomial
1	0.098	43.61	درجه ۲ Degree 2	
10	0.127	56.30	درجه ۳ Degree 3	
6	0.116	51.35	چنددرجی معکوس Inverse multiquadric	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function
3	0.104	46.11	نواری با کشش Spline with Tension	
2	0.102	45.19	چنددرجی Multiquadric	
5	0.112	49.85	نواری کم ضخامت Thin Plate Spline	

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

رتبه Rank	انحراف استاندارد عمومی GSD	خطای برآورد RMSE	مدل / توان / درجه Model/power/ degree	روش Method
9	0.125	55.22	دایره‌ای Circular	کریجینگ معمولی Ordinary Kriging
8	0.124	55.07	کروی Spherical	
13	0.141	62.58	نمایی Exponential	
11	0.128	56.72	گوسی Gaussian	
7	0.124	54.76	دایره‌ای Circular	کریجینگ عام Universal Kriging
8	0.124	55.07	کروی Spherical	
14	0.141	62.58	نمایی Exponential	
11	0.128	56.72	گوسی Gaussian	

باقی‌مانده (RSS)، مدل نمایی از بین چهار مدل مورد ارزیابی، به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد (شکل ۲). ویژگی‌های این مدل در جدول ۳ آمده است.

برای بررسی وجود یا عدم وجود وابستگی مکانی بارش سالانه در محدوده مورد مطالعه، پس از برآزش چند مدل نیم‌تغییرنما، بر پایه آماره مجموع مربعات

جدول ۳- خصوصیات نیم‌تغییرنمای متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه.

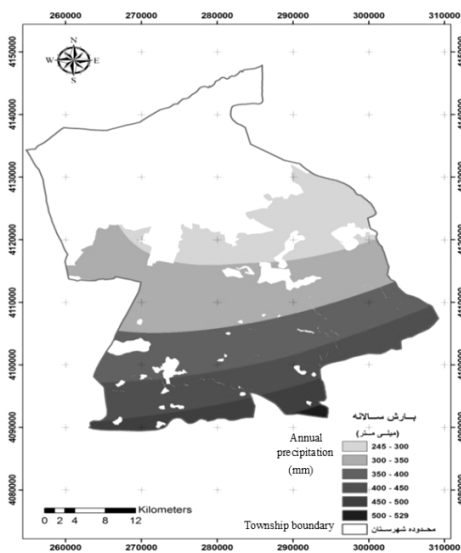
Table 3. Semivariogram parameters of studied climatic variables.

متغیر Variable	مدل برازش‌شده Fitted model	اثر قطعه‌ای Nugget Effect	سقف Sill	دامنه تأثیر Range	نسبت اثر قطعه‌ای به سقف Nugget Effect/sill	مجموع مربعات باقی‌مانده RMSE
بارش سالانه Annual precipitation	نمایی Exponential	10.00	24310	14300	1.00	4.15
بارش پاییزه Autumn precipitation	کروی Spherical	310.00	3730	42100	0.91	522062
بارش بهاره Spring precipitation	کروی Spherical	0.0001	0.183	31200	0.99	1.66
بارش اردیبهشت‌ماه May precipitation	کروی Spherical	0.013	0.123	27400	0.89	8.73
بارش خردادماه June precipitation	نمایی Exponential	0.077	2.16	28800	0.96	0.31

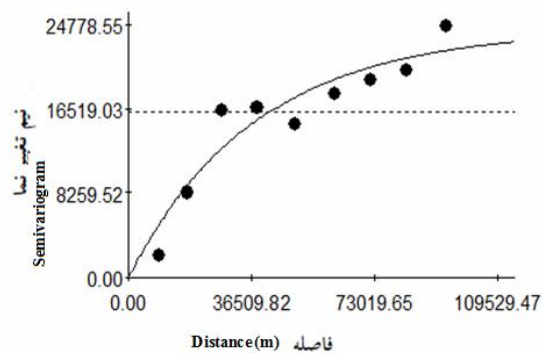
باشد از ساختار مکانی متوسط برخوردار است و هنگامی که بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی آن متغیر قوی است (31). در این برآزش اثر قطعه‌ای برای بارش سالانه ۱۰ محاسبه شد. در حالت ایده‌آل باید مقدار اثر قطعه‌ای صفر باشد اما در واقعیت نیم‌تغییرنماهای تجربی مقادیر بالاتر از صفر را نشان می‌دهند که این به‌دلیلی ظهور جز تصادفی متغیر می‌باشد. اثر قطعه‌ای به‌علت وجود تغییرات در فواصل نمونه‌برداری و یا به‌دلیل خطای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بروز می‌کند (9). در این مطالعه مشخص شد که بارش سالانه دارای حداکثر آستانه یا سقف می‌باشد که نشانگر بالا بودن واریانس داده‌ها می‌باشد (۲۴۵ تا ۵۲۹ میلی‌متر).

اصولاً مدل نمایی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به حد آستانه‌ای نمی‌رسد و به همین دلیل دامنه تأثیر آن نامعلوم است. وجود داده‌هایی با چنین مدلی می‌تواند به دو دلیل باشد: الف: وجود روند در محدوده مورد بررسی، ب: بزرگی قابل ملاحظه دامنه تأثیر نسبت به ابعاد محدوده تحت پوشش نمونه‌برداری (12). در این مطالعه دامنه تأثیر برای این متغیر ۱۴۳۰۰ متر محاسبه شد. در این برآزش اثر قطعه‌ای به آستانه برای بارش سالانه ۱/۰۰ بدست آمد. این نسبت برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. وقتی این نسبت کم‌تر از ۰/۲۵ باشد، متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی ضعیف می‌باشد، اگر بین ۰/۲۵-۰/۷۵

شکل ب
(b)



شکل الف
(a)



شکل ۲- نیم‌تغییرنمای تجربی براساس مدل نمایی برای بارش سالانه (شکل الف) و نقشه تخمین بارش سالانه در اراضی کشاورزی آق‌قلا (شکل ب).

Figure 2. Experimental semivariogram based on exponential model for annual precipitation (a) and estimation map of annual precipitation in agricultural lands of Aq-Qalla (b).

از شرق به غرب کشیده شده است و از نظر کیفی در پهنه مناسب جهت کشت دیم محصولاتی مانند گندم و جو دیم قرار می‌گیرد. حدود ۱۸/۷۸ درصد اراضی با ارزش کیفی متوسط، دارای بارش زیر ۳۰۰ میلی‌متر بودند. در این ارزیابی مشخص شد که فقط حدود ۵۱۸/۷۹ هکتار دارای بارش بالای ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشند. حداقل میزان رطوبت در زراعت گندم دیم معادل ۳۰۰ میلی‌متر بارش در طول دوره رشد اعلام است (3).

شکل ۲- ب وضعیت بارش سالانه را در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا نشان می‌دهد. طبق این نقشه از جنوب به طرف شمال اراضی از میزان بارش سالانه کاسته می‌شود، به طوری که از میزان ۵۲۹ میلی‌متر به ۲۴۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. این منطقه از نظر بارش در سه پهنه قرار می‌گیرد. در این نقشه حدود ۶۵/۶۲ درصد از اراضی کشاورزی دارای بارش بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشند (جدول ۴). این پهنه‌ها در قسمت‌های میانی محدوده مورد مطالعه

جدول ۴- پهنه‌بندی میزان بارش سالانه در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا.

Table 4. Zoning of annual rainfall amount in cropland of Aq-Qalla township.

میزان بارش (میلی‌متر) Rainfall amount (mm)	مساحت (هکتار) Area (ha)	مساحت هر پهنه نسبت به کل (درصد) Area of zone/Total area (%)	ارزش کیفی برای کشت دیم Quality value for rainfed cropping
245-300	20545.42	18.77	متوسط Semi-suitable
300-350	35336.72	32.28	مناسب Suitable
350-400	25539.46	33.34	مناسب Suitable
400-450	20492.97	18.72	بسیار مناسب High suitable
450-500	7016.35	6.42	بسیار مناسب High suitable
500-529	518.79	0.47	بسیار مناسب High suitable

بر خلاف این نتایج در مطالعه جانستون و همکاران (2001) مشخص شد که از بین روش‌های قطعی، دو روش وزن‌دهی معکوس فاصله و تابع پایه شعاعی روش‌های دقیق و روش‌های چندجمله‌ای عام و چندجمله‌ای موضعی روش‌های غیردقیقی می‌باشند (11).

در این پژوهش برای برازش نیم‌تغییرنمای بارش پاییزه از مدل کروی استفاده شد (شکل ۳- الف). در این برازش دامنه تأثیر ۴۲۱۰۰ متر به دست آمد (جدول ۳). دامنه تأثیر بیانگر حداکثر فاصله‌ای است که پس از

برآورد میزان بارش پاییزه: نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های درون‌یابی کلاسیک و زمین‌آماری نشان داد که بهترین روش جهت تخمین مکانی بارش پاییزه در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا، روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۲ می‌باشد. روش‌های چندجمله‌ای درجه ۱ و تابع پایه شعاعی با مدل‌های چندریعی و نواری با کشتش به علت داشتن کم‌ترین خطا در مکان‌های بعدی قرار گرفتند. در مقایسه روش‌های زمین‌آماري با یکدیگر، مدل گوسی در هر دو روش خطای کم‌تری را به خود اختصاص داد. (جدول ۵).

شد که نشان‌دهنده وجود ساختار مکانی قوی بین داده‌هاست. در مطالعه لوید (2005) روی بارش ماهانه مشاهده شد که مدل کروی در اکثر ماه‌ها به‌عنوان بهترین مدل جهت برازش نیم‌تغییرنما می‌باشد (15).

آن ساختار مکانی دیگر وجود نداشته و نیم‌تغییرنما به یک مقدار ثابت می‌رسد. پس از عبور از دامنه تأثیر هیچ‌گونه ارتباط مکانی بین نمونه‌ها وجود نداشته و نمونه‌ها مستقل از یکدیگر هستند (9). همچنین در این برازش نسبت اثر قطعه‌ای به سقف، ۰/۹۱ محاسبه

جدول ۵- نتایج ارزیابی دو مدل برتر روش‌های درون‌یابی جهت برآورد میزان بارش‌های پاییزه، بهاره، اردیبهشت و خردادماه.

Table 5. Results of the two best models from interpolation methods assessment for estimation of autumn, spring, May and June precipitation amounts.

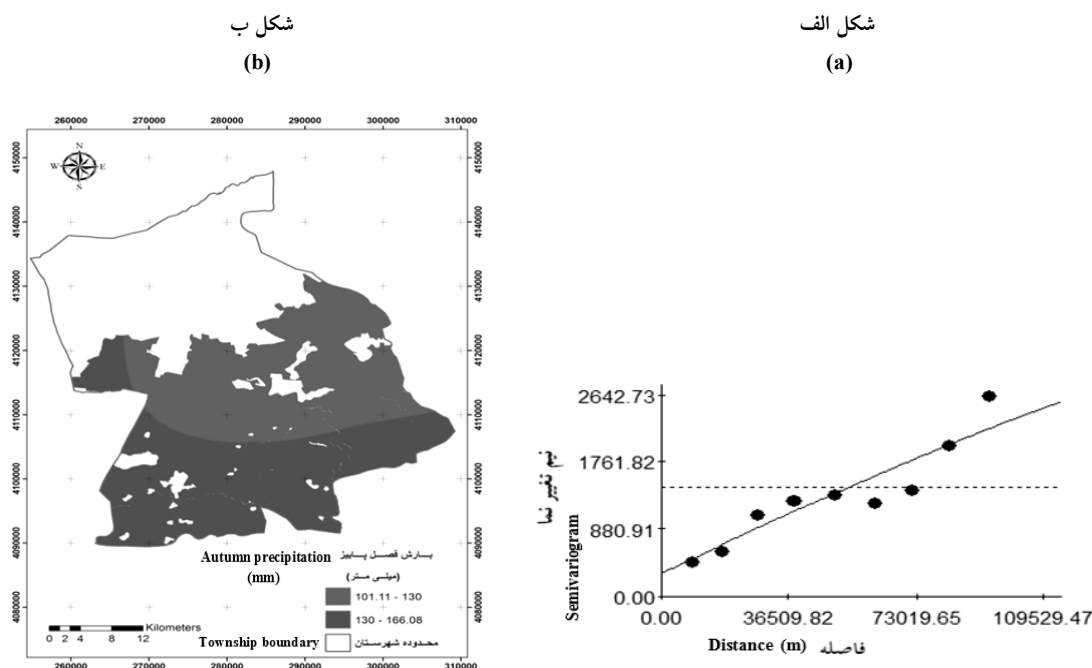
رتبه Rank	انحراف استاندارد عمومی GSD	خطای برآورد RMSE	مدل / توان / درجه Model/Power/ Degree	روش Method	متغیر Variables
1	0.136	20.08	درجه ۲ Degree 2	چندجمله‌ای موضعی Local polynomial	بارش پاییزه Autumn precipitation
2	0.161	23.78	درجه ۱ Degree 1		
1	0.287	30.28	چنددربعی Multiquadric	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function	بارش بهاره Spring precipitation
2	0.291	30.70	نواری با کشش Spline with Tension		
1	0.250	9.06	درجه ۱ Degree 1	چندجمله‌ای موضعی Local polynomial	بارش اردیبهشت‌ماه May precipitation
2	0.255	9.26	نواری با کشش Spline with Tension	تابع پایه شعاعی Radial Basis Function	
1	0.492	8.99	گوسی Gaussian	کریجینگ معمولی Ordinary Kriging	بارش خردادماه June precipitation
2	0.542	9.89	درجه ۱ Degree 1	چندجمله‌ای موضعی Local polynomial	

پاییزه در این منطقه بین ۱۰۱/۱۱ تا ۱۶۶/۰۸ میلی‌متر مشاهده شد که از نظر برآورد نیاز رطوبتی گیاهان دیم رایج در منطقه مثل گندم، جو و کلزا این میزان بارش مناسب است و نیاز رطوبتی پاییزه این گیاهان را تأمین می‌کند. سازمان هواشناسی کشور مقدار بارش مناسب پاییزه (بارش مناسب جهت جوانه‌زنی و پنجه‌زنی) را ۴۰ تا ۶۰ میلی‌متر پیشنهاد کرده است (29). کمالی (2008) گزارش داد در مناطقی که بارش پاییزه بیش از ۱۰۰ میلی‌متر است، ارزش کیفی آن مناطق برای

در زراعت دیم علاوه بر مجموع بارندگی سالانه، نحوه توزیع آن در طول مراحل رشد بر عملکرد محصول تأثیر به‌سزایی دارد. زیرا غالباً توزیع بارندگی از لحاظ زمانی و مکانی بسیار نامنظم می‌باشد (29). با توجه به‌پهنه‌بندی توزیع جغرافیایی بارش پاییزه در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا در شکل ۳ مشاهده شد که از سمت جنوب به شمال از میزان بارش پاییزه کاسته می‌شود به‌طوری‌که الگو پراکنش این متغیر مشابه الگو بارش سالانه می‌باشد. دامنه تغییرات بارش

مناسب قرار گرفت، در نتیجه از تهیه نقشه پهنه‌بندی آن با یک طبقه خودداری شد.

کشت گندم دیم در کلاس بسیار مناسب می‌باشد (12). بنابراین در این مطالعه، کل منطقه مورد بررسی از شرایط مناسبی برخوردار بوده و در طبقه بسیار



شکل ۳- نیم‌تغییرنمای تجربی براساس مدل کروی برای بارش پاییزه (شکل الف) و نقشه تخمین بارش پاییزه در اراضی کشاورزی آق‌قلا (شکل ب).

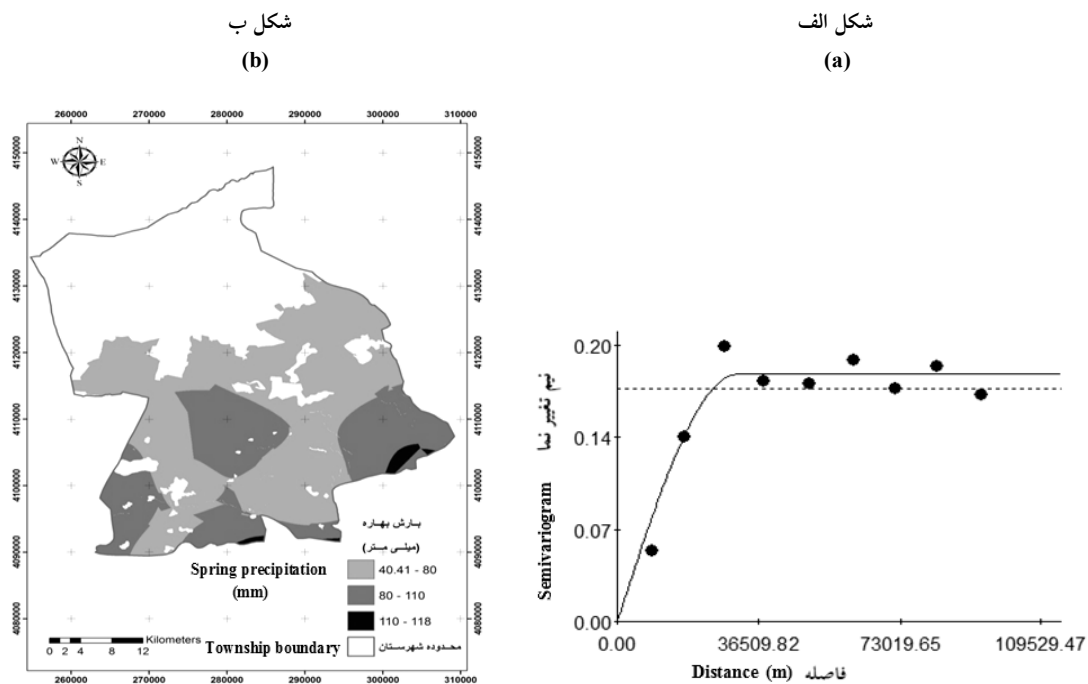
Figure 3. Experimental semivariogram based on spherical model for autumn precipitation (a) and estimation map of autumn precipitation in agricultural lands of Aq-Qalla (b).

روش وزن‌دهی معکوس فاصله، روش چندجمله‌ای عام و روش چندجمله‌ای موضعی به‌علت دارا بودن کم‌ترین خطا، مناسب‌ترین روش انتخاب شدند (6). جهت بررسی ساختار مکانی متغیر بارش بهاره در محدوده اراضی شهرستان آق‌قلا، پس از برازش چندین مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برگزیده شد (شکل ۴). پارامترهای مدل نیم‌تغییرنما در جدول ۳ آمده است. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (۰/۹۹)، نشان‌دهنده وجود ساختار مکانی قوی بارش بهاره در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. گزارش شده است اگر نیم‌تغییرنما دارای

برآورد میزان بارش بهاره: جهت ترسیم نقشه بارش بهاره از بین ۱۸ روش-مدل میان‌یابی، روش توابع پایه شعاعی مدل چندربعی انتخاب شد. این مدل دارای کم‌ترین خطای برآورد (۳۰/۲۸) و کم‌ترین انحراف استاندارد عمومی (۰/۲۸۷) بود (جدول ۵). مدل‌های دیگر از روش تابع پایه شعاعی به‌ترتیب شامل نواری با کشش، چندربعی معکوس و نواری کم‌ضخامت نیز دارای کم‌ترین خطا بودند و در مکان‌های بعدی قرار گرفتند. در مطالعه عیوضی و مساعدی (2012) جهت تخمین بارش سالانه در کل استان گلستان، روش تابع پایه شعاعی نسبت به سه

تمایلی به نزدیک شدن به مقدار ثابتی نداشته باشند و با افزایش فاصله در محدوده نمونه برداری همواره افزایش یابند، برای تخمین مناسب نمی باشند (9).

سقف معین و در نتیجه دامنه تأثیر مشخصی باشد، ساختار مکانی می تواند وجود داشته باشد (14). در این مطالعه، بارش بهار در دامنه ۳۱۲۰۰ متر به مقدار ثابت ۰/۱۸۳ رسید (جدول ۳). نیم تغییرنماهایی که



شکل ۴- نیم تغییرنمای تجربی براساس مدل کروی برای بارش بهار (شکل الف) و نقشه تخمین بارش بهار در اراضی کشاورزی آق قلا (شکل ب).

Figure 4. Experimental semivariogram based on spherical model for spring precipitation (a) and estimation map of spring precipitation in agricultural lands of Aq-Qalla (b).

سنبله دهی غلات دیم می باشد، باعث عقیم شدن گلچه ها می گردد. بنابراین در راستای دستیابی به بازده بالا در واحد سطح، بارش بهار دارای اهمیت خاصی است (7). مساحتی حدود ۱۳۰۹/۱۷ هکتار از مناطق جنوب و شرق شهرستان آق قلا، دارای بارش بهار بالای ۱۱۰ میلی متر می باشند (جدول ۶) که طبق طبقه بندی کمالی (2008)، بارش بهار بالای ۱۱۰ میلی متر برای زراعت گندم مناسب است (12). براساس نتایج مطالعه گیوی (2007) بارش مناسب بهار (مجموع بارش مرحله گلدهی و دانه دهی) در

نقشه تهیه شده با روش تابع پایه شعاعی - مدل چندربعی نشان داد که میزان بارش بهار در منطقه مورد مطالعه بین ۴۰/۴۱ تا ۱۱۸/۸۷ میلی متر در نوسان است. در این نقشه قسمت های وسیعی از منطقه (۶۳/۹۹ درصد) دارای بارش زیر ۸۰ میلی متر بودند (شکل ۶). این اراضی در مناطقی شمالی و مرکزی شهرستان واقع شده اند. کمالی (2008) مناطقی با بارندگی کم تر از ۸۰ میلی متر را برای کشت گندم دیم نامناسب اعلام کرد (12). گزارش شده است که شرایط اقلیمی نامناسب در فصل بهار که همراه با

(2009) میزان بارش بهاره زیر ۱۲۵ میلی‌متر را جهت کشت گندم دیم در استان آذربایجان غربی نامناسب تشخیص دادند (29).

دامنه‌ای ۱۱۵ تا ۱۷۰ میلی‌متر پیشنهاد شده است (8). چنانچه میزان بارش بهاره ۳۸ تا ۴۰ درصد نسبت به بارش سالانه باشد، این میزان بارش بهاره مناسب است. در همین راستا ساری‌صراف و همکاران

جدول ۶- پهنه‌بندی میزان بارش بهاره در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا.

Table 6. Zoning of spring rainfall amount in cropland of Aq-Qalla township.

ارزش کیفی برای کشت دیم Quality value for rainfed cropping	مساحت هر پهنه نسبت به کل (درصد) Area of zone /Total area (%)	مساحت (هکتار) Area (ha)	میزان بارش (میلی‌متر) Rainfall amount (mm)
نامناسب Non-suitable	63.99	70044.50	40.41-80
متوسط Semi-suitable	34.80	38094.30	80-110
مناسب Suitable	1.19	1309.17	110-118

عمل، نیم‌تغییرنما دارای عرض از مبدایی است که اثر قطعه‌ای^۱ نامیده می‌شود و نشان‌دهنده واریانس تصادفی و بدون ساختار است. اثر قطعه‌ای به‌علت تغییرات در فواصل کم‌تر از حداقل فاصله نمونه‌برداری و یا به‌دلیل خطای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بروز می‌کند (9). در این آزمایش اثر قطعه‌ای نیم‌تغییرنما بارش اردیبهشت با برآزش مدل کروی، ۰/۰۱۳ به‌دست آمد (جدول ۳). با توجه به نقشه توزیع جغرافیایی بارش اردیبهشت‌ماه در منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که میزان آن بین ۱۰/۹۰ تا ۴۵/۴۵ میلی‌متر در نوسان است. بیش‌تر میزان این متغیر در اراضی جنوبی و غربی شهرستان و کم‌ترین آن در قسمت شمالی مشاهده شد (شکل ۵).

با توجه به این‌که پرشدن دانه در مزارع غلات با تاریخ‌های کاشت زودهنگام، معمولاً در اردیبهشت‌ماه رخ می‌دهد، بنابراین میزان رطوبت کافی در این مرحله می‌تواند حتی از بارش‌های فصلی یا سالانه بسیار مؤثرتر باشد. اصولاً در دیم‌زارها بین عملکرد

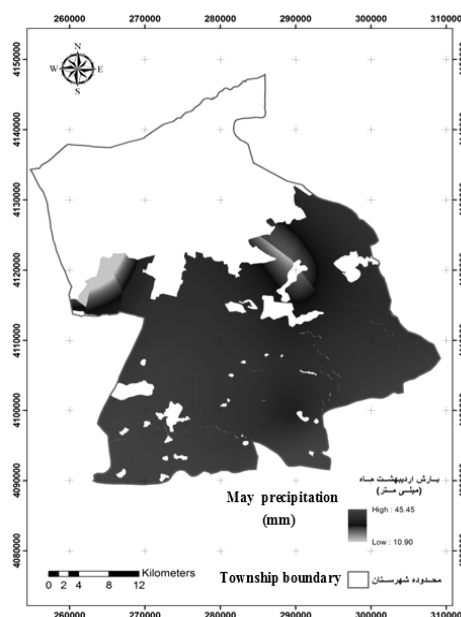
برآورد میزان بارش اردیبهشت‌ماه: با ارزیابی ۱۸ روش - مدل مختلف میان‌یابی، مشخص شد که روش چندجمله‌ای موضعی درجه ۱ می‌تواند برآورد بهتری از متغیر اقلیمی میزان بارش اردیبهشت‌ماه در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا داشته باشد (جدول ۵). زیرا این روش دارای کم‌ترین خطای برآورد (۹/۰۶) و انحراف استاندارد عمومی (۰/۲۵۰) در مقایسه با سایر روش‌ها بود. بنابراین از این روش برای ترسیم نقشه این متغیر استفاده شد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله با توان ۲ دارای بیش‌ترین خطای برآورد (۱۳/۴۲) در نتیجه به‌عنوان نامناسب‌ترین روش شناخته شد.

برای برآزش مدل نیم‌تغییرنما از بین چهار مدل مورد ارزیابی، مدل کروی به‌عنوان بهترین مدل شناخته شد (شکل ۷). نسبت اثر قطعه‌ای بالا به سقف، گویای وجود ساختار مکانی قوی برای بارش اردیبهشت در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۳). اصولاً نیم‌تغییرنما باید از نقطه صفر محور γ بگذرد. به‌دلیل این‌که نمونه‌های که در یک نقطه اندازه‌گیری شده‌اند، باید دارای ارزش یکسانی باشند. اما اغلب در

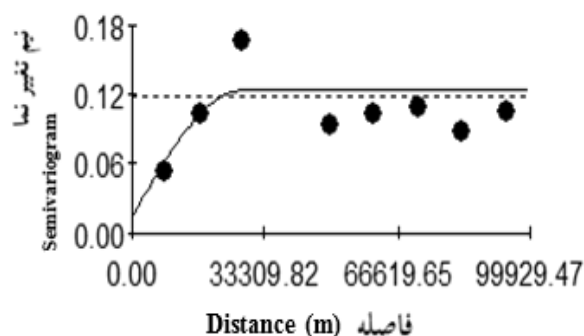
تحت تأثیر قرار می‌دهد که بارزترین آن کاهش جذب مواد غذایی است که در نهایت سبب کاهش وزن کل دانه‌ها خواهد شد (29).

محصول و رطوبت موجود در خاک (در مرحله دانه‌بندی) همبستگی معنی‌داری وجود دارد. به شکلی که کاهش آب تقریباً همه فرایندهای دانه‌بندی را

شکل ب
(b)



شکل الف
(a)



شکل ۵- نیم‌تغییرنمای تجربی براساس مدل کروی برای بارش اردیبهشت‌ماه (شکل الف) و نقشه تخمین بارش اردیبهشت‌ماه در اراضی کشاورزی آق‌قلا (شکل ب).

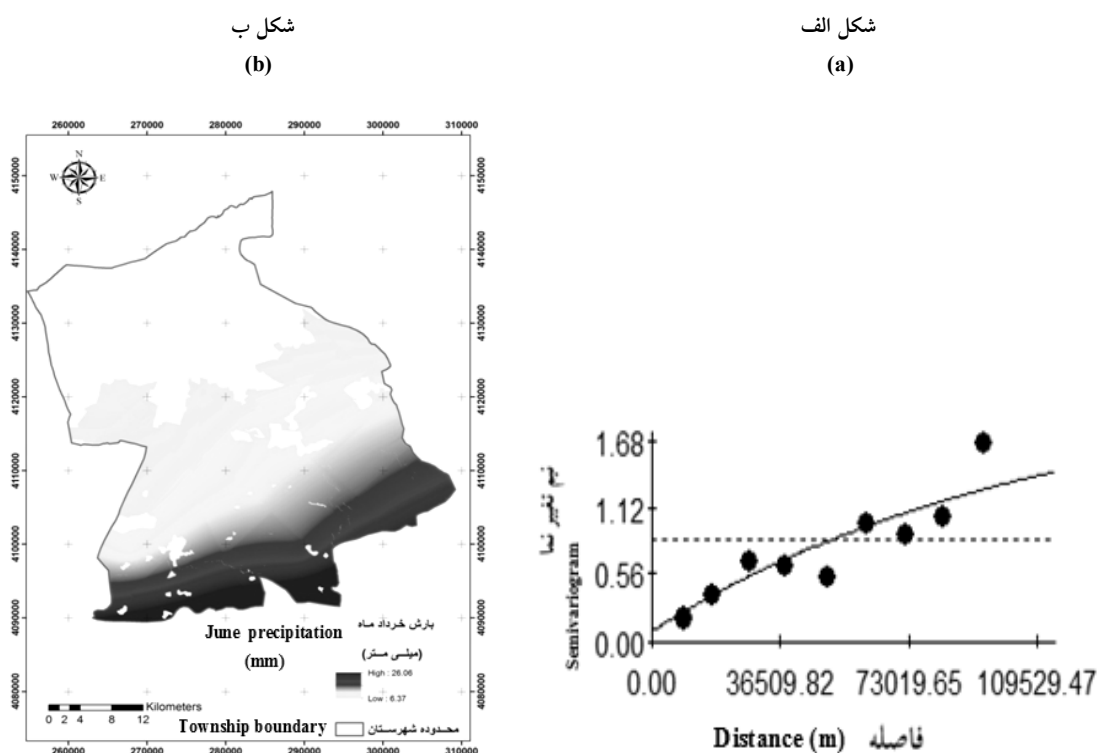
Figure 5. Experimental semivariogram based on spherical model for May precipitation (a) and estimation map of May precipitation in agricultural lands of Aq-Qalla (b).

خطا با اجرای مدل وزن‌دهی معکوس فاصله با توان یک مشاهده شد. از آن‌جایی‌که انتخاب روش زمین‌آماری مناسب در برآورد یک متغیر، بستگی به نوع متغیر و عوامل منطقه‌ای تأثیرگذار دارد، بنابراین نمی‌توان روش منتخب در یک منطقه را به سایر نقاط تعمیم داد. به‌عنوان مثال نقشه حاصل از وزن‌دهی معکوس فاصله نقاط نمونه‌گیری شده را مشخص‌تر از سایر روش‌ها نشان می‌دهد چرا که از ویژگی‌های این روش این است که در اطراف محل داده‌های واقعی برجستگی‌هایی را تولید کند (15). ذبیحی و همکاران

برآورد میزان بارش خردادماه: در جدول ۵ نتایج ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی جهت تخمین میزان بارش خردادماه آمده است. طبق این جدول روش کریجینگ معمولی - مدل گوسی دارای کم‌ترین میزان خطا بوده در نتیجه از این روش برای ترسیم نقشه این متغیر اقلیمی استفاده شد. همچنین نتایج نشان داد که روش وزن‌دهی معکوس فاصله با انواع توان‌ها نامناسب‌ترین روش برای تخمین بارش خردادماه می‌باشد. زیرا این مدل‌ها دارای بیش‌ترین خطا و انحراف استاندارد عمومی بودند. بیش‌ترین

طبق الگوی پیشنهادی براساس روش کریجینگ معمولی - مدل گوسی، میزان بارش خردادماه در اراضی کشاورزی آق‌قلا بین ۶/۳۷ تا ۲۶/۶۰ میلی‌متر متغیر است. بیش‌ترین میزان بارش خردادماه در اراضی جنوبی شهرستان مشاهده شد. نتایج نشان داد که پراکنش مکانی بارش خردادماه مطابق با الگوی بارش سالانه است به این صورت که از جنوب به شمال شهرستان میزان وقوع بارش خردادماه کاهش می‌یابد. نقشه خروجی نشان داد که سطح وسیعی از منطقه دارای بارش زیر ۱۰ میلی‌متر در خردادماه است (شکل ۶ ب).

(2011) گزارش کردند که تغییرات بارندگی سالانه در استان قم بیش‌تر از کریجینگ - مدل گوسی تبعیت می‌کند و روش‌های کریجینگ در مقایسه با روش وزن‌دهی معکوس فاصله در توان‌های مختلف، میانگین خطای مطلق کم‌تری داشتند (38). در این پژوهش، مدل برازش‌یافته برای رسم نیم‌تغییرنما بارش خردادماه، مدل نمایی انتخاب شد (شکل ۶ الف). نسبت اثر قطعه‌ای بالا به سقف، گویای وجود ساختار مکانی قوی برای این متغیر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (جدول ۳).



شکل ۶- نیم‌تغییرنمای تجربی براساس مدل نمایی برای بارش خردادماه (شکل الف) و نقشه تخمین بارش خردادماه در اراضی کشاورزی آق‌قلا (شکل ب).

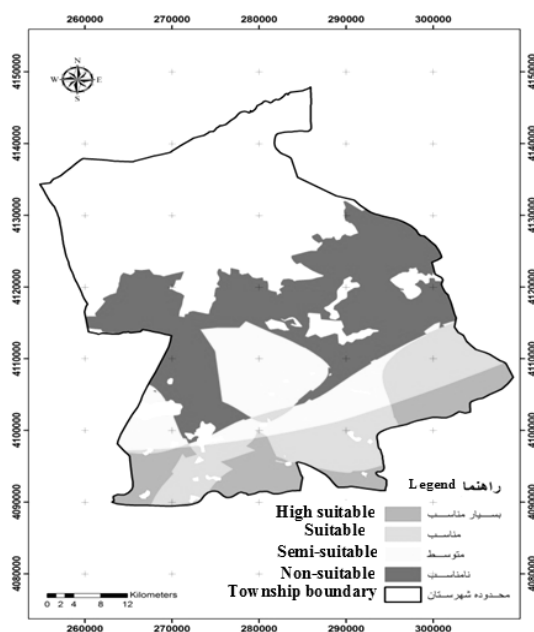
Figure 6. Experimental semivariogram based on exponential model for June precipitation (a) and estimation map of June precipitation in agricultural lands of Aq-Qalla (b).

نشان می‌دهد که بارش خردادماه عاملی است که باعث تعیین تعداد و وزن دانه‌ها می‌شود (6, 12, 29). اهمیت این متغیر در این مرحله از رشد گندم به حدی

بنابراین در دیم‌زارهای با تاریخ‌های کاشت دیر هنگام، این میزان بارش نمی‌تواند برای پرشدن دانه‌ها کافی باشد. در این زمینه گزارش‌های متعدد

تناسب اراضی جهت کشت غلات پاییزه: نتایج حاصل از روی هم گذاری انواع لایه های طبقه بندی شده بارش نشان داد اراضی کشاورزی آق قلا در چهار پهنه بسیار مناسب، مناسب، متوسط و نامناسب جهت کشت غلات پاییزه مانند گندم قرار می گیرند که مساحت این پهنه ها به ترتیب عبارتند از ۱۴۹۸۹/۲۰، ۲۱۳۹۵/۳۶، ۲۳۶۰۰/۹۰ و ۴۹۱۶۴/۷۵ هکتار. پهنه های بسیار مناسب و مناسب در قسمت های جنوبی شهرستان مشاهده شدند. طبقات متوسط و نامناسب جهت کشت دیم غلات پاییزه در اراضی مرکزی و شمالی، مساحت بیش تری از شهرستان را به خود اختصاص دادند (شکل ۷). همچنین مشخص شد که از شمال به سمت جنوب بر میزان انواع متغیرهای بارش افزوده شده، بنابراین شرایط برای کشت دیم محصولات پاییزه از شمال به جنوب شهرستان به همان نسبت هم فراهم می شود.

است که در بعضی از مطالعات با استناد به بارش خردادماه (ژوئن)، مناطق مستعد جهت کشت گندم دیم مشخص می شود (29). با آبیاری تکمیلی، تنظیم تاریخ کاشت و استفاده از ارقام زودرس تر می توان کاهش عملکرد ناشی از کمبود میزان بارش در خرداد ماه را به حداقل رساند. در مطالعه کمالی (2008) در استان زنجان مشخص شد که چنانچه در منطقه ای میزان بارش خردادماه کم تر از ۱۰ میلی متر باشد، ارزش کیفی آن منطقه نامناسب و اگر بین ۱۰ تا ۲۰ میلی متر باشد، متوسط و چنانچه بین ۲۰ تا ۳۰ میلی متر بارندگی در خردادماه به وقوع پیوندد، در طبقه مناسب و بیش تر از ۳۰ میلی متر، در پهنه بسیار مناسب جهت کشت گندم دیم قرار می گیرد (12). براساس نتایج گیوی (1997) بارش خیلی مناسب در مرحله رسیدن دانه، ۵۵ تا ۸۰ میلی متر پیشنهاد شده است به شرطی که حداکثر بارش در این مرحله به ۱۸۰ میلی متر نرسد (8).



شکل ۷- تناسب اراضی شهرستان آق قلا براساس انواع متغیرهای بارش جهت کشت دیم غلات پاییزه.

Figure 7. Lands suitability of Aq-Qalla township based on different rainfall variables for rainfed cropping of autumn cereals.

نتیجه‌گیری

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به‌منظور تخمین و پهنه‌بندی تغییرات مکانی متغیرهای بارش در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا جهت کشت دیم غلات پاییزه، با ارزیابی ۱۸ روش - مدل مختلف درون‌یابی قطعی و زمین‌آماری شامل وزن‌دهی معکوس فاصله، تابع پایه شعاعی، چندجمله‌ای موضعی، کریجینگ معمولی و کریجینگ عام، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش مشخص کرد که روش چندجمله‌ای موضعی در مقایسه با سایر روش‌ها، می‌تواند برآورد بهتری از متغیرهای اقلیمی بارش سالانه، پاییزه و ماهانه در اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا داشته باشد. ارزیابی حاصل از مدل‌های مختلف جهت رسم نیم‌تغییرنما نشان داد که بهترین مدل برازش‌یافته برای بارش سالانه و خردادماه، مدل نمایی و برای برازش نیم‌تغییرنمای بارش پاییزه، بهاره و اردیبهشت‌ماه، روش کروی می‌باشد. در این مطالعه مشخص شد که متغیرهای اقلیمی بارش سالانه، پاییزه، بهاره، اردیبهشت و خرداد دارای ساختار مکانی قوی می‌باشند.

از نظر بارش سالانه حدود ۶۵/۶۲ درصد از اراضی کشاورزی شهرستان دارای بارش بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشند. این پهنه‌ها در قسمت‌های میانی محدوده مورد مطالعه از شرق به غرب کشیده شده است و از نظر کیفی در پهنه مناسب جهت کشت دیم محصولاتی مانند گندم و جو دیم قرار می‌گیرد. همچنین دامنه تغییرات بارش پاییزه در این منطقه بین ۱۰۱/۱۱ تا ۱۶۶/۰۸ میلی‌متر مشاهده شد که از نظر برآورد نیاز رطوبتی گیاهان دیم رایج در منطقه مثل گندم، جو و کلزا این میزان بارش مناسب است و نیاز رطوبتی پاییزه این گیاهان را تأمین می‌کند. نتایج نشان داد که پراکنش مکانی بارش خردادماه مطابق با الگوی

بارش سالانه است به این صورت که از جنوب به شمال شهرستان میزان وقوع این متغیر کاهش می‌یابد. سطح وسیعی از منطقه دارای بارش زیر ۱۰ میلی‌متر در خردادماه است. بنابراین در دیم‌زارهای با تاریخ‌های کاشت دیرهنگام در منطقه، این میزان بارش نمی‌تواند برای پرشدن دانه‌ها کافی باشد. این مطلب در مورد بارش بهاره هم صدق می‌کند به طوری که قسمت‌های وسیعی از منطقه (۶۳/۹۹ درصد) دارای بارش بهاره زیر ۸۰ میلی‌متر بودند. به‌طورکلی اطلاع از وضعیت بارش‌های مؤثر و تهیه نقشه توزیع مکانی آن‌ها می‌تواند به انطباق بیشتر عملیات زراعی محصولات کشاورزی با وضعیت بارش در منطقه و در نتیجه تولید بیش‌تر در واحد سطح منجر شود. در این مطالعه از داده‌های ۳۵ ایستگاه هواشناسی استفاده شد. تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر با دوره آماری طولانی‌تر می‌تواند تخمین بهتر و دقیق‌تری از متغیر بارش را در منطقه ارائه دهد. با توجه به وضعیت متنوع اقلیمی و توپوگرافی استان گلستان، پیشنهاد می‌شود تعداد بیش‌تری ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌خصوص در مناطق شمالی و جنوبی استان ایجاد گردد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره ۳۷-۳۱۴-۹۲ است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. بدین ترتیب نویسندگان مراتب قدردانی خود را از آن معاونت اعلام می‌دارند. همچنین از آقای دکتر جاوید قرخلو به‌خاطر مساعدت در اجرای این طرح سپاسگزاری می‌نمائیم.

منابع

1. Aishah, A.W., Zauyah, S., Anuar, A.R., and Fauziah, C.I. 2010. Spatial variability of selected chemical characteristics of paddy soils in Sawash Sempadon, Selangor, Malaysia. *Malaysian J. Soil Sci.* 14: 27-39.
2. Apaydin, H., Sonmez, K., and Yildirim, E. 2004. Spatial interpolation techniques for climate data in the GAP region in Turkey. *J. Climate Res.* 28: 31-40.
3. Behnia, M. 1998. *Winter Cereal*. (Second Edition). Uni. Tehran Press. 610p. (In Persian)
4. Coulibaly, M., and Becker, S. 2007. Spatial interpolation of annual precipitation in south Africa-comparison and evaluation of methods. *Inter. Water Resour. Assoc.* 32: 3. 494-502.
5. Delbari, M., Afrasiab, P., and Jahani, S. 2012. Assessing the effect of incorporating a digital elevation model (DEM) into the estimation of annual and monthly rainfall in Golestan province. *Iran. J. Irrig. Drain.* 6: 118-132. (In Persian)
6. Eivazi, M., and Mosaedi, A. 2012. An investigation on spatial pattern of annual precipitation in Golestan province by using deterministic and geostatistics models. *J. Water Soil.* 26: 53-64. (In Persian)
7. Feyzizadeh, B., Abdali, H., Rezaei Banfshe, M., and Mohammadi, G.H. 2012. Zoning of susceptible area to rainfed wheat in the Eastern Azarbaijan province by geospatial analysis of GIS. *Agron. J. (Pajouhesh and Sazandagi)*. 96: 75-91. (In Persian)
8. Givi, J. 1989. Quality evaluation of land suitability for crops. Water and Soil Research Institute. (In Persian)
9. Hasani Pak, A.A. 2007. *Geostatistic*. Tehran Uni. Press, 314p. (In Persian)
10. Jihad-e-Agricultural Organization of Golestan Province. 2012. Statistics Report of 2011-2012 Years. Statistics and Information Office of Jihad-Agriculture Organization of Golestan Province. (In Persian)
11. Johnston, K., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., and Lucas, N. 2001. Using ArcGIS geostatistical analyst. ESRI. Bedlands CA.
12. Kamali, M.A. 2008. Irrigation planning using geostatistic and GIS (Case study: Abhar-Khoramdareh Distric). M.Sc. Thesis, Irrigation and Driange. Tarbiat Modares University. (In Persian)
13. Kazemi, H. 2012. Agroecological capability zoning of Golestan province for determination of suitable cropping pattern. Ph.D. Thesis, Agronomy, Tarbiat Modares University. 277p. (In Persian)
14. Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and Sadeghi, S. 2012. Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands on Golestan province. *J. Soil Water Sci.* 22: 201-218. (In Persian)
15. Liloyd, C.D. 2005. Assessing the effect of integrating elevation data into the estimation of monthly precipitation in Great Britain. *J. Hydrol.* 308: 128-150.
16. Mahdian, M.H. 2002. Determination of suitable interpolation method for estimating of spatial variability of precipitation and temperature in three climate: arid, semi-arid and humid. Final Research Report, Education and Research Vice Presidency. Res. Center. Soil Conser. Watershed. 196p. (In Persian)
17. Marofi, S., Toranjeyan, A., and Zare Abyaneh, H. 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain. *J. Water Soil Cons.* 16: 2. 169-187. (In Persian)
18. Mirmosavai, S.H., Mazidi, A., and Khosaravi, Y. 2010. Determination of best method of geostatistic for estimating rain distribution by GIS (Case study: Esfahan Province). *J. Geo. Environ.* 10: 30. 105-120. (In Persian)
19. Moges, S.A., Alemaw, B.F., Chaoka, T.R., and Kachroo, R.K. 2007. Rainfall interpolation using a remote sensing CCD data in a tropical basin- AGIS geostatistical application. *Physic Chem. Earth.* 32: 976-983.

20. Mosaedi, A., and Kahe, M. 2008. The assessing precipitation effects on yield productions of wheat and barley in Golestan province. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 4. 1-14. (In Persian)
21. Mozafari, G., Mirmosavi, S.H., and Khosravi, U. 2011. Investigation of geostatistic and linear regression methods for determination of spatial distribution rainfall (Case study: Booshehr province). *Geo. Dev. J.* 27: 63-76. (In Persian)
22. Naoum, S., and Tsanis, I.K. 2004. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-Based DSS. *Global Nest.* 6: 1-20.
23. Nohi, K. 1993. Investigation of some effective climatic parameters on yield crop in Karaj region. Meteorology Organization of Iran. (In Persian)
24. Omidvar, K., and Khosravi, Y. 2009. Evaluation of Kriging method for determination of suitable model in standard rain index monitoring in GIS media (Case study: Yazd province). The 2th National Conf. Drought Effects and Management. Esfahan Agric. Natur. Resour. Res. Center, Esfahan. (In Persian)
25. Ruppert, D. 1996. Local polynomial regression and its application in environmental statistics. School of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University. New York.
26. Sadeghi, S. 2012. Point interpolation in GIS to emphasis on Kriging technique. Loza Press, 152p. (In Persian)
27. Safarrad, T., Faraji Sabokbar, H., Aziz, Gh., and Abbaspoor, R. 2013. Spatial analysis of precipitation variability in median Zagros by geostatistic method (1995-2004). *Geo. Dev. J.* 31: 149-164. (In Persian)
28. Saghafiyani, B., Ramzjoo, H., and Ghermez Cheshmeh, B. 2011. Investigation of annual rain regional variability by geostatistic methods application. (Case study: Fars Province). *J. Water Resour. Eng.* 4: 118-132. (In Persian)
29. Sari Saraf, B., Bazgir, S., and Mohammadi, G. 2009. Zoning of climatic potential for raifed wheat cropping in West Azarbaijan province. *Geo. Dev.* 13: 5-26. (In Persian)
30. Shamsnia, A., and Pirmoradian, N. 2008. Investigation of interpolation model of GIS Media in zoning of rainfall data in Fars province. *Water Eng. J.* 3: 35-45. (In Persian)
31. Shi, J., Wang, H., Xu, J., Wu, J., Liu, X., Zhu, H., and Yu, Ch. 2007. Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environ. Geol.* 52: 1-10.
32. Skirvin, S., Stuart, M., Marsh, E., Mcclaran, M.P., and Meko, D.M. 2003. Climate spatial variability and data resolution in a semi-arid watershed, south-eastern Arizona. *J. Arid Environ.* 54: 667-686.
33. Soua, V., and Pereira, L.S. 1999. Regional analysis of irrigation water requirements using kriging application to potato crop (*Solanum tuberosum* L.) at Tras-os-Montes. *Agric. Water Manag.* 40: 221-233.
34. Sun, X., Mein, R.G., Keenan, T.D., and Elliott, J.F. 2000. Flood estimation using radar and rain gauge data. *J. Hydrol.* 239: 4-18.
35. Taghizadeh Mehrjoei, R.A., Zareiyan Jahromi, M., Mahmoodi, Sh., Heydari, A., and Sarmadian, F. 2008. Investigation of spatial interpolation methods for determination of spatial variability of groundwater quality in Rafsanjan plain. *J. Iran Water. Manage. Sci. Eng.* 2: 15. 63-70. (In Persian)
36. Vicente-Serrano, S.M., Saz-Sanchez, M.A., and Cuadrat, J.M. 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Res.* 24: 2. 161-180.
37. Webster, R., and Oliver, M.A. 2000. *Geostatistics for Environmental Scientists*. Wiley Press, 271p.
38. Zabihi, A., Solimani, K., Shabani M., and Abravsh, S. 2011. An investigation of annual rainfall spatial distribution using geostatistical methods (A case study: Qom province). *Natur. Geo. Res.* 87: 101-112. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of precipitation variables in agricultural lands of Aq-Qalla township for rainfed cropping of autumn cereals

***H. Kazemi¹ and Kh. Ghorbani²**

¹Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,
²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 11/15/2014; Accepted: 05/26/2015

Abstract

Background and Objectives: Climate condition is one of the most important factors which affect agricultural production. Amongst climate parameters, rainfall variability is one of the most crucial factors which has important role on agricultural productions because of its effect on available water for plants. The amount of water available to plants strongly depends on the rainy seasons onset, length and rainfall temporal distribution, hence can determine a success or failure of a growth season. One of the most important areas for crops production in Golestan province is the Aq-Qalla township. Most of the areas are used for rainfed farming, such as wheat and barely. In general, agriculture in Aq-Qalla township is dependent on rainfall. Determination of the precipitation spatial variability in these agricultural lands is particularly very importance. Therefore, the objectives of this research were the investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of precipitation variables in agricultural lands of Aq-Qalla township for rainfed cropping of autumn cereals. Also, this research provides information at local level that could be used by farmers to increase of yield in rainfed condition.

Materials and Methods: In this research, the spatial distribution of precipitation on agricultural lands of Aq-Qalla township evaluated using 18 method-models from deterministic and geostatistic interpolation such as, Inverse Distance Weighted (IDW), Universal Kriging (UK), Ordinary Kriging (OK), Radial Basis Function (RBF) and Local Polynomial Interpolation (LPI). The performance criteria for evaluation were Root Mean Square Error (RMSE) and General Standard Deviation (GSD) with the Cross Validation methods.

Results: The results showed that Local Polynomial Interpolation (1 and 2 degree) was the best method to estimate precipitation parameters except spring and June precipitation. Because, it had the highest accuracy and the lowest error for estimating of these parameters. Semivariograms analysis indicated that annual and June precipitation were best fitted to Exponential model, also, autumn, spring and May precipitation by Spherical model. Results of final maps showed that amount of annual, autumn and June rainfall were lower in north than south regions. Moreover, the results of this research showed that about 65.62 percentage of agricultural lands of Aq-Qalla had suitable level of annual rainfall (300-400 mm). Also, in this area amount autumn rainfall was 101.11 to 166.08 mm.

Conclusion: The results indicated that same as temperature requirements, the annual and autumn rainfall requirements of current crops such as wheat and barley are provided in this township. But, amount of spring and June rainfall are non-suitable in this area. Wide area in Aq-Qalla township were under 10 mm rainfall in June. This amount is not enough for grain filling.

Keywords: Geostatistic, Golestan province, Rainfed farming, Simivirogram

* Corresponding Author; Email: hossein_k_p@yahoo.com

