نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۸
۱-۱۶
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2019.12388.1961

برآورد احتمال وقوع عوامل اقلیمی موثر در زراعت دیم گندم و جو پاییزه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS

شیوا فرهادیان عزیزی[۱]، حسین کاظمی[۲]*، افشین سلطانی[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲]دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳]استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۶/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: پتانسیل اقلیمی سرزمین برای تولیدات زراعی عمدتاً تحت تاثیر مقدار و توزیع بارش قرار می‌گیرد. ارزیابی متغیرهای محیطی و هم‌چنین پیش‌بینی پدیده‌های اقلیمی می‌تواند به تعیین مناطق مستعد کشاورزی دیم کمک کند. در دیم‌زارها بین عملکرد دانه و رطوبت موجود در خاک همبستگی معنی‌داری وجود دارد، به‌طوری که کاهش رطوبت تقریباً کلیه‌ی فرآیندهای رشد و نمو از جمله مرحله دانه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نهایت سبب کاهش عملکرد اقتصادی خواهد شد. در این پژوهش به منظور برآورد احتمال وقوع عوامل اقلیمی در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله در استان گلستان، از برنامه تجزیه و تحلیل توزیع‌های آماری در نرم‌افزار Smada و تحلیل‌های مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاوس با مساحتی معادل ۳۹۱۵۳۳ هکتار در استان گلستان در سال ۱۳۹۴ اجرا شد. متغیرهای محیطی مورد بررسی، شامل بارش‌های سالانه، پاییزه، بهاره و اردیبهشت ماه و دماهای مطلوب جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه برای گندم و جو بودند. در این تحقیق با استفاده از برنامه Distrib 2.0 از نرم‌افزار Smada بهترین تابع برازش یافته برای آمار موجود تعیین و در نهایت احتمال وقوع ۹۵ درصد هر یک از متغیرهای اقلیمی طی دوره برگشت ۲۵ سال پیش‌بینی و محاسبه گردید. سپس نقشه احتمال توزیع مکانی هر یک از متغیرهای اقلیمی، با استفاده از روش‌های متعدد زمین‌آماری و درون‌یابی در محیط GIS تهیه و طبقه‌بندی گردید. معیارهای ارزیابی در این پژوهش، میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای برآورد (RMSE)، با استفاده از روش ارزیابی متقابل بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در بیشتر مناطق مورد مطالعه هیچ محدودیتی از نظر بارش و توزیع مناسب آن به‌خصوص بارش‌های بهاره و اردیبهشت ماه و هم‌چنین دماها در طی مراحل حساس دوره رشد گندم و جو (مراحل جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه) وجود نخواهد داشت، اما از نظر بارش پاییزه، بخش‌هایی از مناطق مورد مطالعه در یک دوره بازگشت ۲۵ ساله در سطح اطمینان ۹۵ درصد، با محدودیت روبه‌رو خواهند شد.

نتیجه‌گیری: علی‌رغم تأمین شدن نیاز رطوبتی گندم و جو دیم در فصل پاییز در بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه، محدودیت‌هایی در اراضی شمالی و شمال‌شرقی شهرستان گنبدکاوس وجود دارد. این پهنه که ۷/۴۰ درصد از مساحت کل منطقه

نویسنده مسئول: hkazemi@gau.ac.ir

را به خود اختصاص می‌دهد (۲۸۹۷۴ هکتار از اراضی کشاورزی)، با بارش حدود ۸۰-۶۸/۷۶ میلی‌متر از نظر توصیف قابلیت در طبقه نیمه‌مستعد (S3) قرار می‌گیرد. نتایج این تحقیق می‌تواند جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت آینده اراضی دیم استان گلستان مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: روش‌های زمین‌آماری، گندم و جو دیم و Smada.

مقدمه

گندم یک محصول راهبردی و اساسی در دنیا و هم‌چنین تامین کننده اصلی رژیم غذایی مردم ایران و قسمت اعظم تامین پروتئین و کالری مورد نیاز افراد جامعه به حساب می‌آید (۱۴). این گیاه در مساحت وسیعی از زمین‌های کشاورزی دنیا و ایران به‌خصوص بین ۳۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی و ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض جنوبی کشت می‌شود. حدود ۶۶ درصد از سطح زیر کشت گندم در ایران به‌صورت دیم می‌باشد (۲۰). همچنین جو یکی از مهم‌ترین و قدیمی‌ترین غلات می‌باشد که سابقه کشت و زرع آن به ۵ تا ۷ هزار سال قبل از میلاد بر می‌گردد و هم اکنون در شرایط متنوع آب و هوایی در سطح وسیعی از جهان کشت می‌گردد (۱۷). این گیاه نیز یکی از محصولات مهم و اصلی ایران می‌باشد و در سطحی معادل ۱/۶۷۵ میلیون هکتار در شرایط آبی و دیم کشت می‌شود و از نظر سطح زیر کشت پس از گندم در رتبه دوم قرار دارد. در دیم‌زارهای ایران بین عملکرد محصول غلات و رطوبت موجود در خاک همبستگی معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری که کاهش رطوبت تقریباً کلیه فرآیندهای رشد و نمو از جمله مرحله دانه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در نهایت سبب کاهش عملکرد اقتصادی خواهد شد (۲۴). بنابراین ارزیابی متغیرهای محیطی و هم‌چنین پیش‌بینی پدیده‌های اقلیمی می‌تواند به تعیین مناطق مستعد زراعت دیم کمک نماید.

آرخی و همکاران (۲۰۰۹) طی مطالعه‌ای با هدف تحلیل مکانی دما، بارش و تبخیر و تعرق بالقوه و هم‌چنین تاثیر عوامل زمینی مانند شیب و ارتفاع، پهنه‌بندی کشت گندم دیم را در استان تهران انجام دادند. در این تحقیق، احتمال وقوع ۹۰ درصدی هر یک از متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Smada[1] تعیین شد (۲). در مطالعه دیگری پهنه‌بندی اقلیمی- کشاورزی استان خراسان شمالی برای کشت گندم دیم با تحلیل عناصر اقلیمی و تحلیل‌های آماری در محیط GIS صورت گرفت. در این تحقیق از نرم‌افزار Smada برای برآورد احتمال وقوع ۷۵ درصد هر یک از متغیرهای اقلیمی استفاده گردید (۹). تعیین مناطق مستعد کشت گندم دیم در سطح استان آذربایجان غربی توسط ساری صراف و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از قابلیت‌های GIS صورت گرفت. براساس این مطالعه مقادیر مناسب بارش پاییزه، بهاره و خردادماه با احتمال وقوع (۷۵ درصد) به‌ترتیب ۱۵۵-۱۲۰، ۱۹۰-۱۵۰ و ۵۰-۳۵ میلی‌متر تعیین گردید (۲۱). همچنین در مطالعه مشابه‌ای در استان آذربایجان شرقی احتمال وقوع سه مرحله حساس رشد گندم دیم (جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه) در محیط نرم‌افزار Smada توسط فیضی‌زاده و همکاران، (۲۰۱۲) بررسی شد (۱۱).

در ارزیابی تناسب اراضی جهت کشت باقلا در شهرستان گنبدکاووس با استفاده از GIS و تحلیل

۱- این نرم‌افزار دارای بخش‌های مختلفی است که از آن‌ها می‌توان در تحلیل‌های اقلیمی و هیدرولوژی بهره گرفت. یکی از آن‌ها برنامه آماری Distrib 2.0 است که با آن می‌توان سری‌های زمانی و دوره بازگشت سری‌ها را بدست آورد.

چندمعیاره متغیرهای اقلیم، توپوگرافی و خاک مورد بررسی قرار گرفت (۱۶). نتایج نشان داد براساس طبقه‌بندی فائو ۲۳/۴۸ درصد از منطقه بسیار مناسب ۲۵/۳۸ درصد مناسب، ۲۵/۰۳ درصد در طبقه متوسط و در مجموع ۲۶/۱۱ درصد (موقتاً نامناسب و نامناسب دائمی) از زمین‌های کشاورزی غیرمناسب برای تولید محصول باقلا می‌باشند. عوامل محدودکننده مهم در این نواحی شوری خاک، مواد آلی کم، بارش اندک، محتوای کلسیم بالا و کمبود فسفر و آهن گزارش شد (۱۶). در پژوهشی که توسط سامانتا و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور پهنه‌بندی استان مورویه در گینه نو جهت کشت برنج با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام شد با توجه به مطالعه داده‌های خاک‌شناسی، توپوگرافی و اقلیم و منابع آب، مشخص گردید که حدود ۱۴ درصد اراضی بسیار مناسب و ۲۱ درصد دارای تناسب متوسط برای کشت برنج هستند (۲۳). وانگ و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه خود به ارزیابی پتانسیل تناسب اراضی برای انتخاب منطقه مناسب کشت گندم زمستانه در پکن (چین) با استفاده از سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداختند. بر اساس حاصلخیزی خاک و عوامل آب و هوایی این منطقه به ۵ طبقه تناسب بسیار مناسب، مناسب، نیمه مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب جهت کشت گندم طبقه‌بندی شد (۲۶).

امروزه روش‌های مختلف زمین‌آماری برای تخمین متغیرهای مکانی منطقه‌ای، به‌دلیل در نظر گرفتن همبستگی، موقعیت و آرایش داده‌ها، از اهمیت زیادی برخوردار هستند. با توجه به امکان استفاده از این روش‌ها در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و استفاده روزافزون از این سامانه، اهمیت انتخاب روش مناسب توسط استفاده کننده دو چندان می‌گردد (۱۸). چنگ و همکاران (۲۰۰۸) برای تخمین میانگین منطقه‌ای بارش و تخمین نقطه‌ای در مناطق بدون ایستگاه، به ارزیابی شبکه باران‌سنجی با کاربرد روش‌های زمین‌آماری پرداختند(۲۸).

در مطالعه دیگری بویتریت و همکاران (۲۰۰۶) مقدار بارندگی را در ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی در رشته کوه غربی کوه‌های آند اکوادور برآورد کردند. در این مطالعه، کریجینگ نتایجی بهتر را نسبت به روش تیسن ارایه کرد (۳). همچنین دیاداتو و سسرالی (۲۰۰۵) با استفاده از روش‌های زمین‌آماری چند متغیره به تهیه نقشه‌های مکانی بارش در کوه‌های سانیو واقع در ایتالیا پرداختند (۷). مقایسه روش‌های مختلف میان‌یابی بارندگی در منطقه شمال غرب مکزیکو توسط دیسکرویکس و همکاران (۲۰۰۱) انجام شد. آن‌ها روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را به عنوان روش‌های بهتر و معمول‌تر برای میان‌یابی و بازسازی داده‌ها معرفی کردند(۸).

در استان گلستان با توجه به وجود اقلیم‌های متفاوت و دیم‌زارهای گسترده، مقدار و توزیع انواع بارش و دما از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سطح زیر کشت محصولات کشاورزی پاییزه دیم بخصوص گندم و جو در این استان ۲۷۸۹۸۵ هکتار می‌باشد که شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله با ۱۷۶۷۲۵ هکتار از قطب‌های مهم تولید کننده غلات دیم در استان گلستان به شمار می‌روند (۱). از آن‌جایی که متغیرهای آب و هوایی به‌خصوص بارش، نقش به‌سزایی در تولید محصولات دیم دارند و بیشترین خسارات وارده به اراضی گندم و جو استان ناشی از عوامل اقلیمی، در مناطق شمالی و شرقی از جمله آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله مشاهده می‌شود، از این رو هدف از انجام این تحقیق، پیش‌بینی و برآورد احتمال وقوع متغیرهای اقلیمی بارش و دما در طی مراحل حساس دوره رشد گندم و جو در یک دوره بازگشت ۲۵ ساله در سطح اطمینان ۹۵ درصد در اراضی شهرستان‌های

آق‌قلا، کلاله و گنبد کاوس به‌عنوان مراکز تولید غلات دیم پاییزه در استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این پژوهش به منظور پیش‌بینی و برآورد احتمال وقوع متغیرهای اقلیمی در طی مراحل حساس دوره رشد گیاهان زراعی گندم و جو در محدوده اراضی شهرستان‌های مهم تولید کننده غلات دیم استان گلستان، در سال ۱۳۹۴ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش شامل اراضی کشاورزی (۳۹۱۵۳۳ هکتار) شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاوس می‌باشد (شکل ۱). شهرستان کلاله با وسعت ۴۹۶۲ کیلومترمربع در گستره شمال شرقی استان گلستان واقع شده است. شهرستان گنبدکاوس با مساحتی معادل ۵۰۷۱ کیلومترمربع، در قسمت شمالی و مرکزی استان واقع شده است. شهرستان آق‌قلا هم مرز با کشور ترکمنستان، در شمال استان گلستان واقع شده است (۱). مشخصات جغرافیایی شهرستان‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی شهرستان‌های مورد مطالعه

Table 1. Geographical coordinates of studied townships

شهرستان Township	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude
آق قلا Aq-Qala	54 14.2 - 54 51	36 55.3 - 37 29.6
کلاله Kalale	54 18.8 - 56 21.4	37 19.6 - 38 7.6
گنبدکاوس Gonbad Kavous	54 31.7 – 55 39.1	37 3.6 - 38 6.3

داده‌های اقلیمی: در این تحقیق از آمار و اطلاعات مربوط به ۱۰ ایستگاه هم‌دیدی و ۸۰ ایستگاه باران سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی استان گلستان که دارای دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۴۲-۱۳۹۲) بودند، استفاده گردید. در شکل ۱ موقعیت و پراکنش مکانی ایستگاه‌های مذکور نشان داده شده است. در این پژوهش از اطلاعات بارش (بارش سالانه، پاییزه، بهاره و اردیبهشت‌ماه) و دمای متوسط (دمای مطلوب جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه گندم و جو پاییزه) مسخرج از این ایستگاه‌ها استفاده شد.

روش‌های درون‌یابی

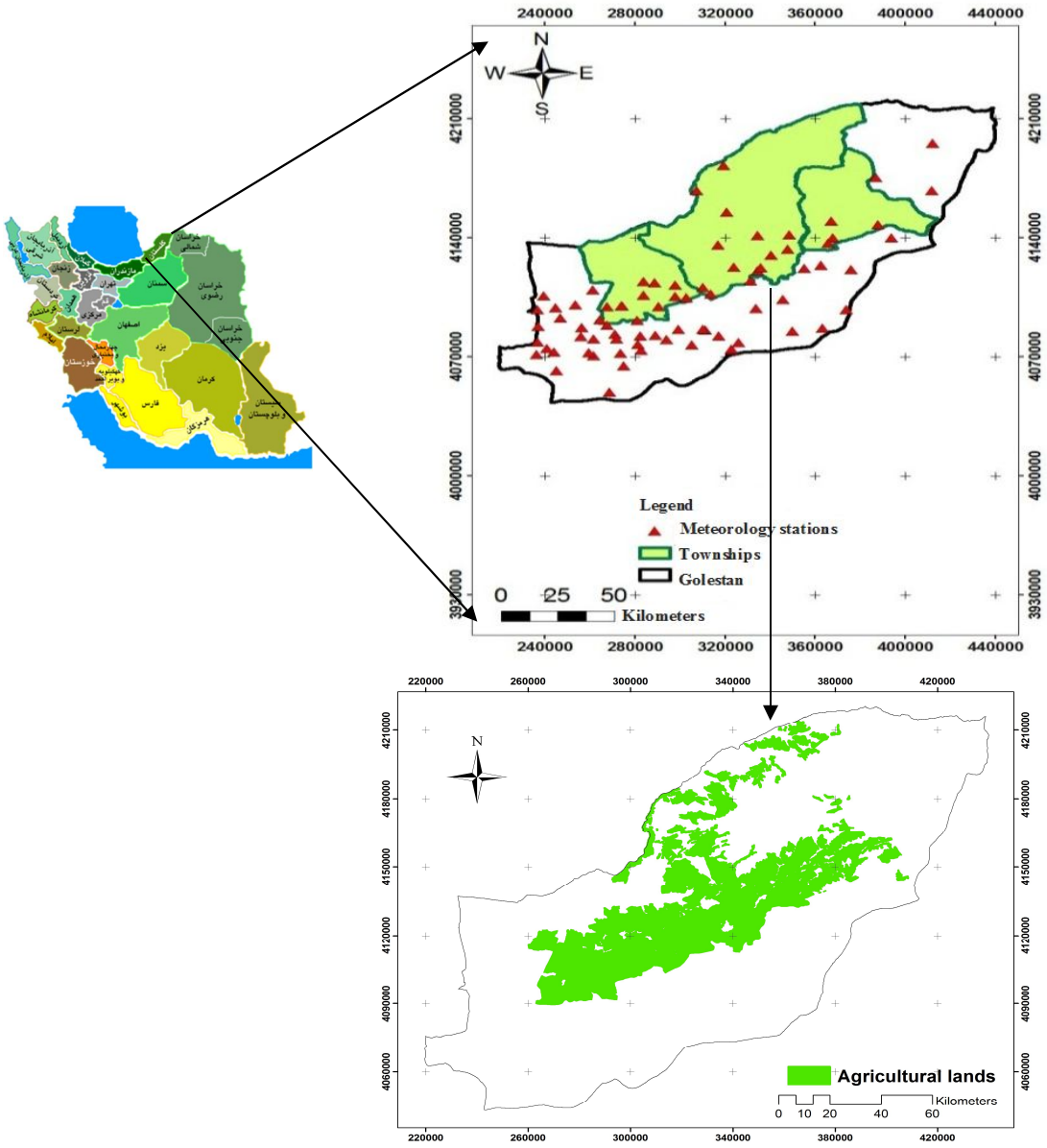
کریجینگ: کریجینگ یک روش برآورد زمین‌آماری است که بر پایه میانگین متحرک وزن‌دار استوار است. این روش بهترین برآورد کننده خطی ناریب می‌باشد. شرط ناریب بودن در سایر روش‌های تخمین، نظیر روش چند جمله‌ای و وزن‌دهی فاصله معکوس نیز اعمال می‌شود، ولی ویژگی کریجینگ آن است که در عین نا ریب بودن، واریانس تخمین نیز در کم‌ترین مقدار می‌باشد (۱۲). این برآورد کننده به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z^*(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i)$$ رابطه [۱]

در این رابطه $Z^*(xi)$ تخمین مقدار متغیر Z در نقطه λi و x وزن آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقطه xi است (۱۲). در مورد روش کریجینگ معمولی از مدل‌های کروی، نمایی و گوسی استفاده گردید.

توابع پایه شعاعی: از جمله روش‌های درون‌یابی است که در آن سطح تخمین از مقادیر مشاهده‌ای عبور می‌کند. از خصوصیات این روش که حالتی از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد، این است که مقادیر بیش‌تر از حداکثر مشاهده‌ای و یا کمتر از حداقل مشاهده‌ای

در سطح تخمین وجود دارد. روش توابع پایه شعاعی براساس پنج تابع مختلف درون‌یابی داده‌ها را انجام می‌دهد (۶). برای روش توابع پایه شعاعی، مدل‌های چندربعی، چندربعی معکوس و نواری کم ضخامت بکار برده شد.



شکل ۱- محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبدکاوس و موقعیت آن‌ها در استان گلستان و کشور همراه با پراکنش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی

Figure 1. Boundary of agricultural lands in Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships and their position in the Golestan province and country and spatial distribution of meteorology stations

وزن‌دهی فاصله معکوس: در این روش برای هر کدام از نقاط اندازگیری‌شده، براساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول وزن مشخصی در نظر گرفته می‌شود. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل

می‌شود، به‌طوری 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 (۱۹). برای روش وزن‌دهی فاصله معکوس توان‌های ۱، ۲ و ۳ بکار برده شد.

معیار اعتبار سنجی: در این تحقیق از روش اعتبارسنجی ارزیابی متقابل[1] برای برازش صحت تخمین روش‌های میان‌یابی استفاده شد. در نهایت با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده، دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری میانگین مطلق خطا (MAE)، میانگین انحراف خطا (MBE) و خطای برآورد ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. مقدار این معیارها با استفاده از روابط زیر بدست می‌آید (۲۷):

رابطه [۲] میانگین مطلق خطا (MAE):

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left|Z^{*}(x_i)-Z(x_i)\right|}{n}$$

رابطه [۳] میانگین انحراف خطا (MBE):

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Z^{*}(x_i)-Z(x_i)\right)}{n}$$

رابطه [۴] ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N}\left(Z(x_i)-Z^{*}(x_i)\right)^{2}}$$

در این معادلات (Z*) Xi مقدار برآورد شده در نقطه Xi، Z (Xi) مقدار اندازگیری شده در نقطه Xi و N تعداد نقاط می‌باشد (۱۹).

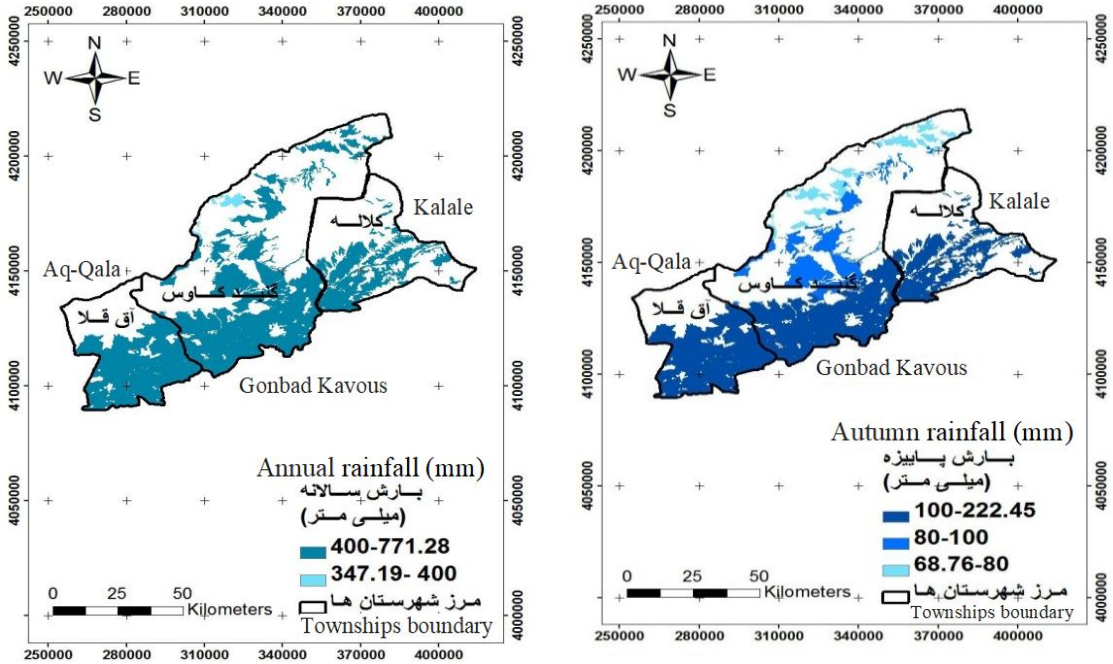
تهیه نقشه‌های احتمال وقوع پدیده‌های اقلیمی: برای تهیه نقشه‌های احتمال وقوع متغیرهای اقلیمی ابتدا از نرم‌افزار Smada استفاده شد. در این پژوهش با استفاده از برنامه Distrib 2.0 نرم‌افزار Smada بهترین تابع برازش یافته بر آمار موجود تعیین شد و در نهایت احتمال وقوع ۹۵ درصد هر یک از متغیرهای اقلیمی طی دوره برگشت ۲۵ سال پیش‌بینی و محاسبه گردید. بدین‌صورت که ابتدا میانگین متغیرهای اقلیمی بارش (بارش سالانه، پاییزه، بهاره و اردیبهشت‌ماه) و دما (دمای مطلوب جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه) هر ایستگاه به‌طور مجزا، وارد نرم‌افزار شده و سپس با استفاده از روش پیش‌بینی ویبول و توزیع نرمال، دوره برگشت ۲۵ ساله هر یک از متغیرهای بارش و دما با احتمال وقوع ۹۵ درصد برآورد گردید. سپس نقشه توزیع مکانی هر یک از متغیرهای اقلیمی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با احتمال وقوع ۹۵ درصد، با استفاده از روش‌های درون‌یابی به کمک نرم‌افزار GIS رسم گردید.

نتایج و بحث

برآورد بارش سالانه: نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین بارش سالانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش کریجینگ، مدل نمایی کمترین خطا و بالاترین صحت را داشت (RMSE= ۳۸/۲۶). بعد از روش کریجینگ، توان ۳ در روش وزن‌دهی فاصله معکوس در مکان بعدی قرار گرفت (جدول۲). معروفی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که روش کریجینگ با مدل نمایی مناسب‌ترین روش برای درونیابی بارندگی سالانه در استان همدان است (۱۸). میزان بارش سالانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد طی دوره برگشت ۲۵ سال در دامنه بین ۳۴۷/۱۹ میلی‌متر در کمترین مقدار تا ۷۷۱/۲۸ میلی‌متر در بیش‌ترین مقدار در منطقه مورد مطالعه برآورد شد (شکل ۲). نقشه توزیع مکانی احتمال وقوع بارش سالانه نشان می‌دهد که اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا،

1- Cross Validation

کلاله و بخش وسیعی از اراضی جنوبی، شمال شرقی و مرکز شهرستان گنبدکاوس دارای بیش‌ترین میزان بارش سالیانه بوده و احتمال برآورده شدن نیاز رطوبتی گندم و جو دیم در این مناطق به صددرصد می‌رسد که از نظر توصیف قابلیت، در طبقه بسیار مستعد (S1)(۳۷۹۷۸۷ هکتار) قرار می‌گیرد. در این مناطق هم اکنون میزان متوسط عملکرد گندم دیم بیشتر از مناطق دیگر است به عنوان مثال متوسط عملکرد گندم دیم در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در شهرستان کلاله ۳۱۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. در مقابل بخش کوچکی از شمال شهرستان گنبدکاوس از بارش سالانه کم‌تری برخوردار بوده و از نظر کشت گندم دیم در طبقه پایین‌تر یعنی طبقه مستعد (S2)(۱۱۷۴۶هکتار) قرار می‌گیرد. نیازهای اقلیمی گندم و جو دیم در جدول ۲ آمده است. یکی از متغیرهای مشخص کننده پتانسیل دیم‌کاری مجموع بارندگی سالانه است. به‌طور کلی از نظر رطوبت، گندم در زراعت دیم حداقل به ۳۰۰ میلی‌متر بارش در طول دوره رشد احتیاج دارد. آرخی و همکاران (۲۰۰۹) میانگین بارش سالانه با احتمال وقوع ۹۰ درصد را در استان تهران برای کشت گندم دیم، ۳۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر برآورد کردند و اظهار داشتند که نواحی جنوبی استان از نظر بارش سالانه دارای محدودیت بوده و کم‌ترین میزان بارش سالانه (کمتر از ۳۵۰ میلی‌متر) در این مناطق مشاهده می‌شود (۲). نتایج مطالعه فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) در استان آذربایجان شرقی نشان داد احتمال برآورده شدن نیاز رطوبتی گندم دیم نزدیک به صد درصد است (۱۱).



شکل ۲- نقشه توزیع مکانی بارش سالانه و پاییزه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله

Figure 2. Spatial distributions map of annual and autumn rainfalls with occurrence probability in 95% level in the agricultural lands in Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

جدول ۲- نتایج ارزیابی روش‌های میان‌یابی برای تهیه نقشه احتمال وقوع متغیرهای بارش و دما در منطقه مورد مطالعه.

Table 1. The results of interpolation methods for production of occurrence probability maps of annual rainfall and temperature in studied region.

روش	Method	کریجینگ Kriging			توابع پایه شعاعی Radial basis functions			وزن دهی فاصله معکوس Inverse distance weighting		
متغیر Variable	مدل توان آماره Model Power Statistics	کروی Spherical	نمایی Exponential	گوسی Gaussian	چندربعی Mutiquadric	چندربعی معکوس Inverse mutiquadric	نواری کم ضخامت Thin plate spline	توان ۱ Power1	توان ۲ Power2	توان ۳ Power3
بارش سالانه Annual precipitation	MAE	16.54	14.88	18.07	20.16	20.61	23.17	21.25	22.31	24.57
	MBE	5.42	3.95	3.71	5.44	5.91	8.62	6.58	7.66	8.49
	RMSE	43.71	38.26	46.33	52.83	54.63	61.44	41.17	39.12	38.64
	اولویت rank	5	1	6	7	8	9	4	3	2
بارش پاییزه Autumn precipitatio	MAE	18.92	20.21	19.11	18.04	23.54	20.52	26.31	23.05	21.74
	MBE	2.07	2.16	2.25	1.66	1.91	2.78	3.30	3.78	4.01
	RMSE	26.08	27.44	26.41	26.02	30.85	32.78	42.29	29.96	28.17
	اولویت rank	2	4	3	1	7	8	9	6	5
بارش بهاره Spring precipitation	MAE	15.05	15.40	13.79	17.31	14.30	18.76	18.33	12.32	11.62
	MBE	3.48	4.13	3.55	2.28	2.27	1.75	2.63	5.05	6.32
	RMSE	35.33	35.82	37.08	35.56	37.76	44.81	39.86	36.60	36.27
	اولویت rank	1	3	6	2	7	9	8	5	4
بارش اردیبهشت ماه May precipitation	MAE	11.24	11.60	9.40	8.65	9.41	11.26	10.32	13.50	14.06
	MBE	-0.33	-0.54	-0.22	1.44	0.63	2.84	1.27	2.31	2.82
	RMSE	26.13	26.65	26.71	3.77	26.75	40.51	26.63	27.64	29.28
	اولویت rank	1	3	4	8	5	9	2	6	7
دمای مطلوب جوانه‌زنی Optimum temperature of germination	MAE	0.56	0.31	0.34	0.32	0.46	0.74	0.26	0.38	0.43
	MBE	0.02	0.13	0.12	0.16	0.08	0.13	0.01	0.08	0.18
	RMSE	2.10	2.28	3.18	2.34	2.43	3.06	2.05	2.12	2.23
	اولویت rank	2	5	9	6	7	8	1	3	4
دمای مطلوب سنبله‌دهی Optimum temperature in heading stage	MAE	0.53	0.68	0.64	0.21	0.51	0.63	1.18	0.96	0.91
	MBE	0.04	0.10	0.13	-0.08	0.03	-0.04	0.19	0.24	0.25
	RMSE	1.34	1.74	1.80	1.94	1.70	2.25	1.80	1.84	1.68
	اولویت rank	1	4	5	8	3	9	6	7	2
دمای مطلوب پرشدن دانه optimum temperature in grain filling stage	MAE	0.24	0.34	0.25	0.56	0.21	0.64	0.35	0.43	0.48
	MBE	0.13	0.09	0.12	0.08	0.03	0.12	0.18	0.24	0.26
	RMSE	1.63	1.61	2.01	1.70	1.54	1.62	1.56	1.60	1.68
	اولویت rank	6	4	9	8	1	5	2	3	7

جدول ۳- طبقه‌بندی نیازهای اقلیمی گندم و جو دیم.

Table 2. Classification of climatic requirements for rainfed wheat and barley.

متغییر Variables	گیاه زراعی Crop	بسیار مستعد (S1) High suitable (S1)	مستعد (S2) Suitable (S2)	نیمه مستعد (S3) Semi-suitable (S3)	غیرمستعد (NS) Non-suitable (NS)
میزان بارش سالانه (میلی‌متر)	گندم Wheat	400<	300-400	200-300	<200
Annual rainfall (mm)	جو Barley	>300	200-300	150-200	<150
میزان بارش پاییزه (میلی‌متر)	گندم wheat	>100	80-100	60-80	<60
Autumn rainfall (mm)	جو Barley	>100	80-100	60-80	<60
میزان بارش بهاره (میلی‌متر)	گندم Wheat	118<	110-118	80-110	40-80
Spring rainfall (mm)	جو Barley	100<	80-100	60-80	40-60
میزان بارش اردیبهشت ماه (میلی‌متر)	گندم Wheat	50<	35-50	20-35	<20
May rainfall (mm)	جو Barley	40<	30-40	20-30	<20
دمای مطلوب جوانه‌زنی (درجه سانتی‌گراد)	گندم Wheat	8-14	14-18, 5-8	0-5	0
optimum temperature of germination (°C)	جو Barley	8-14	14-18, 4-8	0-4	0
دمای مطلوب سنبله‌دهی (درجه سانتی‌گراد)	گندم Wheat	20-25	15-25 , 25-27	27-30	>30
Optimum temperature in heading stage (°C)	جو Barley	20-25	15-25, 25-30	30-33	>33
دمای مطلوب پر شدن دانه (درجه‌سانتی‌گراد)	گندم Wheat	25-30	30-33	33-35	>35
optimum temperature in grain filling stage (°C)	جو Barley	25-30	30-35	35-37	>37

References: Bahagat et al., (2009), Ehteramian et al (2007), Eyni et al., (2012), Feyzizadeh et al., (2012), Kazemi et al., (2015), Kamali, et al., (1998), Khodabandeh (1996) and Sys et al., (1991)

برآورد بارش پاییزه: نتایج نشان داد که روش توابع پایه شعاعی بهترین الگو را برای تخمین بارش پاییزه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف توابع پایه شعاعی، مدل چندربعی کمترین خطا (RMSE=26.02) و بالاترین صحت را داشت و به‌عنوان مناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۲).

نقشه توزیع مکانی بارش پاییزه با احتمال وقوع ۹۵ درصد طی دوره برگشت ۲۵ ساله در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس آن، علی‌رغم تأمین شدن نیاز رطوبتی گندم و جو دیم در فصل پاییز در بخش وسیعی از منطقه‌ی مورد مطالعه، محدودیت‌هایی در اراضی شمالی و شمال شرقی شهرستان گنبدکاوس وجود دارد. این بخش که ۷/۴۰ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص می‌دهد (۲۸۹۷۴ هکتار از اراضی کشاورزی کنونی)، با بارش حدود ۸۰-۶۸/۷۶ میلی‌متر از نظر توصیف قابلیت در طبقه نیمه مستعد (S3) قرار می‌گیرد. همچنین ۱۶/۳۳ درصد از مساحت منطقه که در

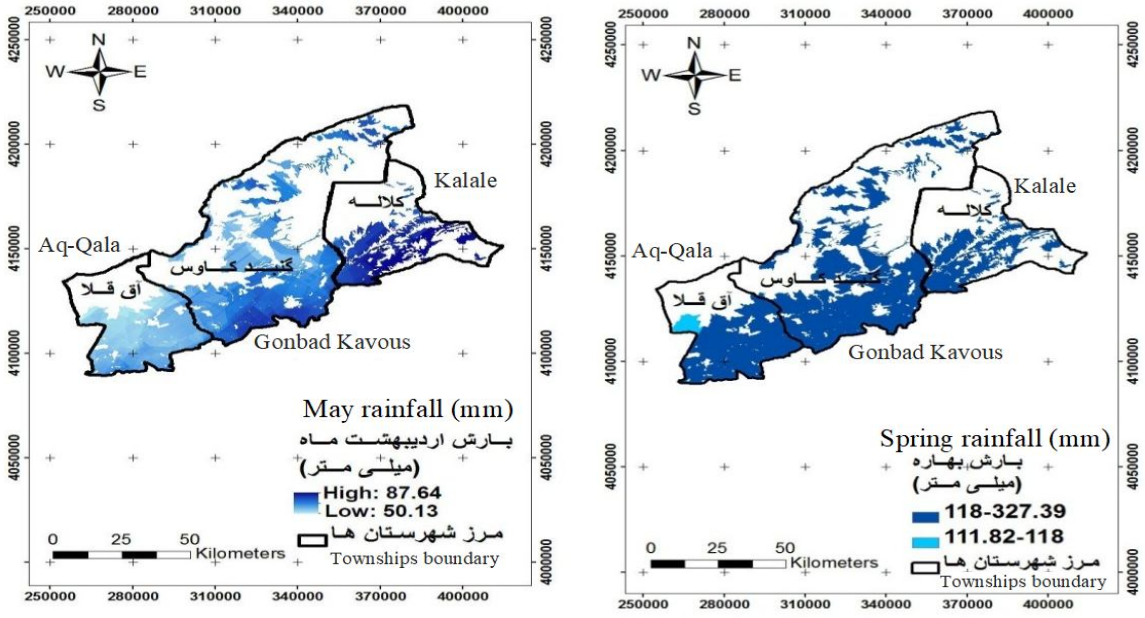
اراضی مرکزی شهرستان گنبدکاوس واقع شده است (۶۳۹۳۷ هکتار اراضی کشاورزی کنونی)، از نظر بارش پاییزه با میزان حدود ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در حد مطلوب بوده و در طبقه مستعد (S2) قرار می‌گیرد.

آمارهای سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان نشان می‌دهد که روند تولید و عملکرد گندم و جو دیم در سطح استان گلستان مخصوصاً در شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و گنبد کاوس یک روند غیرقابل پیش‌بینی و دارای نوسان می‌باشد. به‌عنوان مثال در طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۶روند متوسط عملکرد گندم دیم در شهرستان آق‌قلا به‌ترتیب ۶۸۴، ۱۶۴۱، ۲۶۳۰، ۸۱۸ کیلوگرم در هکتار و روند تغییرات جو دیم در طی این مدت به‌ترتیب ۶۵۸، ۱۴۲۴، ۲۳۱۸، ۶۲۳ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. این ناپایداری در شهرستان‌های کلاله و گنبدکاوس نیز مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که درشهرستان کلاله متوسط عملکرد گندم دیم در طی این چهار سال عبارتست از: ۱۷۵۶، ۲۷۷۷، ۲۶۱۶، ۱۹۳۰ کیلوگرم در هکتار و روند تغییرات جو دیم نیز ۱۲۱۸، ۲۹۱۹، ۲۶۷۰، ۲۰۶۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد. هم‌چنین در شهرستان گنبدکاوس این روند برای گندم دیم از ۷۲۴ کیلوگرم در هکتار تا ۱۶۶۸ کیلوگرم در هکتار و برای جو دیم از ۶۶۲ کیلوگرم در هکتار تا ۱۴۱۰ کیلوگرم در هکتار متغیر گزارش شده است (۱). به نظر می‌رسد یکی از عوامل این نوسانات، پراکنش نامطلوب و میزان ناکافی بارش پاییزه در بخش‌های از این سه شهرستان می‌باشد.

نتایج جدول۳ نشان داد که شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و اراضی جنوبی شهرستان گنبدکاوس (۷۶/۲۷ درصد) دارای بیشترین میزان بارش پاییزه با احتمال وقوع ۹۵ درصد با دامنه بین ۱۰۰ تا ۲۲۲/۴۵ میلی‌متر بوده که از نظر توصیف قابلیت، در پهنه بسیار مستعد (S1) طبقه‌بندی می‌شوند (۲۹۸۶۲۳ هکتار اراضی کشاورزی کنونی). اصولاً در زراعت دیم علاوه بر مجموع بارندگی سالانه، نحوه‌ی توزیع آن در طول مراحل رشد بر عملکرد تأثیر به‌سزایی دارد، از این رو توزیع بارش در فصل پاییز در زراعت دیم از اهمیت بسیاری برخوردار می‌باشد (۲۲). از نقشه احتمال وقوع بارش پاییزه (شکل ۲) می‌توان به این نتیجه رسید که در مجموع در شهرستان‌های آق‌قلا، کلاله و سطح وسیعی از اراضی جنوبی شهرستان گنبدکاوس از نظر بارش پاییزه برای کشت گندم و جو دیم، با احتمال ۹۵ درصد در ۲۵ سال آینده محدودیتی وجود نخواهد داشت. در مطالعه‌ای که توسط احترامیان و همکاران (۲۰۰۷) در خراسان شمالی برای کشت گندم دیم انجام شد، مشخص گردید که بارش پاییزه با احتمال وقوع ۷۵ درصد در مناطق جنوب شرقی این استان محدودکننده است (۹).

برآورد بارش بهاره: در بین روش‌های مختلف میان‌یابی، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین بارش بهاره با احتمال وقوع ۹۵ درصد در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبد و کلاله ارائه داد. از مدل‌های مختلف روش کریجینگ مدل کروی کم‌ترین خطا و بالاترین صحت را داشت (RMSE=۳۵/۳۳) (جدول ۲). دیسکرویکس و همکاران (۲۰۰۱) روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ را به عنوان روش‌های بهتر و معمول برای میان‌یابی و بازسازی داده‌های بارندگی در منطقه شمال غرب مکزیکو معرفی کردند (۸). همچنین محققان دیگری نیز به برتری روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی تاکید کرده‌اند (۳). نقشه طبقات بارش بهاره با احتمال وقوع ۹۵ درصد در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این نقشه، ۹۸/۱۱ درصد منطقه در طبقه بسیار مستعد (۳۸۵۷۵۸ هکتار از اراضی کشاورزی کنونی) و حدود ۱/۸۹ درصد (۷۳۹۹ هکتار از اراضی کشاورزی کنونی) آن در طبقه

مستعد قرار گرفت. در مجموع تنها در بخش کوچکی از شمال غربی شهرستان آق‌قلا مقدار کمتری بارش بهاره با احتمال وقوع ۹۵ درصد مشاهده شد (نقشه ۳). اصولاً در فصل بهار که مصادف با گلدهی و پرشدن دانه در غلات پاییزه می‌باشد، با توجه به گرم شدن هوا و افزایش تبخیر و تعرق، نیاز رطوبتی گندم نیز افزایش می‌یابد. ریزش باران در این مراحل می‌تواند تأثیر بسزایی در رشد و تولید محصول داشته باشد. از نقشه ۳ می‌توان نتیجه گرفت که میزان بارش بهاره با احتمال وقوع ۹۵ درصد طی دوره برگشت ۲۵ ساله، در کل اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله در دو طبقه بسیار مستعد و مستعد قرار گرفته و هیچ‌گونه محدودیتی از نظر تامین بارش بهاره در این مناطق وجود ندارد. در همین راستا گزارش شده است که دامنه تغییرات بارش بهاره با احتمال وقوع ۹۰ درصد در استان تهران، ۴۶۸-۱۶۴ میلی‌متر بوده و مناطق جنوبی استان دارای کم‌ترین میزان بارش بهاره جهت کشت گندم دیم می‌باشند (۲). در مطالعه‌ی ساری صراف و همکاران (۲۰۰۹) مشخص شد که بارش بهاره با احتمال وقوع ۷۵ درصد، از ۱۲۵ میلی‌متر تا ۱۹۰ میلی‌متر و بیشتر در استان آذربایجان غربی در حال نوسان می‌باشد، به‌طوری که اکثر مناطق استان در شمال و مرکز از نظر بارش بهاره دارای محدودیت متوسط می‌باشند (۲۱).



شکل ۳- نقشه توزیع مکانی بارش بهاره و اردیبهشت ماه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله

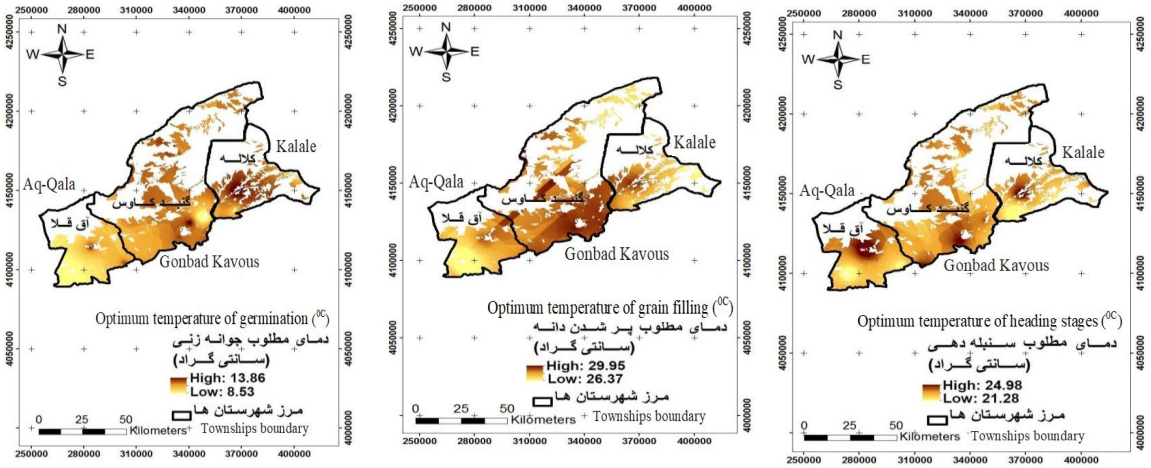
Figure 3. Spatial distributions map of May and spring rainfalls with occurrence probability in 95% level in the agricultural lands in Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships

برآورد بارش اردیبهشت‌ماه: به‌منظور تعیین بهترین روش جهت تهیه نقشه بارش اردیبهشت‌ماه با احتمال وقوع ۹۵، براساس جدول ۱ از متغیرهای آماری RMSE، MAB و MAE کمک گرفته شد. بر این اساس مقادیر محاسبه شده RMSE برای روش کریجینگ- مدل کروی، از سایر روش‌ها و مدل‌ها کمتر بوده و نقشه بارش اردیبهشت ماه با احتمال وقوع ۹۵ نیز با استفاده از این مدل انتخابی رسم گردید. به دلیل اهمیت و نقش بارز بارش اردیبهشت ماه در میزان عملکرد گندم دیم در منطقه مورد مطالعه،

علاوه بر بررسی میزان بارش بهاره، مقدار و پراکنش بارش اردیبهشت ماه نیز با اهمیت است. زیرا در دیم‌زارها بین عملکرد گندم و رطوبت موجود در خاک در مرحله‌ی دانه‌بندی (معمولاً اردیبهشت‌ماه) همبستگی معنی‌داری وجود دارد. به‌طور که کاهش آب تقریباً کلیه‌ی فرآیندهای دانه‌بندی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که بارزترین آن کاهش جذب مواد غذایی است که در نهایت سبب کاهش وزن کل دانه‌ها خواهد شد (۲۴). در شکل ۳ نقشه احتمال توزیع مکانی بارش اردیبهشت ماه در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله نشان داده شده است. میزان بارش اردیبهشت‌ماه با احتمال وقوع ۹۵ درصد طی دوره برگشت ۲۵ سال در محدوده مورد مطالعه از ۵۰/۱۳ تا ۸۷/۶۴ میلی‌متر در نوسان می‌باشد. کل اراضی منطقه براساس جدول نیازمندی‌های اقلیمی گیاهان زراعی گندم و جو (جدول ۳) شهرستان‌های مورد مطالعه در طبقه‌ی بسیار مناسب (S1) قرار گرفت و هیچ محدودیتی از نظر بارش اردیبهشت ماه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در این مناطق مشاهده نخواهد شد و کل اراضی منطقه مورد مطالعه دارای بارش بسیار مناسب در اردیبهشت ماه (S1) می‌باشند. با بررسی روند بارش اردیبهشت ماه در دوره آماری ۵۰ ساله، مشاهده شد که در بعضی از ایستگاه‌ها میزان بارش ثبت شده در بعضی از سال‌ها کمتر از میزان میانگین دوره آماری بوده و در این سال‌ها نیز میزان عملکرد زراعت دیم هم کمتر از متوسط گزارش شده است. به‌طور مثال میزان بارش اردیبهشت‌ماه در ایستگاه هواشناسی کلاله در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ کمتر از میانگین دوره آماری به ثبت رسیده است.

رسولی و همکاران (۲۰۰۵) دامنه تغییرات بارش اردیبهشت ماه را ۸۴-۳۳ میلی‌متر در استان اردبیل گزارش کردند و هم‌چنین اظهار داشتند که مناطق غربی این استان دارای بیش‌ترین میزان بارش اردیبهشت ماه جهت کشت گندم دیم است (۲۰).

برآورد دمای مطلوب جوانه‌زنی: با بررسی روش‌های زمین‌آماری، نتیجه به این صورت بود که میزان خطای روش وزن‌دهی فاصله معکوس با توان ۱ کم‌تر از سایر روش‌ها بوده و این روش به‌عنوان روش برتر جهت میان‌یابی دمای مطلوب جوانه‌زنی با احتمال وقوع ۹۵ درصد انتخاب شد (جدول ۲). براساس شکل ۴ احتمال وقوع ۹۵ درصد دمای مطلوب جوانه‌زنی طی دوره برگشت ۲۵ ساله، در دامنه ۸/۵۳ تا ۱۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که از نظر توزیع مکانی دمای مطلوب جوانه‌زنی، هیچ محدودیت در این مرحله از رشد گندم و جو در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد و این مناطق از نظر توصیف قابلیت، در طبقه بسیار مستعد (S1) قرار می‌گیرد (۳۹۱۵۳۳ هکتار از اراضی کشاورزی کنونی). می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع کل اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله از لحاظ تامین دمای جوانه‌زنی بسیار مناسب بوده و احتمال برآورده شدن نیاز دمایی گندم و جو دیم در این مرحله از رشد، در ۲۵ سال آینده نیز امکان‌پذیر است. در مطالعه عینی و همکاران (۲۰۱۲) مشخص شد که در بخش‌های مرکزی استان کرمانشاه، احتمال وقوع دماهای مناسب جوانه‌زنی بیشتر از ۷۱ درصد می‌باشد (۱۰).



شکل ٤- نقشه توزیع مکانی دمای مطلوب جوانه‌زنی، سنبله دهی و پرشدن دانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله

Figure 4. Spatial distributions map of optimum temperature of germination, grain filling and heading stages with occurrence probability in 95% level in the agricultural lands in Aq-Qala, Kalale and Gonbad Kavous townships.

برآورد دمای مطلوب سنبله‌دهی: با توجه معیارهای ارزیابی، از بین ۹ روش- مدل مختلف درون‌یابی مورد استفاده در این مطالعه، روش کریجینگ با مدل کروی به دلیل داشتن میزان MBE، MAE و RMSE کمتر، جهت ترسیم نقشه دمای مطلوب سنبله‌دهی با احتمال وقوع ۹۵ درصد انتخاب شد (جدول ۲). آرخی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که روش کریجینگ در برآورد دما با احتمال وقوع ۹۰ درصد مناسب‌ترین روش می‌باشد (۲). نقشه احتمال وقوع ۹۵ درصد دمای مطلوب سنبله‌دهی طی دوره برگشت ۲۵ سال در شکل ۴ آورده شده است. براساس این شکل، محدوده دمای مطلوب سنبله‌دهی در اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله از ۲۱/۲۸ تا ۲۴/۹۸ درجه سانتی‌گراد در نوسان می‌باشد، که نشان می‌دهد در اراضی مورد مطالعه، براساس جدول نیازهای اقلیمی (جدول۳) شرایط بسیار مساعدی (S1) از نظر تامین نیاز دمایی مرحله‌ی سنبله‌دهی در کل منطقه وجود دارد. نقشه احتمال دمای سنبله‌دهی (شکل ۴) نشان می‌دهد که کل اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبد و کلاله از نظر دمای مطلوب سنبله‌دهی دارای هیچ محدودیتی نمی‌باشند. کل این مناطق در پهنه S1 قرار می‌گیرند و تا ۲۵ سال آینده نیز تغییراتی در درجه‌بندی تناسب این مناطق مشاهده نخواهد شد. فیضی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) احتمال وقوع دمای مناسب سنبله‌دهی ۲۵ درجه سانتی‌گراد در استان آذربایجان شرقی را ۲۵ تا ۷۰ درصد تعیین کردند و هم‌چنین گزارش دادند که تنها ۱۹-۹ درصد از مساحت غرب این استان (نوار شرقی دریاچه ارومیه) دارای محدودیت شدیدی می‌باشد (۱۱).

برآورد دمای مطلوب پرشدن دانه: نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نشان داد که روش توابع پایه شعاعی بهترین الگو را برای تخمین دمای مطلوب پرشدن دانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در محدوده مورد مطالعه ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف روش توابع پایه شعاعی، مدل چندربعی معکوس کم‌ترین خطا و بالاترین صحت را داشت (جدول ۲). همچنین نقشه دمای مطلوب پرشدن دانه در شکل ۴ نشان داده شده است. میزان دمای مطلوب پرشدن دانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد طی دوره

برگشت ۲۵ سال در محدوده‌ی مورد مطالعه از ۲۶/۳۷ تا ۲۹/۹۵ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. کل اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه (۳۹۳۱۶۲/۱۴ هکتار) براساس جدول نیازمندی‌های اقلیمی گیاهان زراعی گندم و جو (جدول۲) در طبقه‌ی بسیار مناسب (S1) قرار گرفت. از نقشه توزیع مکانی دمای مطلوب پرشدن دانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد (شکل ۴) می‌توان به این نتیجه رسید که در مجموع کل محدوده مورد بررسی از لحاظ تامین دمای پرشدن دانه گندم و جو بسیار مناسب (S1) تشخیص داده شده است و این نتایج تا ۲۵ سال آینده با احتمال ۹۵ درصد قابل پیش‌بینی است. در مطالعه ساری صراف و همکاران (۲۰۰۹) در استان آذربایجان غربی مشخص شد در بخشی از استان (۱۸/۱ درصد) درجه‌ی حرارت در مرحله‌ی پر شدن باعث محدودیت شدید می‌شود (۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش برای برآورد احتمال وقوع بارش بهاره، بارش اردیبهشت ماه، دمای مطلوب سنبله‌دهی، روش کریجینگ با مدل کروی و بارش سالانه با مدل نمایی و بارش پاییزه و دمای مطلوب پر شدن دانه، روش توابع پایه شعاعی به ترتیب با مدل چند ربعی و چند ربعی معکوس به عنوان مناسب‌ترین الگو شناخته شدند. همچنین روش وزن-دهی فاصله معکوس با توان ۱ با داشتن کم‌ترین خطا، بهترین روش را برای برآورد دمای مطلوب جوانه‌زنی ارائه داد. نتایج حاصل مبین این واقعیت است که اراضی کشاورزی شهرستان‌های آق‌قلا، گنبدکاوس و کلاله جهت کشت گندم و جو دیم مناسب بوده و هیچ محدودیتی از نظر بارش سالانه و توزیع مناسب آن به‌خصوص بارش بهاره و بارش اردیبهشت ماه و هم‌چنین دماها در طی مراحل حساس دوره رشد (مراحل جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه) وجود نخواهد داشت. اما از نظر بارش پاییزه، بخش‌هایی از مناطق مورد مطالعه، با محدودیت روبه‌رو خواهند شد. نتایج نقشه‌های اقلیمی نشان داد که از نظر احتمال وقوع متغیرهای بارش سالانه، بهاره و اردیبهشت ماه جهت کشت گندم و جو دیم این مناطق در دو طبقه بسیار مناسب و مناسب و از نظر متغیرهای دما (دمای مطلوب جوانه‌زنی، سنبله‌دهی و پر شدن دانه) در طبقه بسیار مناسب قرار می‌گیرند.

نتایج این تحقیق می‌تواند جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و مدیریت آینده اراضی دیم استان گلستان مفید واقع شود. پیشنهاد می‌گردد مطالعات تکمیلی در مورد سایر گیاهان پاییزه رایج در منطقه مانند کلزا و باقلا نیز صورت پذیرد. همچنین از سایر متغیرهای اقلیمی مانند تبخیر و تعرق و رطوبت نسبی نیز در این دست از مطالعات استفاده گردد.

منابع

1. Agriculture Organization of Golestan. 2013. Statistics and Information Office. www.jago.ir.
2. Arokhi, S., Hejam, S., and Lotfi, A. 2009. Efficiency of geostatistical methods in favorable areas for wheat cultivation using geographical information system (Case study: Tehran province). Proc. 18th Geomatic Conf., 5-6 May, Tehran. (In Persian)
3. Bertolini, M., Braglia, M., and Carmignani, G. 2006. Application of the AHP methodology in making proposal for a public work contract. Int. J. Proj. Manag., 24(5): 422-430.
4. Bhagat, R.M., Singh, S., Sood, C., Rana, R.S., Kalia, V., Pradha, S., Immerzeel, W., and Shrestha, B. 2009. Land

suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using Geographical Information System. J. Ind. Soc. Remote Sens., 37: 233-240.
5.Cheng, K., Lin, Sh., and Liou, J. 2008. Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. Hydrol. Proc., 22 (14): 2554-2564.
6.Carlson, R.E., and Foley, T.A. 1991. The parameter R^2 in multiquadric interpolation. Comp. Mathematic App. 21: 29-42.
7.Diodato, N., and Ceccarell, I.M. 2005. Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy). Earth Surface Proc. Landforms. 30(3): 259-268.
8.Descroix, L. Nouvelot, J.F., Estrada, J., and Lebal T. 2001. Complementarily and convergence of rainfall regionalization processes: application to an endoergic basin of Northern Mexico. Revue Des Sciences De L'Eau. 14(3): 281-305.
9.Ehteramian, K., Mohamadnia Gharaei, S., Motamedi, M., Gharaei S., Rafiei, M., and Zabol Abbasi, F. 2007. Zoning of climatic capability for rainfed wheat cropping in North Khorasan. J. Geo. Sci., 7(8): 9-34. (In Persian)
10.Eyni, H., Sadeghi, S., and Hosseinzadeh, R. 2012. Zoning topoclimatic potentials for rainfed wheat cultivation in Kermanshah province. J. Geo. Reg. Develop., 19: 21-45 (In Persian)
11.Feizizadeh, B., Ebdali, H., Rezaei-Banafshe, M., and Mohammadi, G. 2012. Zoning of suitable area to rainfed wheat in the Azerbaijan province by geospatial analysis of GIS. Agron. J. (Pajouhesh and Sazandegi), 96: 75-91. (In Persian)
12.Hasani Pak, A.A. 2007. Geostatistics. University of Tehran Press. 314 p. (In Persian)
13.Kamali, G. 1997. Agroclimatology study of lands potential for dry farming in west of the country, with emphasis on wheat. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University of Science and Research Branch of Tehran. 152 p. (In Persian)
14.Kamali, Gh.A., Momen Zadeh, H., and Vazifeh Doust, M. 2011. Assessment of changes in biomass and grain yield in drought and wet periods-of MODIS satellite data in Isfahan. J. Agric. Ecol., 3(2): 181-190. (In Persian)
15.Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and Sadeghi, S. 2015. Ecological zoning for wheat production at province scale using geographical information system. Adv. Plants Agric. Res., 2(1): 1-7.
16.Kazemi, H., Sadeghi, S., and Akinci, H. 2016. Developing a land evaluation model for faba bean cultivation using geographic information system and multi-criteria analysis (A case study: Gonbad-Kavous region, Iran). Ecol. Indicat., 63: 37-47.
17.Khodabandeh, N. 1996. Cereals. University of Tehran Press. 537. (In Persian)
18.Marofi, S., Gol-Mohamadi, G., Mohamadi, K., and Zare Abyane, H. 2009. Evaluation geostatistical estimation of the spatial distribution of rainfall in the Hamedan province in GIS. J. Soil Water., 1(2): 1-17. (In Persian)
19.Mahdian, M.H. 2006. The use of geostatistics in soil science. Proceedings of the Conference on Soil, Sustainability and Environment, University of Tehran. 10 p. (In Persian)
20.Rasoli, A.A., Ghasemi Golazani, K., and Sobhani, B. 2005. The role of precipitation and height to determine suitable areas for rainfed wheat planting using GIS (Case study: Ardabil province). 5: 183-200. (In Persian)
21.Sari Saraf, B., Bazgir, S., and Mohammadi, G. 2009. Zoning of climatic potential for rainfed wheat cropping in West Azerbaijan province. Geo. Develop., 13: 5-26. (In Persian).
22.Sarmadnia, G., and Kocheki, A. 1989. Physiological aspects of dryland farming. Jehad Daneshgahi Press of Mashhad. 423p. (In Persian)
23.Samanta, S., Pal, B., and Pal, D.K. 2011. Land suitability analysis for rice cultivation based on multicriteria ecological suitability of Henan province

based on GIS. Agricultural Silences in China. 9: 583-592.

24. Sobhani, B. 2005. Agroclimatic zoning of Ardabil province using satilate images in GIS media. PhD Thesis in Natural Geography, Tabriz University. (In Persian)

25. Sys, I., Van-Ranst, E., and Debveye J. 1991. Land evaluation. Part 1: principles in land evaluation and crop production calculations. General administration for development cooperation. Agricultural Publications, Brussels, Belgium, 15p.

26. Wang, D., Li, C., Song, X., Wang, J., Yang, X., Huang, W., Wang, J., and Zhou, J. 2011. Assessment of land suitability potentials for selecting winter wheat cultivation areas in Beijing, China, using RS and GIS. Agric. Sci. China. 10(9): 1419-1430.

27. Webster, R,. and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for Environmental Scientists. Wiley Press.