نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال نهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠١

صفحات ١٧٩ - ١٩٤

رابطه فضایی متغیرهای اقلیمی با عملکرد برنج و گندم مورد مطالعه: سواحل جنوبی خزر

علی‌اکبر شمسی‌پور[1]؛ دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

حدیث صادقی؛ دانش آموخته آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

حسین محمدی؛ استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مصطفی کریمی؛ استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۹/۲۶ پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۲۲

چکیده

اقلیم از عوامل تعیین‌کننده در کمیت و کیفیت تولید محصولات کشاورزی است، این پژوهش ارتباط میان عناصر اقلیمی بارش و دما به عنوان متغیرهای مستقل با عملکرد برنج ۴۰ شهرستان و گندم۳۰ شهرستان به عنوان متغیرهای وابسته در سواحل جنوبی دریای خزر در طول دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۵ واکاوی شد. با استفاده از آزمون خودهمبستگی موران و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تحلیل‌های آمار فضایی انجام شد. براساس نتایج حاصل از شاخص موران به‌ترتیب به‌میزان z=۰/۴۳۴۸۲۱ برای برنج وz=۰/۷۱۹۵۷۱ برای گندم نشان داد که الگوی توزیع فضایی عملکرد برنج و گندم دارای الگوی خوشه‌ای است. تأثیر مثبت بارش در عملکرد برنج در شرق دریای خزر با دامنه ضرایب رگرسیون۰/۰۲۰ تا ۰/۵۴۰ قابل توجه است؛ همچنین نتایج حاکی از رابطه منفی میان متغیر دما با عملکرد برنج در جنوب‌شرق و شرق و اثر مثبت آن بر عملکرد برنج در دیگر نواحی بود. تأثیر بارش بر عملکرد گندم در غرب و مرکز منطقه با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۴۸۱- تا ۰/۸۷۱- منفی بدست آمد. همچنین نتایج حاکی از رابطه منفی دما با عملکرد گندم در شرق و جنوب‌شرقی نوار ساحلی و رابطه مثبت دما با عملکرد گندم در دیگر مناطق بود. در نهایت نتایج حاکی از آن بود که در بخش‌های غربی و مرکزی به علت بارش فراوان و تعداد ساعات آفتابی کم افزایش در مقدار دما مطلوب‌تر از افزایش مقدار بارش است و در نواحی شرقی و جنوب‌شرق منطقه که میزان بارش آن پایین‌تر از آستانه مورد نیاز برنج و گندم است افزایش در میزان بارش مطلوب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: آمار فضایی، تخمین عملکرد محصول، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، برنج، گندم.

[1]. نویسنده مسئول: Email: shamsipr@ut.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

مقدمه

نقش اقلیم و عناصر جوی دما، بارش و رطوبت تأثیر قابل توجهی بر میزان تولید، بهره‌وری و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی دارند، به‌گونه‌ای که تغییر هر یک از آنها میزان تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. براساس بررسی‌های انجام شده، مشخص شده که با افزایش جمعیت جهان به ۹/۷ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰، انسان با چالش تأمین مواد غذایی مواجه می‌شود (Li Liu et al, ۲۰۱۷; Gaydon et al, ۲۰۱۷).

کشاورزی که از مهم‌ترین بخش‌های اقتصاد و منبع کلیدی تأمین و امنیت غذایی کشور است، در برابر عوامل و پدیده‌های اقلیمی حساس و آسیب‌پذیر می‌باشد. به طوری‌که تغییرات محسوس در هر یک از متغیرهای اقلیمی میزان تولید محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تولید و عملکرد محصولات را کاهش یا افزایش می‌دهد (Raj Padakandl, ۲۰۱۸ ; Dixit et al., ۲۰۱۶). دما و بارش متغیرهای کلیدی مؤثر بر تولید کشاورزی هستند. برای مثال، لابل و فیلد (Lobell and Field, ۲۰۰۷) در یک واکاوی جهانی دریافتند که دما تأثیر قوی‌تری بر عملکرد محصولات دارد، آنها کاهش ۰/۶ تا ۸/۹ درصدی را در متوسط عملکرد محصولات گندم، برنج، ذرت، جو، سویا و سورگوم به‌ازای هر یک درجه سلسیوس افزایش در دمای جهانی گزارش دادند. در حالیکه در هند، بارش به‌عنوان عامل کلیدی مؤثر بر تولید محصولات کشاورزی گزارش شده است (Li et al., ۲۰۱۰; Challinor et al., ۲۰۰۳). ایران به لحاظ شرایط آب‌وهوایی و منطقه‌ای استعدادهای بالقوه لازم برای توسعه کشاورزی دارد و سواحل جنوبی دریای خزر از مناطق مهم در بخش زراعت ایران است. سواحل جنوبی دریای خزر به مساحت ۶۵۹۱۲ کیلومتر مربع در شمال ایران واقع و سه استان گلستان، مازندران و گیلان را در بر می‌گیرد (شکل ۱). علی‌رغم اهمیت و نقش کشاورزی در زندگی مردم منطقه، جنوب شرق نوار ساحلی از نظر پایداری منابع کشاورزی ضعیف، و نواحی غرب و شرق آن نیز از ناپایداری خفیف برخوردار هستند (منصوری و همکاران، ۱۳۹۲).

روش رگرسیون وزنی جغرافیایی[۱] به‌عنوان روشی جدید از تحلیل رگرسیون که توان شناخت و بررسی روابط میان متغیرها را دارد، می‌تواند با برآورد عملکرد محصولات کشاورزی و درک بهتر روابط متقابل آنها با پارامترهای آب‌وهوایی، برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران را برای ارزیابی زمانی و مکانی عملکرد محصولات کشاورزی و شناخت نواحی با اولویت بهره‌وری محدود قادر سازد. در مطالعات و پژوهش‌های مختلفی در موضوع کشاورزی و اثرات عناصر و عوامل اقلیمی و محیطی بر عملکرد محصول در چین از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده شده است (Tonge et al., ۲۰۱۳; Zhang et al., ۲۰۱۲). در پژوهشی رابطه بین بارش و عملکرد دیم و آبی دو محصول ذرت و سویا برای ۹۳ ناحیه در نبراسکا در طول دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ با استفاده از رگرسیون وزنی جغرافیایی مطالعه گردید؛ به‌دلیل ایجاد درک بهتری از تأثیرات تغییرپذیری مکانی، روش رگرسیون وزنی قابلیت بهتری نسبت به رگرسیون حداقل مربعات معمولی[۲] نشان داد (Sharma et al., ۲۰۱۱). در مطالعات دیگری رابطه بین متغیرهای مختلف اقلیمی بویژه بارش و دما و عملکرد محصولات کشاورزی همچون گندم، ذرت و برنج با استفاده از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی و رگرسیون پانل مطالعه گردید؛ نتیجه گرفتند الگوی مکانی بارش به‌دلیل وجود سیستم‌های آبیاری پیچیده بود، اما دما بر روی مناطق گرمتر تأثیر منفی و بر روی مناطق سردتر تأثیر مثبت نشان داد (Olgun and Erdogan, ۲۰۰۹; Cai et al., ۲۰۱٤; Moreno et al., ۲۰۰۸). در پژوهشی کاربرد رگرسیون وزنی جغرافیایی در تخمین اثر اقلیم و شرایط محیطی بر پراکنش گیاهی و

۱. Geographically Weight Regression
۲. The regression ordinary least squares.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

همچنین با هدف مدیریت منابع آب کشاورزی و محاسبه اثر خنک‌کنندگی آبیاری بعنوان خدمتی از اکوسیستم‌های زراعی در تنظیم آب‌وهوایی محیط بررسی شدند (Zhao et al., ۲۰۱۰; Qin et al., ۲۰۱۵; Albaladejo-García et al., ۲۰۲۰). در مطالعه‌ای با هدف مدیریت منابع آب کشاورزی، با بکارگیری تحلیل خودهمبستگی و رگرسیون وزنی جغرافیایی در طول دوره آماری ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ نوسانات زمانی-مکانی میزان آب مصرفی پایه و روابط آن را با ورودی‌های کشاورزی در شمال‌شرق چین بررسی گردید؛ گوکر (Gocer, ۲۰۱٤) روابط بین تغییر نوع کشت محصولات کشاورزی(از غلات به میوه، غلات به سبزیجات، سبزیجات به میوه) با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در ترکیه بررسی کرده و روابط قوی بین تغییر در نوع کشت غلات، میوه و سبزیجات بدست آورد و نتیجه گرفت که به‌دلیل عوامل بهره‌وری، نواحی کشت غلات و سبزیجات با تولید میوه جایگزین شده است که این در آینده ترکیه را با مشکل امنیت غذایی مواجه می‌کند. عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) با معرفی و مقایسه دو روش حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی پژوهشی انجام دادند و به کارایی بالاتر روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تأکید کردند.

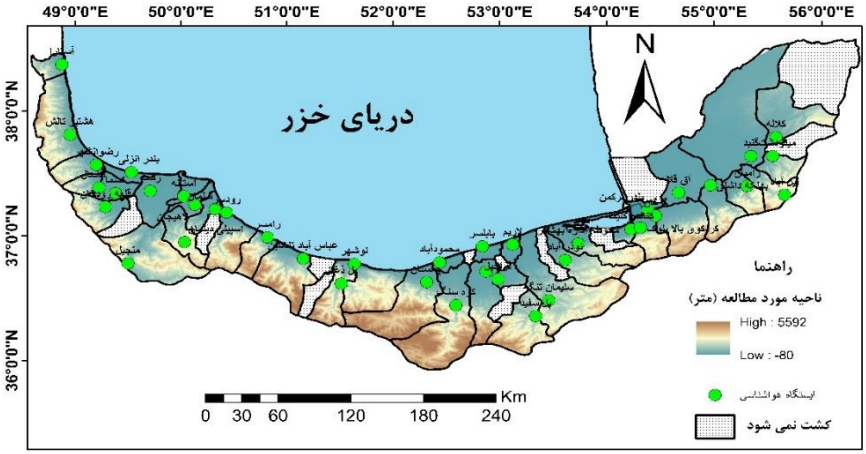
فعالیت‌ها و عملکرد محصولات زراعی به تغییرات و نوسان‌های آب‌وهوایی حساس است. دماهای بسیار بالا، تغییرپذیری بارندگی، وقوع رخدادهایی مانند سیل، خشکسالی و طوفان‌های ناشی از تغییرات اقلیمی می‌تواند تأثیرات زیادی بر عملکرد محصولات زراعی بگذارد و موجب کاهش قابل توجه عملکرد محصولات زراعی شود. این مسئله امنیت غذایی را به خطر می‌اندازد که در این میان کشورهای در حال توسعه فشارهای بیشتری را در ارتباط امنیت غذایی تجربه می‌کنند (Jing et al., ۲۰۲۱; Shrestha et al., ۲۰۱۹). ایران یکی از بزرگترین واردکنندگان غلات در جهان است و گندم و برنج از محصولات استراتژیک آن است که نقش مهمی در امنیت غذایی آن دارد (Houshyar et al., ۲۰۱۸). بنابراین در این مطالعه تمرکز بر شناخت اثر متغیرهای آب‌وهوایی بر عملکرد محصولات استراتژیک گندم و برنج به منظور تقویت ظرفیت انطباق و انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی و کمک به برنامه‌ریزان بسیار حائز اهمیت است.

داده‌ها و روش کار

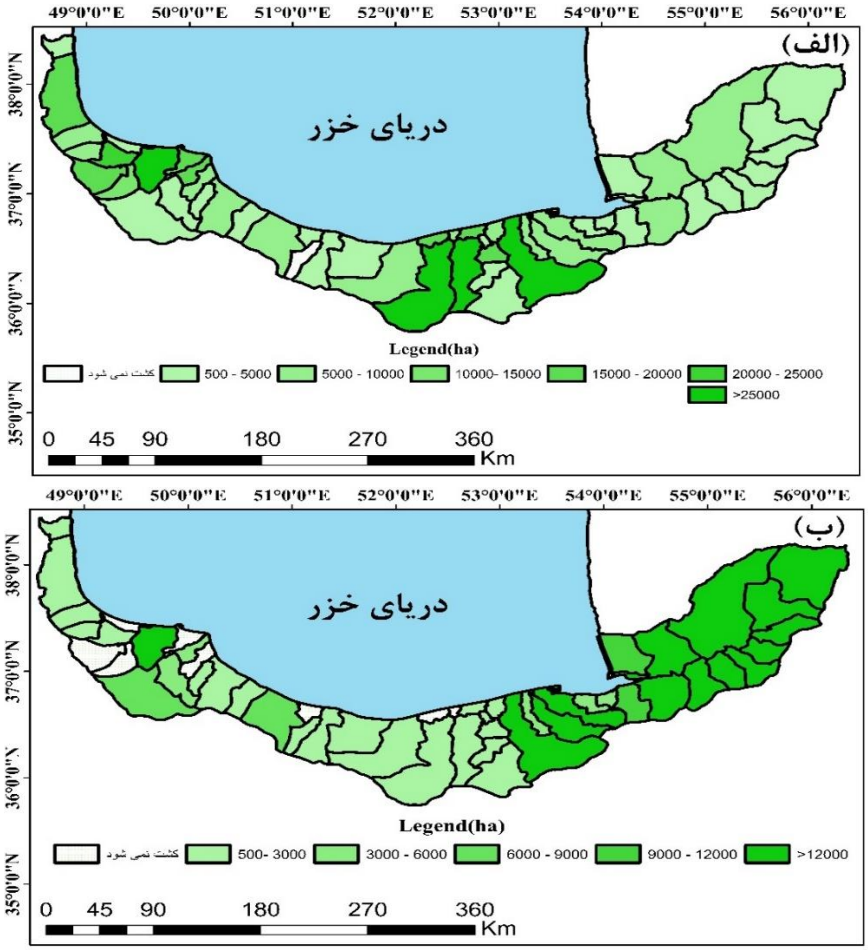
منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر سواحل جنوبی دریای خزر است. منطقه خزری به مساحت ۶۵۹۱۲ کیلومتر مربع در شمال ایران و در بین طول‌های جغرافیایی ´۴۸°۵۳ تا ´۵۶°۱۰ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ´۳۵°۴۷ تا ´۳۸°۲۷ شمالی قرار دارد، از نظر تقسیمات سیاسی سه استان شمالی کشور (مازندران، گلستان و گیلان) را در بر می‌گیرد (شکل ۱). این ناحیه در مسیر عبور توده‌های هوایی پرفشار سیبری، کم‌فشارهای مدیترانه‌ای و اطلس شمالی قرار دارد. میزان بارندگی به‌تدریج از ایستگاه پلیمبرا با متوسط بارش سالانه ۲۳۸۳ میلیمتر واقع در جنوب غربی منطقه، به سمت غرب و شرق کاهش می‌یابد که در این میان ایستگاه‌های شرق دریا با اختلاف قابل توجهی میزان بارش کمتری دارد. بخش‌های شرقی منطقه مورد مطالعه در نزدیکی مرز ترکمنستان با تأثیرپذیری از بیابان‌های قره‌قوم و قزل‌قوم دارای اختلاف دمای شبانه‌روزی بالایی هستند. اما به سمت نواحی غربی افزایش رطوبت هوا و تأثیرپذیری از رژیم رطوبتی دریای خزر موجب تعدیل دمای هوا می‌شود. در این پژوهش از دو گروه داده شامل داده‌های زراعی و اقلیمی استفاده شد. داده‌های زراعی مورد استفاده در این پژوهش شامل عملکرد دو محصول برنج و گندم برای دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۵ است که از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی تهیه شدند. در نوار ساحلی دریای خزر برنج به‌صورت آبی و گندم به صورت دیم و آبی کشت می‌شود که برای گندم متوسط عملکرد دیم و آبی در نظر گرفته شد. نخست نواحی زیر سطح

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

کشت برنج و گندم شناسایی شدند (شکل ۲). پس از آن، ۳۰ شهرستان برای گندم و ۴۰ شهرستان برای برنج با طول دوره آماری (۱۳۷۹-۱۳۹۵) انتخاب شدند. همچنین داده‌های ماهانه دما و بارش ۴۰ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی برای دوره زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۵-۱۳۷۹) از سازمان هواشناسی و وزارت نیرو گردآوری شدند (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده



شکل ۲. سطح زیر کشت الف) برنج و ب) گندم به هکتار در سواحل جنوبی دریای خزر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

در پاسخ به پرسش آیا الگوی فضایی داده‌های عملکرد گندم و برنج و روندهای حاکم بر آن در منطقه مورد مطالعه از خصوصیات جغرافیایی و اقلیمی آنجا پیروی می‌کند یا خیر؟ نخست از آزمون خودهمبستگی موران برای داده‌های عملکرد برنج و گندم استفاده شد. هدف اصلی آزمون خودهمبستگی موران (*I*) تحلیل درجه خودهمبستگی مکانی بین نقاط مجاور و نحوه توزیع داده‌ها (خوشه‌ای، پراکنده یا تصادفی) است. بطور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد ۱+ باشد داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص نزدیک به ۱- باشد، آنگاه داده‌ها از هم گسسته و پراکنده هستند؛ البته این مقدار از نظر معناداری آماری سنجیده می‌شود. در مورد این ابزار فرضیه صفر آن است که «هیچ نوع خوشه‌بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد»؛ مقدار P-Value بسیار کوچک و نمره استاندارد Z (قدر مطلق آن) بزرگ باشد آنگاه می‌توان فرضیه صفر را رد کرد. اگر مقدار شاخص موران بزرگ‌تر از صفر باشد، داده‌ها نوعی خوشه‌بندی فضایی را نشان می‌دهند و اگر مقدار آن کمتر از صفر باشد داده‌ها دارای الگوی پراکنده هستند. پس معنادار بودن شاخص مورد بررسی قرار گرفت؛ بدین صورت که در مواردی که مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بزرگ بود، فرض صفر عدم خوشه‌بندی فضایی رد شد (Lucyanne Santos et al., ۲۰۱۹).

پس از اطمینان از خوشه‌بندی فضایی داده‌های عملکرد، با هدف سنجش رابطه و میزان تأثیر دو متغیر اقلیمی دما و بارش، به عنوان متغیرهای مستقل با عملکرد دو محصول برنج و گندم به‌عنوان متغیرهای وابسته از روش رگرسیون وزنی جغرافیایی استفاده شد. با توجه به اینکه داده‌های عملکرد در طول سال‌های مختلف مربوط به ارقام مختلفی هستند، با هدف حذف اثر عوامل زراعی و به‌نژادی (اختلاف در نوع رقم و مدیریت مزرعه) از تکنیک هموارسازی نمایی داده‌ها استفاده شد. رگرسیون وزنی جغرافیایی بعنوان یک روش آماری فضایی محلی، ابزار قدرتمندی برای مدلسازی فرآیندهای ناهمگون فضایی است که به مشاهدات براساس مختصات مکانی آن‌ها نسبت به نقطه مرجع وزن می‌دهد. این روش معادلات رگرسیون جداگانه‌ای را با استفاده از متغیرهای مستقل و وابسته برای هر مشاهده تولید می‌کند که هر معادله با استفاده از وزن مختلف مشاهدات موجود در مجموعه داده‌ها کالیبره می‌شود. مشاهدات نزدیک وزن بیشتری نسبت به مشاهدات دورتر دارند. برای محاسبه توزیع مکانی وزن‌ها یک پهنای باند مناسب مورد نیاز است. پهنای باند adaptive امتیاز مهم این روش نسبت به OLS است که از توانایی بالایی در آشکارسازی ناهمگونی فضایی برخوردار است. پهنای باند می‌تواند با استفاده از دو روش Aic[۱] یا CV[۲] بهینه و محاسبه شود. روش Aic به اصل حداکثر احتمال برای تعیین پهنای باند مطلوب استوار است. از سوی دیگر به‌دلیل روابط متقابل بین پهنای باند و پیچیدگی مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در این پژوهش از روش Aic استفاده شد (Qin et al., ۲۰۱۵; Sharma et al., ۲۰۱۱; Gocer, ۲۰۱٤; Cai et al., ۲۰۱٤; Zhang et al., ۲۰۱۲).

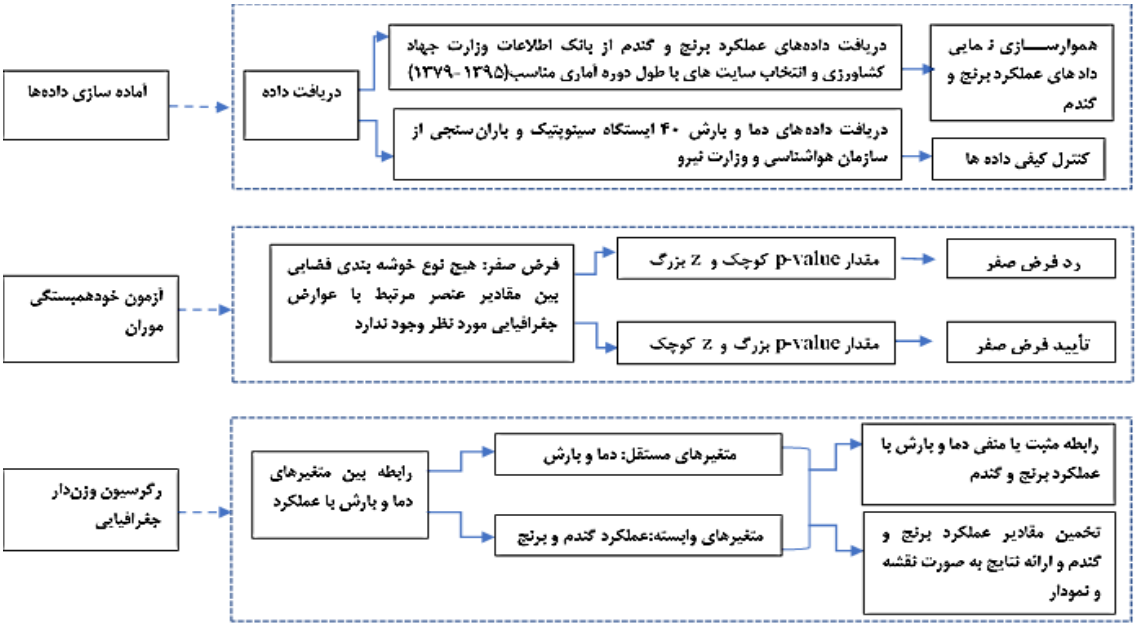
با هدف آزمون دقت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، مقادیر خطای میانگین مربعات[۳]، خطای جذر میانگین مربعات[۴]، متوسط انحراف مطلق[۵] و همینطور مقدار انحراف نسبی آن‌ها محاسبه شد. مقدار انحراف نسبی براساس رابطه (۱) محاسبه شد. در این رابطه Y_e مقدار تخمینی عملکرد محصول (بر حسب کیلوگرم در هکتار) توسط مدل آماری، و Y_a مقدار واقعی عملکرد (بر حسب کیلوگرم در هکتار) هستند.

۱. The Akaike information criterion.
۲. The cross validation.
۳. ean Squar Error.
٤. The Root Mean Squqr Error
٥. The Mean Absolute Deviation-

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

$$RD = (Ye - Ya)/Ya \times ۱۰۰$$ رابطه (۱)

از جمله خروجی‌های مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در شناسایی روابط مکانی عبارت است از: تولید مجموعه‌ای از ضرایب محلی، $R^۲$ محلی، باقیمانده‌های مدل محلی، مقادیر برآورد پارامتر و همینطور خطای استاندارد مقادیر باقیمانده، که در این پژوهش نتایج ضرایب رگرسیون متغیرهای بارش و دما، مقادیر برآورد شده‌ی عملکرد برنج و گندم و خطای استاندارد مقادیر باقیمانده به صورت نقشه و نمودار تهیه شد. در شکل (۳)، روش‌شناسی مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۳. روندنمای روش‌شناسی پژوهش

شرح و تفسیر نتایج

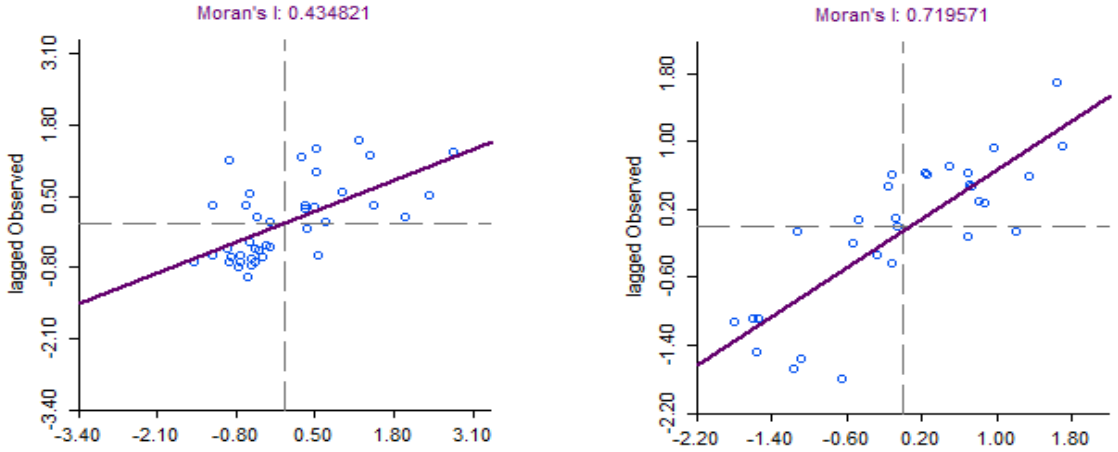
- **شاخص موران (*Moran's I*)**

در جدول (۱) نتایج خروجی تحلیل خودهمبستگی فضایی موران ارائه شده است. با توجه به اینکه مقدار شاخص موران برای عملکرد برنج و گندم مثبت و نزدیک به یک است؛ پس داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی هستند. همچنین با استناد به بالا و مثبت بودن امتیاز استاندارد z و بسیار کوچک بودن مقدار P-Value فرضیه نبود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها رد شده و عملکرد هر دوی برنج و گندم در بعد فضایی دارای خوشه‌بندی با ارزش بالا هستند. چنانچه قرار بود داده‌های عملکرد برنج و گندم به‌طور نرمال در فضا پخش شده باشند، شاخص باید به‌ترتیب مقادیر منفی ۰/۰۲۴۳۹۰- و ۰/۰۳۳۳۳۳- داشتند. همچنین در شکل (۴)، نمودار پراکندگی موران با استفاده از نرم‌افزار GEODA نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود برای بیشتر نواحی ارزش‌ها در چارک‌های بالا-بالا و پایین-پایین واقع شده‌اند. بنابر این توزیع فضایی عملکرد هر دو محصول برنج و گندم در واحدهای شهرستانی مورد پژوهش دارای الگوی خوشه‌ای در مقادیر بالا و پایین هستند، گویای این است که مناطق با عملکرد بالا و پایین محصول، پهنه‌های کاملا مجزایی را تحت پوشش دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول۱. خروجی آماره موران برای عملکرد برنج، گندم

محصول	شاخص موران	شاخص مورد انتظار	واریانس	Z-Score	P-value
برنج	۰/۴۳۴۸۲۱	-۰/۰۲۵۶۴۱	۰/۰۱۱۹۵۷	۴/۱۷۱۰۹۴	۰/۰۰۰۰۰۱
گندم	۰/۷۱۹۵۷۱	-۰/۰۳۳۳۳۳	۰/۰۱۸۹۷۹	۵/۴۸۸۸۶۸	۰۰۰



شکل ۴. نمودار پراکندگی موران برای عملکرد برنج (چپ) و گندم (راست) در سواحل جنوبی دریای خزر

- **رگرسیون وزنی جغرافیایی**

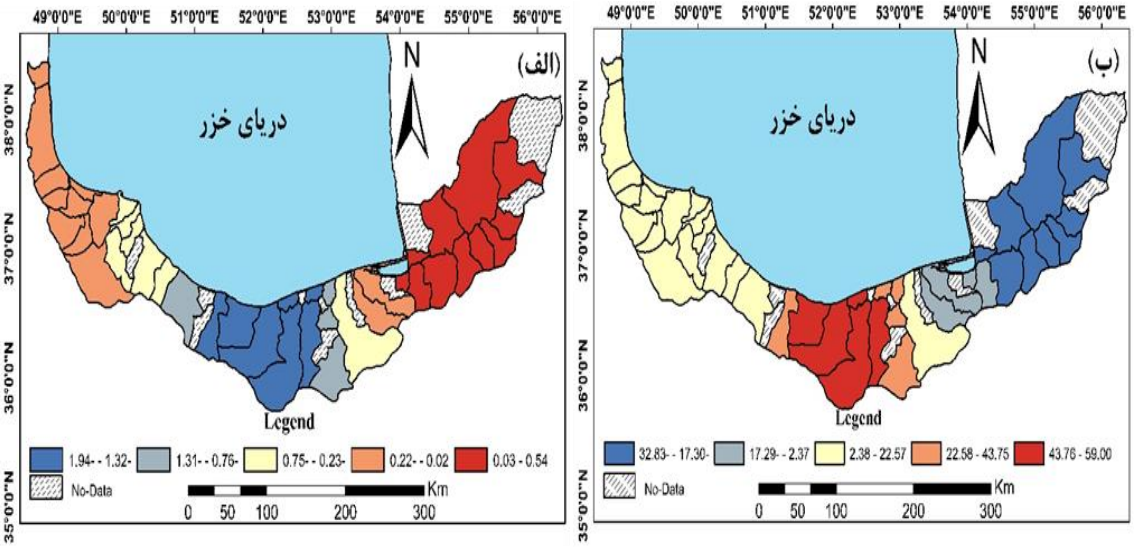
شناخت روابط بین عملکرد و فاکتورهای محیطی مختلف از جمله اقدامات اولیه برای ارزیابی نوسان عملکرد در یک مقیاس منطقه‌ای است. در همین زمینه مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی ابزار قدرتمندی است که با مدلسازی روابط بین متغیرها امکان پیش‌بینی متغیرهای وابسته و نامعلوم و شناخت بهتر عوامل مؤثر بر آن را فراهم می‌سازد. در پژوهش حاضر با هدف شناخت روابط بین عملکرد برنج و گندم به عنوان متغیرهای وابسته و متغیرهای کلیدی دما و بارش به عنوان متغیرهای مستقل از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده شد که نتایج آن در ادامه آمده است.

الف) رابطه متغیرهای دما و بارش با عملکرد برنج

با توجه به نتایج حاصل از ضرایب رگرسیون محلی، ۳۰ درصد تغییرات عملکرد برنج مربوط به متغیرهای بارش و دما است (R^2 =۰/۳۰) و ۷۰ درصد تغییرات دیگر عملکرد برنج مربوط به دیگر پارامترهای آب‌وهوایی و غیرآب‌وهوایی می‌باشد. دامنه نوسان ضرایب رگرسیون متغیر بارش از ۱/۹۴- تا ۰/۵۴۰ است که رابطه بین متغیر بارش و عملکرد برنج را با توزیع مکانی ناهمگون نشان می‌دهد. با توجه به شکل۵ الف، اثر بارش بر عملکرد برنج در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۰۲۰ تا ۰/۵۴۰ مثبت است. اما بخش‌هایی از جنوب‌شرق دریا با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۰۱۶- تا ۰/۳۳۲- مشاهده شد. با توجه به ضرایب رگرسیون متغیر دما، رابطه دما با عملکرد برنج از منفی تا مثبت متغیر است. بیشترین میزان اثر مثبت دما بر عملکرد برنج در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد (شکل۵ب). پس از آن برای جنوب‌غرب منطقه نیز رابطه مثبتی میان دما با عملکرد برنج مشاهده شد. از این‌رو در مناطق مرطوب افزایش در مقدار دما مطلوب‌تر از افزایش مقدار بارش باشد، به‌طوری‌که با افزایش دما میزان عملکرد برنج

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

افزایش می‌یابد. به‌طورکلی برنج یک گیاه روز کوتاه است که متوسط دمای مورد نیاز برای رشد آن باید بین ۲۰ تا ۳۷ درجه سلسیوس باشد. در بخش‌هایی از منطقه که میزان بارش و ابرناکی در آنها زیاد است، فقدان تابش کافی در طول مراحل مختلف رشد برنج موجب کاهش فتوسنتز و به‌تبع آن کاهش وزن دانه‌ها و عملکرد می‌شود. همچنین پایین بودن دما در اوایل فصل زراعی یا آبیاری با آب سرد موجب تأخیر در زمان رسیدن دانه‌ها می‌شود. همچنین نتایج حاکی از رابطه منفی میان متغیر دما با عملکرد برنج در شرق منطقه یعنی استان گلستان و بخش‌های محدودی از جنوب شرق منطقه یعنی شهرستان‌های بهشهر و نکا بود.

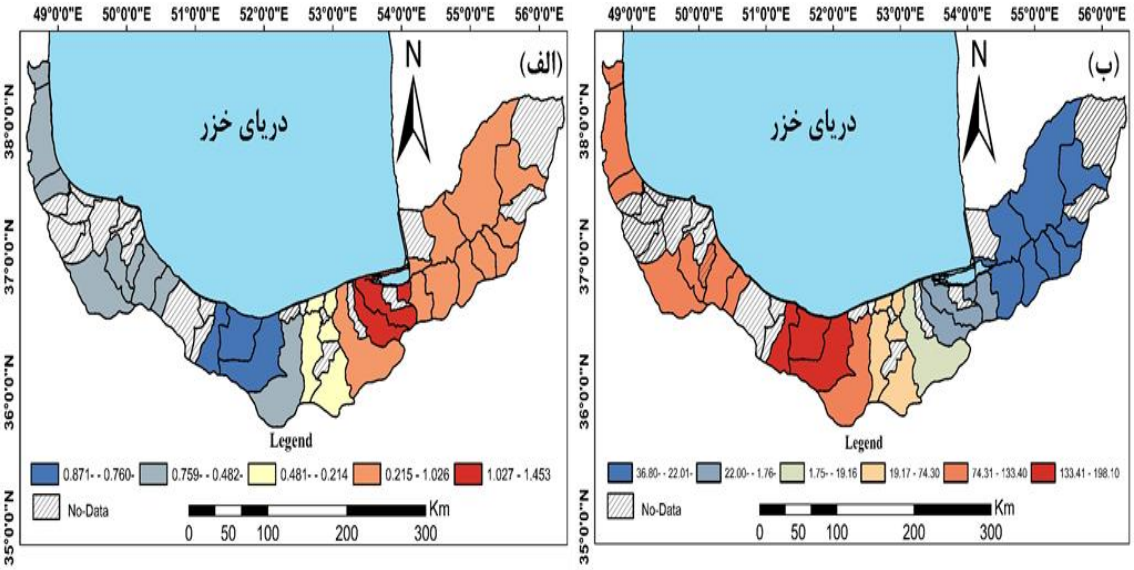


شکل۵. توزیع مکانی ضرایب رگرسیون الف)بارش و ب)دما برای عملکرد برنج در سواحل جنوبی دریای خزر

ب) رابطه متغیرهای دما و بارش با عملکرد گندم

محصول گندم با ضرایب رگرسیون محلی نشان‌دهنده تأثیرگذاری ۵۱ درصدی متغیرهای بارش و دما بر عملکرد گندم (R^2 =۰/۵۱) است. دامنه نوسان ضرایب رگرسیونی متغیر بارش از منفی به مثبت (۱/۴۵ تا ۰/۸۷۱-) گویای توزیع مکانی ناهمگون رابطه بین متغیر بارش و عملکرد گندم است (شکل ۶). اثر متغیر بارش بر عملکرد گندم در مناطق غربی و مرکزی نوار ساحلی منفی با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۴۸۱- تا ۰/۸۷۱- هست. نتایج گویای رابطه مثبت بارش با عملکرد گندم در شرق و جنوب‌شرق منطقه با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۰۲۴ تا ۱/۴ هست. در شهرستان‌های ساری و قائم‌شهر افزایش بارش به‌ویژه در مرحله رشد زایشی نقش بارز و قابل توجهی بر افزایش عملکرد گندم دارد. به طور کلی میزان بارش در سواحل جنوبی دریای خزر به‌تدریج از غرب به شرق کاسته می‌شود، به‌طوری‌که در ایستگاه‌های واقع در شرق به طور قابل‌توجهی از مقدار بارش کاسته می‌شود و اختلاف زیادی را با منطقه غرب و جنوب‌غرب سواحل دریای خزر نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۶ (ب)، متغیر دما رابطه مثبتی با عملکرد گندم به‌ویژه در بخش‌های غربی و مرکزی سواحل دریای خزر دارد. با توجه به بارش فراوان، تعداد ساعات آفتابی در این مناطق کم است و بدین‌ترتیب اثر تابش و دما بر عملکرد گندم در این مناطق میزان اثر مثبت بیشتری دارد. همچنین نتایج گویای رابطه منفی دما با عملکرد گندم در شرق و جنوب‌شرق منطقه است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

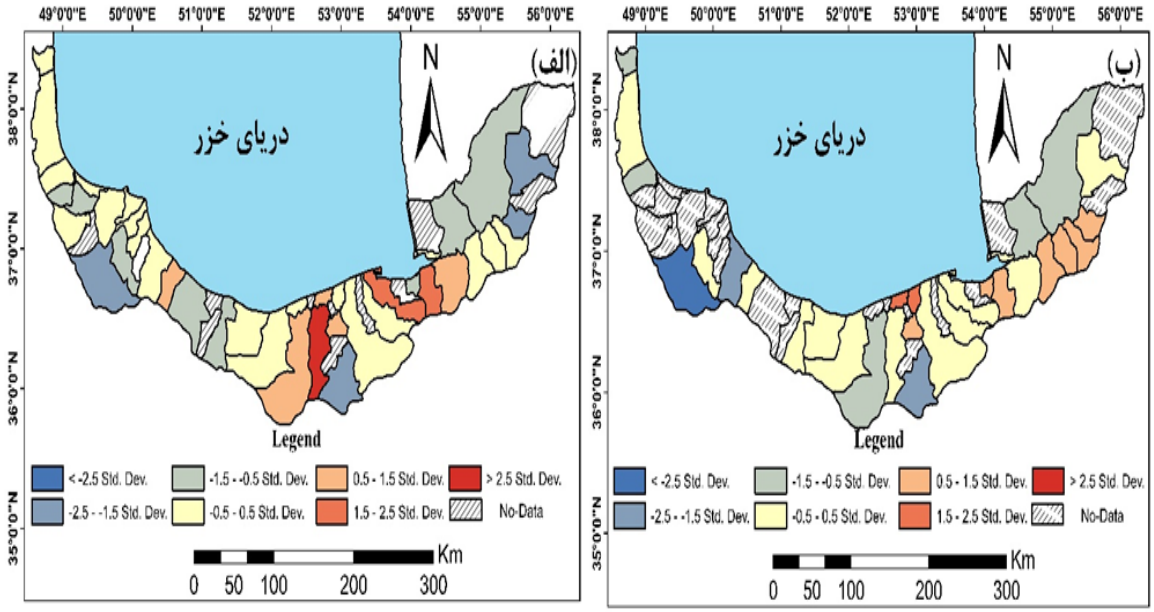


شکل۶. توزیع مکانی ضرایب رگرسیون الف)بارش و ب)دما برای عملکرد گندم در سواحل جنوبی دریای خزر

ج) تخمین عملکرد برنج و گندم با رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

در شکل (۷) نقشه باقیمانده‌های استاندارد شده عملکرد برنج و گندم نشان داده شده است. مقادیر باقیمانده تفاضل بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورد شده است. در شکل(۷) مقادیر استاندارد باقیمانده بیشتر از ۲(۲Std.Dev<) و کمتر از ۲-(۲Std.Dev->) نشان می‌دهد که در این مناطق عملکرد برنج و گندم به‌ترتیب کمتر و بیشتر از مقدار نرمال منطقه برآورد شده است. مقادیر باقیمانده بین ۰.۵-۰.۵Std.Dev- بیانگر این است توزیع مقادیر باقیمانده نزدیک به توزیع نرمال بوده و در این مناطق مدل بهتری برازش شده است. با توجه به شکل۷ الف، برخی شهرستان‌ها در شرق و جنوب غرب منطقه مقادیر برآورد شده‌ی عملکرد برنج بیشتر از مقادیر واقعی بود و خطای استاندارد مقادیر باقیمانده در آنها از ۳۸۳/۳، تا ۴۹۰/۳ می‌باشد. با توجه به شکل۵ ب، مقادیر استاندارد باقیمانده برای بخش‌هایی از جنوب‌شرق مثبت و بالای ۲ با مقدار خطای استاندارد بالای ۵۵۲ هستند. در حالی‌که در شهرستان‌های جنوبی و چسبیده به ارتفاعات البرز مقادیر برآورد شده‌ی عملکرد گندم بیش از مقادیر واقعی با میزان خطای استاندارد ۴۴۸ و بالاتر مشاهده شد. مقادیر باقیمانده حدود ۴۸ درصد از مناطق زیر کشت برنج و ۴۰ درصد از مناطق زیر کشت گندم نرمال بود، یعنی میانگین اختلاف بین باقیمانده‌ها و مقادیر واقعی در این مناطق نزدیک به صفر می‌باشد و مدل بهتری برازش شده است. از این رو می‌توان گفت که در این مناطق که توزیع باقیمانده به توزیع نرمال نزدیک است، روابط رگرسیونی خوبی بین متغیرهای اقلیمی دما و بارش با عملکرد برنج و گندم حاکم می‌باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۷. مقادیر باقیمانده‌های استاندارد شده الف)عملکرد برنج و ب)عملکرد گندم در سواحل جنوبی دریای خزر

- **اعتبارسنجی مدل**

برای ارزیابی دقت و اعتبار روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، مقدار خودهمبستگی فضایی موران برای مقادیر برآورد شده‌ی عملکرد برنج و گندم محاسبه شد و همچنین از روش‌های خطای میانگین مربعات، خطای جذر میانگین مربعات و متوسط انحراف مطلق و همینطور انحراف نسبی استفاده شد که نتایج آن در جدول‌های ۲ و۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مقادیر موران برای عملکرد برنج و گندم برآورد شده توسط مدل (به‌ترتیب ۰/۷۳۶۶۷۸ و ۰/۶۸۱۱۸۱) به‌ویژه برای گندم، تقریباً نزدیک مقادیر موران عملکرد برنج و گندم واقعی است (به‌ترتیب ۰/۴۳۴۸۲۱و ۰/۷۱۹۵۷۱) که نشان می‌دهد الگو و ساختار مکانی مقادیر عملکرد واقعی و برآورد شده مشابه هستند. به‌منظور درک بهتر دقت و اعتبار مدل، مقادیر خطا (جدول۲) و انحراف نسبی برای سه شهرستان نمونه جویبار(بخش مرکزی)، آق قلا(شرق منطقه) و رشت (جنوب‌غرب) (جدول۳) عملکرد برنج و گندم محاسبه شد که همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر پایین خطا و انحراف نسبی عملکرد برنج، نشاندهنده دقت قابل توجه روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای این محصول در مقایسه گندم است (جدول‌های ۲ و ۳). به‌طوریکه برای برنج کمترین میزان انحراف نسبی (۰٪) در شهرستان فومن مشاهده شد و مقدار برآورد شده به میزان ۳۸۷۸ کیلوگرم در هکتار کاملا مشابه با مقدار واقعی عملکرد برنج این شهرستان به میزان ۳۷۹۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین برای درک بهتر رابطه بین مقادیر واقعی و برآورد شده ، نمودار خطی مقادیر واقعی و برآورد شده‌ی عملکرد برنج و گندم تهیه شد (شکل ۸). با توجه به شکل مذکور اختلاف مقادیر عملکرد برآورد شده‌ی برنج نسبت به واقعی از ۲۴- تا ۹۹۶- و از ۷ تا ۱۲۶۵کیلوگرم در هکتار در نوسان بوده است. در رابطه با گندم مقادیر برآورد شده عملکرد از ۳۰- تا ۱۱۹۸- و از ۷۷ تا ۱۱۲۵ کیلوگرم در هکتار با مقادیر واقعی اختلاف داشتند. نتایج حاصل از تخمین عملکرد برنج و گندم به‌وضوح دقت قابل قبول روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را در تخمین عملکرد به‌خصوص در نواحی که روابط رگرسیونی خوبی بین متغیرهای اقلیمی دما و بارش با عملکرد حاکم بود، نشان داد.

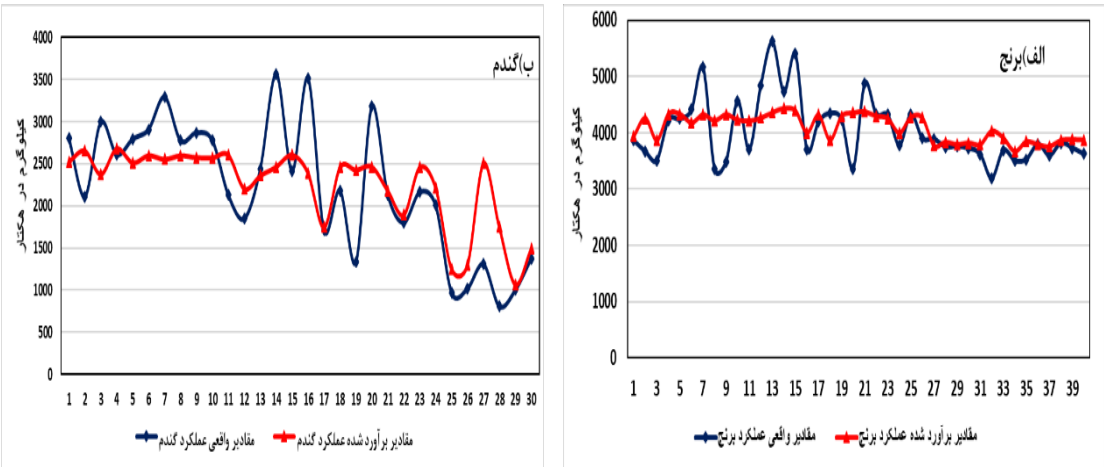
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول ۲. نتایج ارزیابی خطای روش رگرسیون وزن‌دار برای عملکرد برنج و گندم

معیارهای ارزیابی خطا	برنج	گندم
MAD	۳۴۶/۷	۴۱۵/۷
RMSE	۴۷۴	۵۴۵/۳
MAPE	۸/۶	۲۲/۵
Moran’s I	۰/۷۳۶۶۷۸	۰/۶۸۱۱۸۱

جدول ۳. انحراف نسبی مقادیر عملکرد برنج، گندم به درصد به‌منظور اعتبارسنجی روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

محصول	برنج			گندم		
شهرستان	آزادشهر (استان گلستان)	نور (استان مازندران)	آستارا (استان گیلان)	آزادشهر (استان گلستان)	نور (استان مازندران)	آستارا (استان گیلان)
مقدار واقعی	۳۸۶۰	۴۳۱۸	۳۸۹۰	۲۸۰۱	۲۱۳۳	۹۷۰
مقدار تخمین شده	۳۹۳۷	۴۲۵۶	۳۷۷۲	۲۵۲۸	۲۱۸۱	۱۲۴۹
انحراف نسبی(٪)	۲	-۱	-۳	-۱۰	۲	۲۹



شکل۸. مقایسه مقادیر برآورد شده و واقعی عملکرد برنج و گندم در ناحیه خزری با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

خروجی این مطالعه در دو بخش مورد بحث می‌باشد. در رابطه با واکاوی تغییرات و الگوی توزیع مکانی عملکردهای برنج و گندم نتایج گویای آن است که عملکرد برنج از شرق به غرب منطقه ساحلی دریای خزر افزایش می‌یابد. این افزایش عملکرد متأثر از افزایش روزهای بارش، میزان بارش و رطوبت نسبی بالای مناطق غربی منطقه است. بنابراین تفاوت‌های مکانی موجود در دما و بارندگی اثر معناداری در عملکرد محصولات برنج و گندم دارد.

نتایج تحلیل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای عملکرد برنج، تأثیر مثبت بارش را در استان گلستان با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۰۲۰ تا ۰/۵۴۰ نشان داد که علت آن را می‌توان به پایین بودن متوسط بارش این منطقه (۶۰۰ تا ۸۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

میلی‌متر) از آستانه بارشی مورد نیاز برای برنج (۱۰۰۰ میلی‌متر) نسبت داد. بیشترین میزان اثر منفی بارش بر عملکرد برنج در بخش‌های قابل‌توجهی از استان مازندران مشاهده شد. پس از استان مازندران، در استان گیلان نیز اثر منفی بارش با شدت کمتری مشاهده شد. به طور کلی استان گیلان علی‌رغم اینکه مرطوب‌ترین استان کشور است، پراکنش نامناسب زمانی بارش دارد، به‌طوری‌که بارش مطابق با فصل کشت برنج نمی‌باشد. در همین زمینه فرجزاده و همکارن (۱۳۹۶) در پژوهش خود به اثر مثبت بارش ماه دسامبر بر عملکرد برنج استان گیلان تأکید نمودند. با توجه به ضرایب رگرسیون متغیر دما، رابطه دما با عملکرد برنج از منفی تا مثبت متغیر بود. بیشترین میزان اثر مثبت دما بر عملکرد برنج در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه واقع در استان مازندران و پس از آن استان گیلان مشاهده شد. همچنین نتایج حاکی از رابطه منفی میان متغیر دما با عملکرد برنج در استان گلستان و بخش‌های محدودی از شرق استان مازندران(بهشهر و نکا) بود. در همین زمینه بخشنده و همکاران(۱۳۹۶)به اثر مثبت افزایش دما بر روی عملکرد برنج در استان مازندران تأکید نمودند و آرتی رانی و ماراگاتام (Art Rani and,۲۰۱۳) و دوکوتا و همکاران (Devkota et al., ۲۰۱۳) در پژوهش خود اظهار داشتند که افزایش دما با اثرگذاری منفی موجب کاهش عملکرد برنج می‌شود.

رابطه بین متغیر بارش با عملکرد گندم از منفی تا مثبت متغیر بود. اثر متغیر بارش بر عملکرد گندم در استان گیلان و همچنین مناطق غربی و مرکزی استان مازندران منفی با دامنه ضرایب رگرسیون ۰/۴۸۱- تا ۰/۸۷۱- منفی بود. همچنین نتایج حاکی از رابطه مثبت بارش با عملکرد گندم در استان گلستان و شهرستان‌های بهشهر، نکا، ساری، قائم‌شهر در شرق استان مازندران بود. متوسط بارش دریافتی در استان‌های گیلان و مازندران بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد و از این‌رو اثر منفی متغیر بارش بر عملکرد گندم که به ۳۰۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر بارش در طول فصل رشد خود نیاز دارد، در این نواحی قابل قبول می‌باشد. در منطقه ساحلی دریای خزر دو روند تغییرات مکانی غربی ـ شرقی و شمالی ـ جنوبی در هر دوی دما و بارش دیده می‌شود. تغییرات فضایی شرقی ـ غربی بارش ناشی از الگوی ورودی سامانه‌های بارشی برون منطقه‌ای و سینوپتیک مقیاس است. در جنوب غربی نزدیک ساحل حاکمیت جبهه نسیم دریا و همپنین شکل‌گیری جبهه‌های سرد و گرم ناشی از برخورد سامانه‌های شرقی (از منشأ توده‌های هوای سرد و سامانه‌های مهاجر غربی ورودی از قفقاز و شمال دریای سیاه سبب شکل‌گیری هسته پربارش نزدیک ساحل در این منطقه شده است. در مناطق شرقی نوار ساحلی با نبود شرایط ایجاد جبهه‌های نسیم دریا و غیر، هسته بارشی شرق منطقه در منطقه دور از ساحل و در ارتفاعات شکل می‌گیرد. پس تفاوت اساسی در روند تغییرات بارشی در راستای شمالی ـ جنوبی در دو سمت غرب و شرق دریا دیده می‌شود. در جنوب غرب منطقه با فاصله از ساحل بشدت از میزان بارش کاسته شده، برعکس در شرق منطقه افزایش بارش در دور از ساحل با افزایش ارتفاع در دامنه‌های شمالی کوه‌ها دیده می‌شود. در همین راستا مساعدی و کاهه (۱۳۸۷) به تأثیرپذیری کمتر عملکرد گندم در سطح استان گلستان از بارندگی‌های هر ماه و یا نوسانات سالانه بارش در مقایسه با محصول جو تأکید نمودند و کوچکی و همکاران (۱۳۹۶) با اشاره به تأثیر کم بارندگی و همینطور عامل مدیریت آبیاری بر روی عملکرد گندم در استان‌های حاشیه دریای خزر، به کاربرد کود دامی به عنوان مؤثرترین عامل در کاهش خلأ عملکرد گندم تأکید نمودند. همچنین نتایج حاکی از رابطه منفی دما با عملکرد گندم در استان گلستان و پس از آن شهرستان‌های نکا و بهشهر در استان مازندران و رابطه مثبت دما با عملکرد گندم در دیگر مناطق بود. براساس نتایج پژوهش کابوسی و مجیدی (۱۳۹۶) به تناسب کاهش دما به سمت جنوب استان گلستان بر میزان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

عملکرد گندم افزوده می‌شود. از این رو به نظر می‌رسد که افزایش دما در استان گلستان اثر نامطلوب بر عملکرد گندم داشته باشد.

از دیگر نتایج شایان توجه رابطه ضعیف میان بارش و عملکرد برنج در مقایسه با گندم بود که در همین زمینه بت و همکاران (Bhatt et al., ۲۰۱۳) نیز در پژوهش خود به رابطه ضعیف میان بارش و عملکرد گندم و برنج آبی اشاره نمودند. با توجه به یافته‌های به‌دست آمده می‌توان گفت که به‌نظر می‌رسد در مناطق مرطوبی مانند استان‌های حاشیه دریای خزر، تأثیر دما بر عملکرد برنج و گندم بیش از متغیر بارش باشد. همچنین نتایج نشان داد که، روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی می‌تواند ابزار مناسبی برای برآورد عملکرد، به‌ویژه محصول برنج در منطقه‌ی خزری باشد. تانگ و همکاران (Tong et al., ۲۰۱۳) عرفانیان و همکاران (۱۳۹۲) و قربانی (۱۳۹۱) نیز در پژوهش خود، به کارایی و دقت قابل توجه روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی تأکید نمودند. به طور کلی با توجه به نتایج حاصل از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی دما مهمترین عامل آب و هوایی مؤثر بر تعیین عملکرد پتانسیل گندم است. در همین زمینه کوچکی و همکاران (۱۳۹۶) نیز تأکید نمودند که دما و تابش مهمترین عوامل آب و هوایی مؤثر بر عملکرد پتانسیل استان‌های خزر بود. هوچمن و همکاران (Hochman et al., ۲۰۱۲) با کمی کردن پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در کشور استرالیا گزارش کردند که بارندگی مهمترین عامل آب و هوایی مؤثر بر تعیین عملکرد پتانسیل گندم است.

نتیجه گیری

شناخت روابط بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد محصولات کشاورزی برای ارزیابی بهتر امنیت غذایی، سیاستگذاری و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت منابع آب و زمین مهم است. از این رو در این رابطه بین متغیرهای آب و هوایی و عملکرد برنج و گندم با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در طول دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۵مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج حاصل از شاخص موران به‌ترتیب به میزان ۰/۴۳۴۸ برای برنج و ۰/۷۱۹۵ برای گندم مشخص شد که عملکرد برنج و گندم در طول دوره آماری مورد مطالعه دارای الگوی خوشه ای می‌باشد

در نواحی شرقی و جنوب‌شرق منطقه متوسط بارش پایین‌تر از آستانه مورد نیاز برای برنج است که موجب اثر مثبت بارش در این نواحی شده است. آستانه بارشی مطلوب برای کشت برنج به طور متوسط ۱۲۰۰ میلی‌متر است و در مناطقی که میزان بارش کمتر از ۷۰۰ میلی‌متر باشد، کشت برنج به صورت دیم دچار اختلال خواهد شد. متوسط بارش سالانه در شرق دریا حدود ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد و بدین‌ترتیب بدون استفاده از سیستم‌های آبیاری محصول خوبی در این مناطق به‌دست نمی‌آید. این در حالی است که برای ٪۶۶ دیگر از منطقه مورد مطالعه ضرایب بارش منفی بود که نشان می‌دهد متوسط بارش در این نواحی نزدیک به مقدار بهینه برای رشد برنج می‌باشد. کمترین میزان اثر منفی بارش بر عملکرد برنج در اکثر شهرستان‌های غرب تا مرکز نوار ساحلی است. استان گیلان علی‌رغم اینکه مرطوب‌ترین استان کشور است، پراکنش نامناسب زمانی بارش دارد به‌طوری‌که بارش مطابق با فصل کشت برنج نمی‌باشد. به طور کلی کشت برنج در سطح منطقه مورد مطالعه به صورت آبی و تحت سیستم آبیاری غرقاب می‌باشد. با توجه به میزان بارش دریافتی منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد برنج، تنها ۳۰ تا ۵۰ درصد نیاز آبی برنج از طریق بارش تأمین می‌شود و مابقی باید از طریق سیستم‌های آبیاری تأمین شود. ممکن است رابطه عملکرد برنج با بارش به دلیل آبی بودن کشت آن و وجود سیستم‌های آبیاری متنوع تحت تأثیر قرار گرفته باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

گندم برای اینکه دارای یک عملکرد معمولی باشد، به طور متوسط نیاز به ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر بارش در طول فصل رشد خود دارد، درصورتی‌که بارش کمتر از این مقدار باشد به‌عنوان یک عامل محدودکننده برای رشد گندم محسوب می‌شود. مناطق شرق دریای خزر از قطب‌های مهم گندم کشور است که میزان بارش در نواحی معتدل آن ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر و در نواحی نیمه خشک شمالی آن در برخی موارد به ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیمتر می‌رسد. از سوی دیگر توزیع بارش بیش از میزان بارش بر عملکرد گندم به‌ویژه در استان گلستان اثر مثبت دارد. در این منطقه وقوع بیشینه بارش همزمان با شروع کشت گندم موجب آبشویی عناصر غذایی خاک می‌شود و توزیع زمانی نامناسب و کاهش بارش در انتهای فصل رشد گندم ممکن است موجب چروکیدگی دانه و کاهش عملکرد شود. در چنین شرایطی استفاده از سیستم‌های آبیاری نقش قابل‌توجهی بر کاهش تنش خشکی می‌گذارد. در مجموع نتایج حاکی از آن بود که در بخش‌های غربی و مرکزی به علت بارش فراوان و تعداد ساعات آفتابی کم افزایش در مقدار دما مطلوب‌تر از افزایش مقدار بارش است و در نواحی شرقی و جنوب‌شرق منطقه که میزان بارش آن پایین‌تر از آستانه مورد نیاز برنج و گندم است افزایش در میزان بارش مطلوب‌تر است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

منابع

بخشنده، اسماعیل؛ ناهید فتحی، همت‌اله پیردشتی و مرتضی نصیری. ۱۳۹۶. اثر دما و شدت تشعشع بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در شرایط اقلیمی مازندران. *به زراعی کشاورزی*، **۱۹(۱)**: ۱۶۳-۱۷۶.

جولایی، رامتین؛ حمیدرضا یوسف‌زاده فرد جهرمی و فرهاد شیرانی بیدآبادی. ۱۳۹۲. بررسی توان رقابتی و حمایتی تولید پنبه و برنج در استان گلستان. *پژوهش‌های تولید گیاهی*، **۲**: ۲۱۶-۱۹۷.

عرفانیان، مهدی؛ مریم حسین‌خواه و احمد علیجانپور. ۱۳۹۲. مقدمه‌ای بر روش‌های رگرسیون چندمتغیره OLS و GWR در مدلسازی مکانی اثرات کاربری اراضی بر کیفیت آب. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، **۱**: ۳۳-۳۹.

فرجزاده اصل، منوچهر؛ زهرا کاظم‌نژاد و رضا برنا. ۱۳۹۶. تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول برنج با رویکرد تغییرات اقلیمی(مورد مطالعه: استان گیلان). *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*، **۳۸**: ۶۴-۴۸.

قربانی، خلیل. ۱۳۹۱. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی: روشی برای ترسیم نقشه‌های هم‌بارش در استان گیلان. *نشریه آب و خاک*، **۳**: ۷۴۳-۷۵۲.

کوچکی، علیرضا؛ مهدی نصیری محلاتی، حامد منصوری و روح‌الله مرادی. ۱۳۹۶. اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر پتانسیل و خلأ عملکرد گندم در ایران با استفاده از مدل WOFOST. *پژوهش‌های زراعی ایران*، **۲**: ۲۵۶-۲۴۴.

مساعدی، ابوالفضل و مهدی کاهه. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر بارندگی بر عملکرد گندم و جو در استان گلستان. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، **۴**:۲۰۶-۲۱۸.

موسوی بایگی، سید محمد؛ یاور پورمحمد، امین علیزاده، علی نقی ضیایی و محمد بنایان اول. ۱۳۹۶. برآورد بهره‌وری آب محصولات عمده دشت نیشابور و بهینه‌سازی سطح زیر کشت محصولات. *نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی*، **۱**: ۱۲۶-۱۱۲.

منصوری، حامد؛ علیرضا کوچکی، مهدی نصیری محلاتی و روح‌اله مرادی. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی وضعیت توسعه کشاورزی پایدار در ایران و ارائه راهبردهای پایداری. دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۴: ۱۹۶-۱۷۱.

Arthi Rani, B and N. Maragatham. ۲۰۱۳. Effect of elevated temperature on rice phenology and yield. Indian journal of science and technology, ۸ **(٦)**: ۲۰٤۲-۲۰٤۱.

Bhatt, D., Sh. Maskey, MS. Babel, S. Uhlenbrook and K. Prasad. ۲۰۱۳. Climate trends and impacts on crop production in the Koshi River basin of Nepal. Regional Environmental Change, ۱٤:۱۲۹۱-۱۳۰۱.

Cai, R., D. Yu and M. Oppenheimer.۲۰۱٤. Estimating the Spatially Varying Responses of Corn Yields to Weather Variations using Geographically Weighted Panel Regression. Journal of Agricultural and Resource Economics, ۲:۲۳۰–۲۵۲.

Challinor A J., JM. Slingo, TR. Wheeler, PQ. Craufurd and DIF. Grimes. ۲۰۰۳. Towards a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system: determination of the working spatial scale. J. Appl. Meteorol, ٤۲: ۱۷۵–۱۹۲.

Devkota, K. P., A. M. Manschadi, M. Devkota, J. P. A. Lamers, E.Ruzibaev, O. Egamberdiev, E. Amiri and P. L. G. Vlek. ۲۰۸۳. Simulating the impact of climate change on rice phenology and grain yield in irrigated drylands of central Asia. J. Appl. Meteor. Climatol, ۲۲: ۲۰۳۳–۲۰۲۰.

Dixit, P.N., R. Telleria, A.N. Alkhatib and S.F. Allouzi.۲۰۱۸. Decadal analysis of impact of future climate on wheat production in dry Mediterranean environment: A case of Jordan. Science of the Total Environment, ٦۱۰-٦۱۱:۲۹-۲۳۳.

Gaydon,D.S., B. Singh, E. Wang, P.L. Poulton, B. Ahmad, F. Ahmed, S. Akhter, I. Ali, R. Amarasingha, A.K. Chaki, C. Chen, B.U. Choudhury, R. Darai, A. Das, Z. Hochman, H.Horan, E.Y. Hosang, P. Vijaya Kumar, A.S.M.M.R. Khan, A.M. Laing, L. Liu, M.A.P.W.K. Malaviachichi, K.P. Mohapatra, M.A. Muttaleb, B. Power, M.A. Radanielson, G.S. Rai, M.H. Rashid, W.M.U.K. Rathanayake, M.M.R. Sarker, D.R. Sena, M. Shamim, N, Subash, A. Suriadi, L.D.B. Suriyagoda, G. Wang, J. Wang, R.K. Yadav and C.H Roth.۲۰۱۷. Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia. Field Crops Research, ۲۰٤: ۵۲–۷۵.

Gocer, K. ۲۰۱٤. Analysis of changes in grain production on fruit and vegetable cultivation area in Turkey through geographically weighted regression. Scientific Research and Essays, ۱۲: ۵٤۰-۵٤۷.

Houshyar, E., X.F.Wu and G.Q.Chen. ۲۰۱۸. Sustainability of wheat and maize production in the warm climate of southwestern Iran: An emergy analysis. Journal of Cleaner Production, ۱۷۲: ۲۲٤٦-۲۲۵۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

Jing, ZH., J. Zhang, Ge. Zhang-ming, X.Li-Wei, H.Shu-qing, SH.Chen and K.Fan-tao.۲۰۲۱. Impact of climate change on maize yield in China from ۱۹۷۹ to ۲۰۱٦. Journal of integrative Agriculture, ۲۰: ۲۸۹-۲۹۹.

Li Liu,D., K.Zeleke, B. Wang, I. Macadam, F. Scott and R. Martin. ۲۰۱۷. Crop residue incorporation can mitigate negative climate change impacts on crop yield and improve water use efficiency in a semiarid environment. Europ. J. Agronomy, ۸۵: ٥۱–٦۸.

Li S, T. Wheeler, A. Challinor, E. Lin, H. Ju and Y. Xu. ۲۰۱۰. The observed relationships between wheat and climate in China. Agricultural and Forest Meteorology, ۱٥۰:۱٤۱۲-۱٤۱۹.

Lobell, D. B and C. B. Field. (۲۰۰۷). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environmental Research Letters, ۲:۱-۷.

Lucyanne Santos, A.M., E. Eyji Sano, E.Luis Bolfe, J.F.Nascimento Santos, J.Sales dos Santos and F.Brito Silva. ۲۰۱۹. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (۱۹۹۰–۲۰۱٥). Land Use Policy, ۸۰: ٥۷-٦۷.

Moreno, J., L. Chamorro, J. Izquierdo, R, Masalles and FX Sans. ۲۰۰۸. Modelling within-field spatial variability of crop biomass – weed density relationships using geographically weighted regression. Weed Research, ٤۸:٥۱۲–٥۲۲.

Olgun, M and S. Erdogan. ۲۰۰۹. Modeling Crop Yield Potential of Eastern Anatolia by Using Geographically Weighted Regression. Archives of Agronomy and Soil Science, ٥٥:۲٥٥–۲٦۳.

Qin, L., P. Duan, Y, Wang and H. He. ۲۰۱٥. Spatiotemporal Correlations between Water Footprint and Agricultural Inputs: A Case Study of Maize Production in Northeast China. Water, ۷: ٤۰۲٦-٤۰٤۰.

Raj Padakandla, S.۲۰۱٦. Climate sensitivity of crop yields in the former state of Andhra Pradesh, India. Ecological Indicators, ۷۰: ٤۳۱–٤۳۸.

Sharma, V., A. Irmak, I. Kabenge and S. Irmak.۲۰۱۱. Application of GIS and Geographically Weighted Regression to Evaluate the Spatial Non-Stationarity between Precipitations vs. Irrigated and Rainfed Maize and Soybean Yields. Biological Systems Engineering, ۳:۹٥۳-۹۷۲.

Shrestha, S., S. Boonwichai, M. Babel, S. Weesakul and A. Datta. ۲۰۱۹. Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin. Thailand. Science of the Total Environment, ٦٥۲: ۱۸۹-۲۰۱.

Tong, x., Y. Yang and X. Zhu. ۲۰۱۳. A geographically weighted model of the regression between grain production and typical factors for the Yellow River Delta. Mathematical and Computer Modelling, ٥۸: ٥۸۲–٥۸۷.

Zhang, Y., S.H. Su and R. Xiao. ۲۰۱۲. multi-scale analysis of spatially varying relationships between agricultural landscape patterns and urbanization using geographically weighted regression. Applied Geography, ۳۲: ۳٦۰-۳۷٥.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]