تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول برنج با رویکرد تغییرات اقلیمی (مورد مطالعه: استان گیلان)

زهرا کاظم نژاد
دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
منوچهر فرج زاده اصل[1]
استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
رضا برنا
دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۸/۳۰ تاریخ پذیرش:۱۳۹۶/۱۲/۷

چکیده
تغییر اقلیم باعث تغییراتی در الگوهای بارش و دما و مقدار آن‌ها می‌شود و این تغییرات می‌تواند عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد. برنج یکی از محصولات استراتژیک جهان است که تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار دارد. پژوهش حاضر در استان گیلان به‌منظور مطالعه تغییرپذیری میزان عملکرد برنج با توجه به میزان تغییر پارامترهای اقلیمی ازجمله دما و بارش صورت گرفته است که برای همین منظور از داده‌های هفت ایستگاه هواشناسی استفاده شد. پارامترهای اقلیمی مذکور برای دوره رویش برنج از اکتبر تا ژوئن، برای دوره آماری از سال ۲۰۱۶-۱۹۹۷ بر مبنای دسترسی به داده‌های میزان عملکرد برنج در نظر گرفته شد. برای هر ایستگاه، میزان ضریب همبستگی بین عملکرد برنج و پارامترهای اقلیمی محاسبه شد و نهایتاً مدل رگرسیونی برای ایستگاه‌ها به‌منظور شناسایی پارامترهای اقلیمی مؤثر در برآورد میزان عملکرد برنج محاسبه شد. پنج ایستگاه منطقه دارای مدل رگرسیونی معنی‌دار بوده و سایر ایستگاه‌های منطقه در دوره آماری فاقد مدل می‌باشند. پیرو انجام مدل نقطه‌ای، مدل منطقه‌ای عملکرد نیز برای استان محاسبه شد. در مدل منطقه‌ای پارامترهای دمای حداقل مطلق ماه آوریل، دمای حداکثر مطلق ماه فوریه و مجموع بارش ماه دسامبر در میزان عملکرد برنج بیشترین تأثیر را دارند. در نهایت سناریوهای پیش‌بینی برای مدل منطقه‌ای و ایستگاه‌هایی که دارای مدل بودند، محاسبه‌شده و میزان تغییرپذیری عملکرد برنج با توجه به تغییر پارامترهای اقلیمی از میانگین نرمال محاسبه شد. نتیجه نشان می‌دهد که عملکرد محصول برنج در شهرستان‌های استان گیلان بر اساس تغییرات داده‌های بارش و دما بین ۴۴۱۷/۴۳ تا ۴۶۳۶/۱۶ کیلوگرم در هکتار در مدل منطقه‌ای قابل‌تغییر است.

واژگان کلیدی: تغییرپذیری، عملکرد، برنج، تغییر آب‌وهوا، گیلان.

[1]. نویسنده مسئول ۰۹۱۲۱۷۲۳۱۲٤ Email: farajzam@modares.ac.ir

مقدمه

تغییر جهانی اقلیم یکی از مواردی است که در دهه‌های اخیر توجه محققان را به خود معطوف کرده است و بسیاری از مطالعات اخیر حاکی از تأثیر چشم‌گیر انسان بر اقلیم جهانی است. نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام‌شده است همگی مؤید بروز این پدیده در کشور بوده‌اند (مرادی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر تولید محصولات زراعی مستلزم برآورد وضعیت اقلیمی آینده است (کوچکی و محلاتی، ۱۳۹۵). اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی به‌ویژه در بخش تولید، حاکی از پیامدهای نامطلوبی است که در آینده این بخش را فرا خواهد گرفت (Ackerman & Stanton,2013). در بسیاری از مناطق جهان تقاضای آب در بخش‌های صنعتی، کشاورزی و شرب از عرضه طبیعی آب فراتر رفته است. بخش کشاورزی مسئول ۷۰ درصد برداشت آب جهانی است و سهم این بخش از مصرف آب در آفریقا ۸۲ درصد، آمریکا ۴۹ درصد، آسیا ۸۱ درصد و در اروپا ۲۲ درصد است. بر اساس سی و چهارمین گزارش FAO سهم بخش کشاورزی ایران از مصرف آب ۹۲,۲ درصد است (شرقی و همکاران، ۱۳۹۵). تغییر در تاریخ کاشت، طول دوره رشد، میزان تبخیر تعرق از سطح گیاهان و باران مؤثر از جمله آثار تغییر اقلیم می‌باشند که می‌تواند تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به افزایش سرانه مصرف آب در کشور، محدودیت منابع آبی، افزایش جمعیت، نیاز روزافزون کشور به امنیت غذایی و پائین بودن راندمان آبیاری در مزارع، بازنگری روش‌های آبیاری امری اجتناب‌ناپذیر بوده و در این راستا هرگونه تلاش در بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب و به‌ویژه زراعت برنج به‌عنوان پرمصرف‌ترین گیاه و رایج‌ترین کشت در شمال کشور که بیش از ۷۵ درصد سطح زیر کشت برنج کشور را تشکیل می‌دهد، قابل‌توجه است. برنج از یک‌سو به سبب قرارگیری در رده محصولات استراتژیک و از سوی دیگر وابسته بودن اقتصاد بخش قابل‌توجهی از جمعیت ساکن در مناطق شمالی کشور به کشت آن، نیازمند مدیریت جدید درزمینهٔ آبیاری و مصرف آب با توجه به میزان آب در دسترس و تأثیرات عوامل محیطی و اقلیمی بر روی منابع آبی سطحی و زیرزمینی است (شیداییان و همکاران، ۱۳۹۳). اکثر محصولات کشاورزی با افزایش دما با افت عملکرد و رشد مواجه می‌شوند. رویدادهایی مانند خشک‌سالی‌های شدید و مداوم احتمالاً منجر به افت عملکرد محصولات به دلیل کاهش آب می‌گردد (Us, 2010). دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در مورد پدیده تغییر اقلیم در ایران، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات است. در این راستا مطالعات متعددی در خصوص تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر کشاورزی و تولید محصول انجام‌شده است. با توجه به تأثیرات مختلف این پدیده بر روی دما و بارش در نقاط مختلف، گزارش‌های متفاوتی نیز ارائه‌شده است به‌طوری‌که در برخی از آن‌ها کاهش و در برخی دیگر افزایش عملکرد و نیاز آبی گزارش‌شده است. به‌عنوان نمونه روزنزویگ و پری (۱۹۹۴) پیش‌بینی کرده‌اند که طول دوره رشد گیاهان در ایران به‌شدت کاهش خواهد یافت و تولید محصول غلات نیز بین ۵۰–۴۰ درصد در کشاورزی دیم دچار افت خواهد شد.

دل (۲۰۰۲) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی کل اراضی جهان که تا سال ۱۹۹۵ مجهز به سیستم‌های آبیاری شده‌اند با استفاده از داده‌های اقلیمی خروجی مدل‌های GCM پرداخت. وی گیاهان کشت‌شده را به دو دسته برنج و غیر برنج تقسیم و با در نظر گرفتن طول دوره رشد ثابت (۱۵۰ روز) نیاز خالص آبیاری را برآورد نمود. نتایج نشان داد که در حدود دو سوم مناطق، نیاز خالص آبیاری در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد که علت آن افزایش درجه حرارت و در نتیجه افزایش تبخیر تعرق و نیز غیر همگن بودن توزیع مکانی بارندگی‌ها است. همچنین تغییر اقلیم در اکثر مناطق باعث جابجایی دوره رشد و تغییر الگوی کشت خواهد شد. کوروبو (۲۰۰۲) اثرات تغییر اقلیم را بر تولید حبوبات در مالدیو بررسی کرد و نتیجه گرفت که تغییر اقلیم که باعث افزایش گرمای جهانی شده، منجر به وقوع خشکی در طول دوره‌های رشد گیاه خواهد شد و در منطقه مطالعاتی شرایط اقلیمی آینده بر تولید حبوبات و گندم زمستانه اثراتی منفی خواهد داشت. یو و همکاران (۲۰۰۲) با بررسی روند تبخیر و تعرق در شالیزارهای تایوان اعلام کردند تا سال ۲۰۵۰ حدود ۵-۳ درصد به تبخیر و تعرق برنج اضافه خواهد شد. یانو و همکاران (۲۰۰۷) بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رشد و نیاز آبی گیاهان گندم و ذرت در ساحل شرقی دریای مدیترانه در ترکیه نتیجه گرفتند که بالا رفتن درجه حرارت باعث افزایش سرعت رشد فیزیولوژیکی هر دو گیاه می‌شود و این خود باعث زودرس شدن این محصولات و در نتیجه کاهش دوره رشد می‌شود. هاورکورت و ورهاگن (۲۰۰۸) با بررسی اثر تغییر اقلیم بر سیب‌زمینی در اروپا شمالی به این نتیجه رسیدند که تغییر اقلیم باعث طولانی شدن فصل رشد سیب‌زمینی در این منطقه خواهد شد. لوم و همکاران (۲۰۰۹)، اثر پتانسیل تغییر اقلیم بر گندم را در نواحی شمالی و مرکزی تانزانیا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که درجه حرارت در هر دو ناحیه افزایش، میانگین بارندگی سالانه در مرکز افزایش و در شمال کاهش می‌یابد. کاشت گندم در هر دو منطقه زودتر انجام شده و طول دوره رشد گندم کاهش می‌یابد. روی و همکاران (۲۰۰۹)، اثرات تغییر اقلیم آینده را در دو دوره ۲۰۳۰ و ۲۰۷۵ بر روی محصولات دیم جنوب غربی بنگلادش با استفاده از مدل کراپ وات برآورد نمودند. بررسی آن‌ها نشان داد که محصول برنج و سیب‌زمینی در سال ۲۰۷۵ به ترتیب ۴ و ۸/۷ درصد نسبت به سال ۱۹۹۰ با کاهش روبرو خواهند شد. بابایی و همکاران (۱۳۹۰) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی را تحت سناریوهای تغییر اقلیم A_2 و B_1 در منطقه رود دشت اصفهان مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند میانگین بارش سالانه، مجموع بارش سالانه در طول دوره رشد گیاه و متوسط دمای روزانه تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم افزایش خواهند یافت. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم آبی با استفاده از مدل SWAP مورد ارزیابی قرار گرفت. متوسط عملکرد نسبی تحت دو سناریوی تغییر اقلیم A_2 و B_1 نسبت به سناریوی مبنا، به ترتیب ۱,۴۹ و ۲,۱ درصد و متوسط عملکرد دانه گندم به ترتیب ۴/۱۹ و ۱۷/۱۹ درصد کاهش یافت. قربانی و سلطانی (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در گرگان با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد سویا (SSM) بر اساس سناریوهایی مختلف تغییر اقلیم پرداختند. با تعریف ۸ سناریوی مختلف تاریخ کاشت با تأخیرهای زمانی ۱۰ روزه از اول خردادماه تا دهم مردادماه، طول دوره‌های مختلف فیزیولوژیکی، زیست‌توده و عملکرد دانه برای دو کشت آبی و دیم شبیه‌سازی شدند.

آزمون مقایسه میانگین‌ها افزایش معنی‌داری را در بیش‌تر ماه‌های سال برای میانگین حداکثر و حداقل دماهای روزانه و در چند ماه سال برای میانگین بارش ماهانه تأیید می‌کنند، نتایج شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا با مدل SSM بیانگر آن است که در دوره ۳۰ سال آینده طول دوره‌های اولیه فنولوژی سویا، تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی انتشار اختلاف چندانی با دوره مشاهداتی ندارد ولی طول دوره تا رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی برداشت در آینده تا حدود ۵ روزی کوتاه‌تر می‌شود و برای گیاهانی که دیرتر کشت می‌شوند به بیش از ۱۰ روز خواهد رسید. عملکرد زیست‌توده و عمل کرد دانه نیز برای کشت آبی، اندکی کاهش ولی در کشت دیم در مزارعی که زودتر کشت می‌شوند، عملکرد افزایش می‌یابد. درمجموع با توجه به این‌که در عمل کشت دیم سویا در منطقه صورت نمی‌گیرد می‌توان بیان نمود که تغییر اقلیم در منطقه گرگان تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رشد، نیاز آبی و عملکرد سویا نخواهد داشت. شیداییان و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد برنج در دوره‌های زمانی آینده با استفاده از داده‌های خروجی مدل HadCM3 از سری مدل‌های AOGCM در منطقه دشت تجن پرداخت. نتایج مدل CROPWAT نشان‌دهنده این بود که در اثر تغییر اقلیم با افزایش تبخیر تعرق پتانسیل و کاهش بارندگی مؤثر و افزایش آب مصرفی گیاه، نیاز خالص آبیاری گیاه برنج در حوزه مورد نظر طی سال‌های آتی تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. همچنین در نتیجه تغییر اقلیم افزایش دما و کاهش بارش درصد کاهش عملکرد در سال‌های آتی به میزان ناچیز رو به افزایش است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هر چه به سال ۲۱۰۰ نزدیک‌تر شویم بارش مؤثر با مقدار کمتری می‌تواند نیاز آب مصرفی و نیاز خالص آبیاری برنج را در منطقه مورد نظر تأمین کند. جعفر زاده و همکاران (۱۳۹۵) به طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چندهدفه به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم در دشت بیرجند پرداختند. نتایج و یافته‌های پژوهش نشان داد که مقادیر بهینه الگوی کشت برای محصولات زراعی و باغی دشت می‌توانند علاوه برافزایش درآمد کل حاصل از فروش محصولات به کاهش افت سطح آبخوان نیز کمک شایانی را نمایند .افزایش سطح زیر کشت محصولاتی نظیر زعفران، زرشک و عناب به‌عنوان ظرفیت‌های بخش کشاورزی الگوی کشت بهینه می‌تواند ضمن کاهش افت ارتفاع سطح آبخوان موجبات توسعه اقتصادی را نیز فراهم نماید. جلالی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با بررسی پراکندگی مکانی عناصر آب و هوایی در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین و نوسان‌های زمانی آن‌ها در ارتباط با نیازهای اقلیمی گندم دیم؛ میزان تأثیر آن‌ها در عملکرد این محصول استراتژیک موردمطالعه قرار گرفت. جهت شناسایی نقش پارامترهای آب و هوایی در عملکرد گندم دیم و بهترین مدل پیشبینگر؛ رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام برای ۱۶ پارامتر اقلیمی و میانگین عملکرد گندم دیم در شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین اجرا گردید. نتایج نهایی نشان‌دهنده این واقعیت هستند که نقش هر یک از عناصر اقلیمی بارش و دما، متناسب با مراحل مختلف رشد، متفاوت است.

تخفیف[1] و سازگاری[2] دو روش شناخته‌شده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم است. استراتژی‌های تخفیف به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مدیریتی مختلف از قبیل کاهش کاربرد کودهای شیمیایی (Verge et al, 2007) مکانیزاسیون، افزایش ترسیب کربن، کشت و کار گیاهان زراعی باهدف تولید سوخت‌های زیستی (Falloon et all, 2010 ،Ogle et al, 2005) حرکت به سمت کشاورزی ارگانیک (Shiferaw et all 2009) و غیره اشاره دارد. منظور از سازگاری نیز استراتژی‌های است که رشد و نمو گیاه طوری تنظیم شود که کمتر در معرض تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته قرار بگیرد (Rosenzweig and Tubiello, 2007). راهکارهای سازگاری بسته به سیستم کشاورزی، منطقه و سناریوهای تغییر اقلیمی متفاوت است. از جمله این استراتژی‌ها می‌توان به تغییر تاریخ کاشت، تراکم کاشت (Trnka et all, 2004) استفاده از ارقام مقاوم به شرایط گرم‌تر، تغییر در تناوب کاشت، مدیریت آبیاری و غیره اشاره کرد (Tubiello et al, 2002 ،Smit & Skinner, 2002).

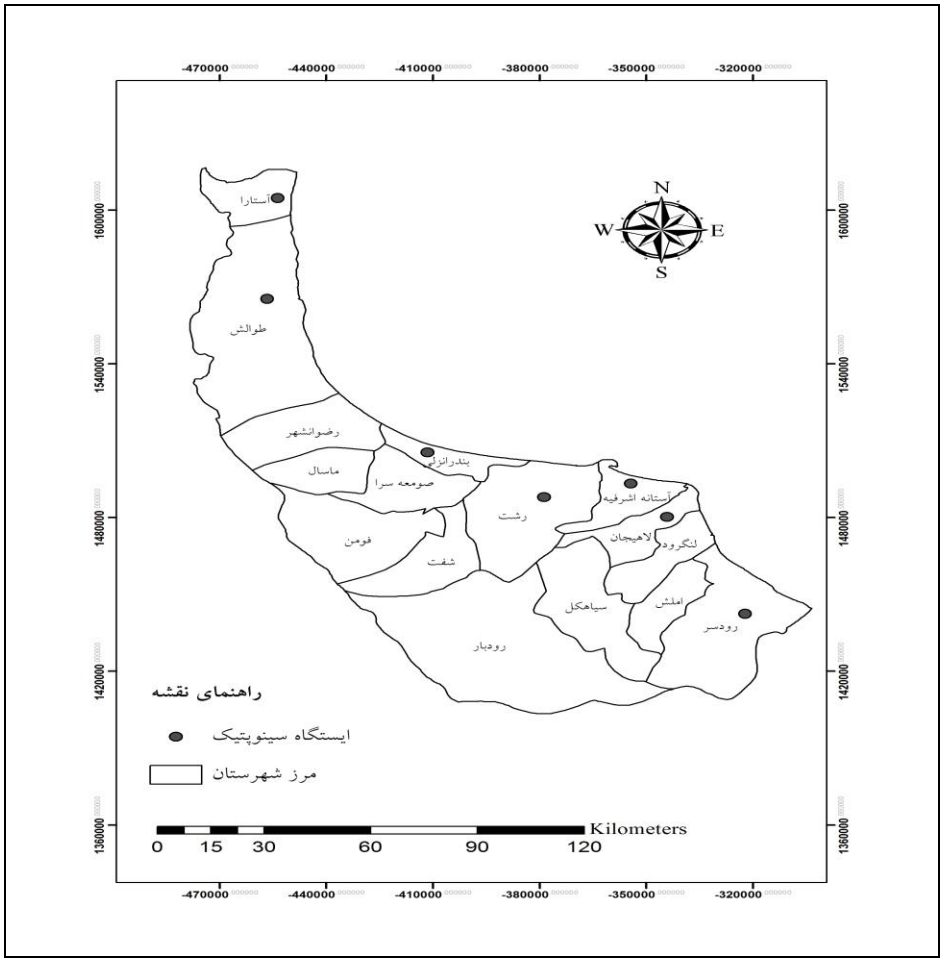
موقعیت منطقه موردمطالعه

استان گیلان در ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار قرارگرفته است. این استان با مساحتی حدود ۱۴۷۱۱ کیلومترمربع در میان رشته کوه‌های البرز و تالش در شمال ایران جای گرفته و مساحت آن حدود ۰/۰۹ درصد از مساحت کل کشور است (دوات گر و همکاران، ۱۳۹۴). این استان از شمال با دریای خزر، از شرق با استان مازندران و از غرب و شمال غربی با استان اردبیل و از جنوب با عبور از رشته کوه‌های البرز با استان‌های زنجان و قزوین ارتباط دارد. استان گیلان از سه بخش ساحلی، جلگه‌ای و کوهپایه‌ای تشکیل‌شده است. پهنای جلگه ساحلی در استان گیلان کم می‌باشد و در بیشتر نقاط بلافاصله پس از خط ساحلی، ارتفاع زمین به ۹۰۰ متر افزایش می‌یابد. شکل جغرافیایی استان گیلان به‌صورت بدنه‌ای پرحجم شامل البرز غربی و جلگه گیلان در جنوب و گردنی استوار و افراشته شامل کوه‌های تالش و جلگه ساحلی به سمت شمال است. با توجه به موقعیت جغرافیایی آن در جنوب غربی دریای خزر یکی از حاصلخیزترین استان‌های کشور می‌باشد (رمضان نژاد و همکاران، ۱۳۹۵).

استان گیلان با دارا بودن آب و هوایی معتدل، زمین‌های مستعد کشاورزی، خاک‌های غنی برای کشت محصولات زراعی و باغی از ویژگی‌های منحصر به فردی در بخش کشاورزی برخوردار است. در بین فعالیت‌های کشاورزی، استان در تولید برنج به‌عنوان یکی از غلات مهمی که از دیرباز به‌عنوان یک کالای استراتژیک مورد توجه بوده، از جایگاه ویژه‌ای در کشور برخوردار است (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۹). برنج پس از گندم دومین محصول استراتژیک در امر تغذیه جامعه به شمار می‌رود؛ به‌طوری‌که مصرف سرانه هر ایرانی معادل ۳۸ کیلوگرم در سال است (رضوی و همکاران، ۱۳۹۶). سطح زیر کشت برنج در استان گیلان حدود ۲۳۸ هزار هکتار می‌باشد. افزایش قیمت برنج در سال‌های اول بعد از سال

[1].Mitigation
[2].Adaptation

۱۳۵۷باعث پیشرفت سطح زیر کشت برنج به‌سوی اراضی شنی ساحلی و حتی اراضی چای‌کاری در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی البرز شمالی شده است (سیدمحمدی و همکار، ۱۳۹۳). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان گیلان

داده‌ها و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در پژوهش

در این پژوهش از داده‌های ماهانه بارش و دمای (میانگین ماهانه دما، میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه دما و حداکثر و حداقل مطلق دما) برای ۷ ایستگاه برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۷ استفاده شد. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌ها در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در استان گیلان

ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ارتفاع (متر)
آستارا	سینوپتیک	۲۱	۳۸	۵۱	۴۹	۲۱/۱
بندرانزلی	سینوپتیک	۲۸	۳۷	۲۷	۴۹	-۲۳/۶
تالش	سینوپتیک	۵۰	۳۷	۵۳	۴۸	۷
رشت	سینوپتیک	۱۲	۳۷	۳۸	۴۹	۲۴/۹
رودسر	سینوپتیک	۰۷	۳۷	۱۹	۵۰	-۲۲
بندر کیاشهر	سینوپتیک	۲۳	۳۷	۵۳	۴۹	-۲۲
لاهیجان	سینوپتیک	۱۱	۳۷	۰۰	۵۰	۳۴/۲

مأخذ: نگارندگان

در دوره آماری ذکر شده، ایستگاه‌های آستارا، بندرانزلی و رشت دارای آمار کامل بوده و سایر ایستگاه‌ها دارای کمبود آمار بودند که با استفاده از آزمون همبستگی مورد بازسازی قرار گرفتند. ازآنجا که هدف از شناسایی ویژگی‌های اقلیمی در این پژوهش، بررسی تأثیر آن‌ها بر میزان عملکرد برنج است، از آمار داده اقلیمی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر یک سال قبل از دوره آماری یعنی سال ۱۹۹۶ نیز استفاده شد؛ به‌عبارت‌دیگر از آمار سال زراعی که از اکتبر شروع می‌شود، استفاده شد و از آمار داده‌های ماه‌های تابستان صرف‌نظر شد (جدول ۲).

جدول ۲: علائم مربوط به پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در پژوهش

نام متغیر	علامت متغیر	نام متغیر	علامت متغیر	نام متغیر	علامت متغیر
بارش ماه اکتبر	X_1	میانگین حداقل دمای ماه اکتبر	X_{19}	دمای حداکثر مطلق ماه اکتبر	X_{37}
بارش ماه نوامبر	X_2	میانگین حداقل دمای ماه نوامبر	X_{20}	دمای حداکثر مطلق ماه نوامبر	X_{38}
بارش ماه دسامبر	X_3	میانگین حداقل دمای ماه دسامبر	X_{21}	دمای حداکثر مطلق ماه دسامبر	X_{39}
بارش ماه ژانویه	X_4	میانگین حداقل دمای ماه ژانویه	X_{22}	دمای حداکثر مطلق ماه ژانویه	X_{40}
بارش ماه فوریه	X_5	میانگین حداقل دمای ماه فوریه	X_{23}	دمای حداکثر مطلق ماه فوریه	X_{41}
بارش ماه مارس	X_6	میانگین حداقل دمای ماه مارس	X_{24}	دمای حداکثر مطلق ماه مارس	X_{42}
بارش ماه آوریل	X_7	میانگین حداقل دمای ماه آوریل	X_{25}	دمای حداکثر مطلق ماه آوریل	X_{43}
بارش ماه مه	X_8	میانگین حداقل دمای ماه مه	X_{26}	دمای حداکثر مطلق ماه مه	X_{44}
بارش ماه ژوئن	X_9	میانگین حداقل دمای ماه ژوئن	X_{27}	دمای حداکثر مطلق ماه ژوئن	X_{45}
میانگین دمای ماه اکتبر	X_{10}	میانگین حداکثر دمای ماه اکتبر	X_{28}	دمای حداقل مطلق ماه اکتبر	X_{46}
میانگین دمای ماه نوامبر	X_{11}	میانگین حداکثر دمای ماه نوامبر	X_{29}	دمای حداقل مطلق ماه نوامبر	X_{47}
میانگین دمای ماه دسامبر	X_{12}	میانگین حداکثر دمای ماه دسامبر	X_{30}	دمای حداقل مطلق ماه دسامبر	X_{48}
میانگین دمای ماه ژانویه	X_{13}	میانگین حداکثر دمای ماه ژانویه	X_{31}	دمای حداقل مطلق ماه ژانویه	X_{49}
میانگین دمای ماه فوریه	X_{14}	میانگین حداکثر دمای ماه فوریه	X_{32}	دمای حداقل مطلق ماه فوریه	X_{50}
میانگین دمای ماه مارس	X_{15}	میانگین حداکثر دمای ماه مارس	X_{33}	دمای حداقل مطلق ماه مارس	X_{51}
میانگین دمای ماه آوریل	X_{16}	میانگین حداکثر دمای ماه آوریل	X_{34}	دمای حداقل مطلق ماه آوریل	X_{52}
میانگین دمای ماه مه	X_{17}	میانگین حداکثر دمای ماه مه	X_{35}	دمای حداقل مطلق ماه مه	X_{53}
میانگین دمای ماه ژوئن	X_{18}	میانگین حداکثر دمای ماه ژوئن	X_{36}	دمای حداقل مطلق ماه ژوئن	X_{54}

مأخذ: نگارندگان

به خاطر سادگی در انجام آنالیز و مدل‌سازی، داده‌های بارش (اکتبر تا ژوئن) از X_1 تا X_9 و پارامترهای دمایی شامل میانگین ماهانه دما، میانگین حداقل و حداکثر ماهانه دما و حداکثر و حداقل مطلق دما (اکتبر تا ژوئن) به ترتیب از X_{10} تا X_{54} نمادگذاری شدند و درنهایت پایگاه داده‌ها تشکیل شد.

نکته مهمی که استفاده از داده‌های طولانی‌مدت اقلیمی را ناممکن ساخته بود، فقدان داده‌های عملکرد برنج طولانی‌مدت بود که درنتیجه جمع‌آوری آن‌ها را برای بیشتر از ۲۰ سال زراعی، از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶ مشکل می‌ساخت. مسلماً هر چه طول دوره آماری پارامترهای اقلیمی و زراعی بیشتر باشد، دقت مدل‌سازی بیشتر خواهد بود.

روش‌ها

برای تشکیل پایگاه داده‌ها، ابتدا بازسازی داده‌های اقلیمی و کشاورزی به روش همبستگی در نرم‌افزار SPSS V24 انجام شد. سپس برای آزمون تصادفی بودن داده‌ها، از آزمون ران تست[۱] استفاده شد و آزمون روند من کندال نیز برای بررسی روند داده‌های اقلیمی و کشاورزی در نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای بررسی ارتباط بین داده‌های اقلیمی و کشاورزی در ایستگاه‌های منطقه همبستگی داده‌ها به روش پیرسون [۲]در نرم‌افزار SPSS محاسبه شد. برای مدل‌سازی ایستگاهی بین داده‌های اقلیمی و کشاورزی از انواع روش‌های رگرسیون خطی مانند اینتر[۳]، ریموو[۴]، استپوایز[۵]، بکوارد[۶]، فروارد[۷] استفاده شد که در نهایت روش استپوایز با توجه به معیارهایی که برای انتخاب مدل وجود دارد، به‌کاربرده شد. در محاسبه مدل منطقه‌ای نیز انواع مدل‌های رگرسیونی به داده‌ها برازش داده شد و با توجه به ملاک‌های معنی‌داری مدل رگرسیونی، مدل بکوارد به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد. مقایسه ضریب همبستگی داده‌های عملکرد محاسباتی حاصل از مدل منطقه‌ای با داده‌های عملکرد مشاهداتی در هر یک از ایستگاه‌های مورد نظر در کل دوره آماری از سال ۲۰۱۶-۱۹۹۷ در نیمه اول دوره آماری (۲۰۰۶-۱۹۹۷) و در نیمه دوم دوره آماری (۲۰۱۶-۲۰۰۷) انجام شد تا میزان سازگاری و تطابق مدل منطقه‌ای با مدل ایستگاهی در دوره‌های مختلف آماری سنجیده شود و اطمینان استفاده از مدل‌بالاتر رود. گام نهایی این پژوهش ارائه مدل پیش‌بینی حاصل از مدل نهایی منطقه‌ای عملکرد برنج در سطح منطقه است، بنابراین پارامترهای اقلیمی به‌عنوان متغیرهای اقلیمی مستقل و ییلد[۸] به‌عنوان متغیر وابسته برای پایگاه اطلاعاتی استان تهیه شد، آنگاه با استفاده از روش رگرسیون چندگانه[۹]، مدل رگرسیون برای پیش‌بینی عملکرد برنج منطقه محاسبه شد. سرانجام تغییرپذیری عملکرد برنج در ایستگاه‌هایی که دارای مدل بودند و همچنین در مدل منطقه‌ای با توجه به تغییر پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل، در طول دوره آماری محاسبه شد.

---

[1].Run Test
[2].Pearson
[3]. Enter
[4]. Remove
[5].Stepwise
[6].Backward
[7].Forward
[8]. Yield
[9]. Multiregression

نتایج و بحث

روند داده‌های عملکرد برنج و پارامترهای اقلیمی

روند داده‌های عملکرد برنج

آزمون روند کندال تاو بی[1] در نرم‌افزار SPSS برای تشخیص و آشکارسازی روند (مثبت یا منفی) داده‌های عملکرد برنج در طی دوره آماری در ایستگاه‌ها مورداستفاده قرار گرفت. از کل ایستگاه‌های موردنظر فقط یک ایستگاه دارای روند افزایشی (مثبت) در میزان عملکرد برنج در طی دوره آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است و سایر ایستگاه‌ها دارای روند غیر معنی‌دار است. ایستگاهی که دارای روند در میزان عملکرد برنج در طول دوره آماری می‌باشد، ایستگاه رودسر است که میزان عملکرد برنج آن در طی دوره آماری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ می‌باشد و میزان آن ۰/۴۸۲+ است. سایر ایستگاه‌ها دارای روند غیر معنی‌دار هستند.

روند داده‌های بارش

آزمون روند کندال تاو بی برای بررسی روند داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتیجه آزمون حاکی از آن است که فقط متغیر میانگین بارش ماه می در ایستگاه‌های آستارا، رشت، جیرنده و لاهیجان دارای روند معنی‌دار کاهشی در سطح ۰/۰۵ و مقادیر کاهش آن‌ها به ترتیب برای ایستگاه آستارا (۰/۳۴۶-)، ایستگاه جیرنده (۰/۶۰۰-)، ایستگاه رشت (۰/۴۰۷-) و ایستگاه لاهیجان (۰/۶۳۶-) است. در ایستگاه‌های دیگر هیچ روند معنی‌داری برای متغیر بارش در ماه‌های گوناگون مشاهده نشده است.

روند داده‌های دما

آزمون روند کندال تاو بی در نرم‌افزار SPSS برای ۵ پارامتر دما (میانگین ماهانه دما، میانگین حداکثر ماهانه دما، میانگین حداقل ماهانه دما، حداقل مطلق ماهانه دما و حداکثر مطلق ماهانه دما) انجام شد. متغیرهای دمایی ماهانه که در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند هستند، در جدول (۳) نمایش داده‌شده است. متغیرهای دمایی که روند افزایشی آن‌ها در اکثر ایستگاه‌های منطقه دیده می‌شود متغیر دمای حداکثر مطلق ماه ژوئن X_{45} است. آن متغیرهای دمایی که فقط در یک ایستگاه روند افزایشی آن‌ها وجود دارد، به ترتیب عبارت‌اند از متغیرهای X_{10}، X_{11}، X_{16}، X_{19}، X_{28} X_{30}، X_{31}، X_{34}، X_{35}، X_{43}، X_{54}. ایستگاهی که متغیرهای اقلیمی بیشتری در آن روند افزایشی دارند ایستگاه تالش بوده است (بانه متغیر اقلیمی) و ایستگاه‌هایی که کمترین و فقط دو متغیر اقلیمی در آن وجود دارد که دارای روند معنی‌دار است، ایستگاه‌های آستارا و رشت است.

[1]. Kendall tau-b test

جدول ۳: پارامترهای دمایی که در طول دوره آماری در ایستگاه‌ها دارای روند می‌باشند

ایستگاه / پارامتر	آستارا	بندرانزلی	تالش	رشت	رودسر	بندر کیاشهر	لاهیجان
X_{10}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{11}	σ	σ	σ	σ	σ	$\surd$	σ
X_{16}	σ	σ	σ	σ	σ	$\surd$	σ
X_{17}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	$\surd$	$\surd$
X_{18}	σ	$\surd$	σ	$\surd$	σ	σ	σ
X_{19}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{22}	σ	σ	σ	σ	$\surd$	σ	σ
X_{26}	σ	σ	$\surd$	σ	$\surd$	$\surd$	σ
X_{27}	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ	σ
X_{28}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{29}	σ	σ	σ	σ	$\surd$	σ	$\surd$
X_{30}	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
X_{31}	σ	σ	σ	σ	σ	σ	$\surd$
X_{33}	$\surd$	$\surd$	σ	σ	σ	σ	σ
X_{34}	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
X_{35}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{38}	σ	σ	σ	σ	$\surd$	σ	$\surd$
X_{41}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{43}	σ	σ	σ	σ	σ	σ	σ
X_{45}	$\surd$	$\surd$	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{46}	σ	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ
X_{53}	σ	$\surd$	σ	$\surd$	σ	σ	σ
X_{54}	σ	$\surd$	σ	σ	σ	σ	σ

مأخذ: نگارندگان * علامت $\surd$ پارامترهای دمایی دارای روند و علامت σ پارامترهای دمایی بدون روند معنی‌دار را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی عملکرد برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی

همبستگی داده‌های اقلیمی و عملکرد برنج

ضریب همبستگی بین داده‌های اقلیمی و میزان عملکرد برنج در ایستگاه‌های مورد نظر در طی دوره آماری از ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶، ۱۰ سال اول دوره آماری از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶، ۱۰ سال دوم دوره آماری از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶، ۵ سال اول دوره آماری از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱، ۵ سال دوم دوره آماری از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶، ۵ سال سوم دوره آماری از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ و ۵ سال آخر دوره آماری از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ در جدول (۴) نشان داده‌شده است.

جدول ۴: ضریب همبستگی بین داده‌های اقلیمی و میزان عملکرد برنج در ایستگاه‌های منطقه در طی دوره‌های متفاوت آماری

ایستگاه	کل دوره آماری (۲۰۱۶-۱۹۹۷)	۱۰ سال اول (۲۰۰۶-۱۹۹۷)	۱۰ سال دوم (۲۰۱۶-۲۰۰۷)	۵ سال اول (۲۰۰۱-۱۹۹۷)	۵ سال دوم (۲۰۰۶-۲۰۰۲)	۵ سال سوم (۲۰۱۱-۲۰۰۷)	۵ سال چهارم (۲۰۱۶-۲۰۱۲)
آستارا	X_{35}(-.383*)	X_6(.786**) X_{13}(.639*) X_{31}(.804**) X_{40}(.804**)	NA	X_{10}(-.928*) X_{16}(.883*) X_{25}(.924*) X_{52}(.924*)	X_{16}(-.905*) X_{24}(-.884*) X_{31}(.975**) X_{40}(.975**) X_{52}(-.884*)	X_{35}(-.829*)	NA
بندرانزلی	X_{33}(.456*) X_{25}(-.510*) X_{42}(.471*) X_{52}(-.550*)	X_7 (.675*) X_{28}(.767**) X_{29}(.660*) X_{37}(.767**) X_{38}(.660*)	X_{50}(-.669*) X_{52}(-.667*)	X_1 (.948*) X_{10}(-.969*) X_{25}(.912*) X_{28}(-.914*) X_{37}(-.914*) X_{52}(.912*)	NA	X_5 (-.883*)	X_{39}(-.997**) X_{40}(-.905*) X_{52}(-.908*)
تالش	X_{18}(.800*)	NA	X_{36}(.523*) X_{18}(.539*) X_{40}(.511*) X_{41}(.422*) X_{42}(-.556*)	NA	NA	X_6(1.000**) X_{27}(.949*) X_{13}(.738*) X_{18}(.800*) X_{37}(.738*) X_{40}(.800*) X_{42}(-.800*) X_{51}(-.800*) X_{54}(1.000**)	X_8(-.800*)
رشت	NA	X_{28}(.647*)	X_7(-.664*) X_{17}(.690*) X_{36}(.655*) X_{52}(-.664*)	NA	X_3(.693**) X_{19}(-.921*) X_{20}(.957*) X_{28}(.917*) X_{37}(.921*) X_{48}(.963**)	X_8(.900*) X_{25}(-.922*) X_{53}(.900*)	NA
رودسر	NA	NA	NA	NA	NA	X_8(-.910*) X_{21}(.971**) X_{35}(-.939*) X_{44}(-.939*) X_{48}(.971**)	X_2(-.927*) X_7(-.945*) X_9(.947*) X_{38}(.905*) X_{43}(.901*)
بندر کیاشهر (آستانه)	X_{52}(.912*)	NA	X_{15}(-.629*) X_{24}(-.600*) X_{30}(.568*) X_{40}(.600*) X_{41}(.556*) X_{45}(.613*)	NA	NA	X_{54}(.949*)	X_5(.900*)
لاهیجان	X_{43}(.901*) X_{54}(-.882*)	NA	X_2(-.658*) X_{43}(-.840**)	NA	NA	X_2(-.958*) X_9(-.915*) X_{10}(.016*) X_{11}(.961**) X_{20}(.922*) X_{34}(-.968**) X_{43}(-.968**) X_{47}(.922*)	X_{38}(-.918*) X_{54}(-.882*)

مأخذ: نگارندگان * معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد ** معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد NA متغیری شناسایی نشد

با توجه به ضریب همبستگی بین داده‌های اقلیمی (دما و بارش ماهانه) از اکتبر تا ژوئن و میزان عملکرد برنج در طی دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۷ در ایستگاه‌های رشت و رودسر رابطه معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ یا ۰/۰۵ وجود نـدارد. در سـایر ایستگاه‌های منطقه مانند آستارا، انزلی، تالش، بندر کیاشهر و لاهیجان این رابطه همبستگی بـین پارامترهـا در طـی دوره آماری موردنظر، وجود دارد.

مدل‌های ایستگاهی پیش‌بینی عملکرد برنج

در این بخش انواع روش‌های رگرسیون مانند اینتر[1]، ریموو[2]، استپوایز[3]، بکوارد[4]، فروارد[5] برای ایستگاه‌های موردنظر در دوره آماری ۲۰ ساله از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶، مورد برازش قرار گرفت. در ایستگاه‌های آستارا، رشت و رودسر مدل‌های رگرسیون بر پایه روش‌های اینتر، ریموو، بکوارد یافت شد. برای سایر ایستگاه‌ها نیز (بندر انزلی، تالش، بندر کیاشهر و لاهیجان) بر اساس روش‌های رگرسیونی اینتر، ریموو، استپوایز و بکوارد، مدل رگرسیونی یافت شد. در نهایت با توجه به هدف مورد نظر از روش استپوایز به‌عنوان بهترین مدل استفاده شد. میزان همبستگی بین عملکرد محصول برنج محاسباتی و عملکرد محصول مشاهداتی و مدل پیش‌بینی استپوایز برای ایستگاه‌هایی که دارای مدل هستند، در جدول (۵) آمده است.

جدول ۵: میزان همبستگی بین عملکرد محصول محاسباتی و عملکرد محصول مشاهداتی و مدل پیش‌بینی به روش استپوایز در ایستگاه‌ها

ایستگاه	R	R^2	انحراف از معیار	ضرایب بتا (B) برای متغیرهای اقلیمی	مدل پیش‌بینی عملکرد محصول برنج
بندر انزلی	۰٫۶۵۱**	۰٫۴۲۴	۹۵۱٫۰۸۴	X_{52} = -.465 X_2 = -.418	$Y= 7510/2 - 224/3X_{52} - 3/9X_2$
تالش	۰٫۸۲۰**	۰٫۶۷۳	۱۷۱٫۷۴۶	X_{18} =.718 X_{47} = -.504	$Y= 147/9 + 201/7X_{18} – 40/4X_{47}$
بندر کیاشهر	۰٫۸۵۵**	۰٫۷۳۱	۱۴۱٫۰۰	X_{54} = -.855	$Y= 4862/4 - 93/8X_{52}$
لاهیجان	۰.۹۷۷**	۰٫۹۵۴	۸۴٫۵۵۶	X_{43} = -.651 X_{54} = -.466 X_{32} =.355	$Y= 7514/4 - 50/4X_{43} – 133/4X_{54} + 19/7X_{32}$

مأخذ: نگارندگان ** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

با بررسی‌های انجام‌شده در مدل‌های پیش‌بینی مشاهده می‌شود که بیشترین همبستگی بین میزان عملکرد محصول مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده در ایستگاه لاهیجان با حدود ۰/۹۹۷ است. پس‌ازآن ایستگاه‌های بندر کیاشهر و تالش به ترتیب با ضریب همبستگی در حدود ۰/۸۵۵ و ۰/۸۲۰ در جایگاه دوم و سوم قرار دارند. کمترین میزان همبستگی بین عملکرد محصول مشاهداتی و پیش‌بینی شده در ایستگاه بندر انزلی با حدود ۰/۶۵۱ می‌باشد. در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان همبستگی بین عملکرد محصول مشاهداتی و پیش‌بینی شده در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

[1]. Enter
[2]. Remove
[3].Stepwise
[4].Backward
[5].Forward

همچنین ستون ضرایب بتا (B) ضرایب رگرسیون استاندارد شده هستند که مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار در رگرسیون خطی برای مدل پیش‌بینی عملکرد را نشان می‌دهند. برای ایستگاه بندر انزلی دو متغیر اقلیمی پیش‌بینی، شناسایی شد که مهم‌ترین پیش‌بینی کننده، دمای حداقل مطلق برای ماه آوریل است و پس از آن بارش ماه نوامبر قرار دارد. همچنین برای ایستگاه تالش نیز دو متغیر اقلیمی شناسایی شد که میانگین دمای ماه ژوئن و دمای حداقل مطلق ماه نوامبر به ترتیب اولویت قرار دارند. برای ایستگاه بندر کیاشهر تنها یک متغیر اقلیمی مؤثر در رگرسیون خطی شناسایی شد و آن‌هم دمای حداقل مطلق ماه آوریل است.

این در صورتی است که برای ایستگاه لاهیجان سه متغیر اقلیمی که به ترتیب اهمیت نسبی عبارت‌اند از دمای حداکثر مطلق ماه آوریل X_{43} (با ضریب بتا ۰/۶۵۱-)، دمای حداقل مطلق ماه ژوئن X_{54} (با ضریب بتا ۰/۴۶۶-) و میانگین حداکثر دمای ماه فوریه X_{32} (با ضریب بتا ۰/۳۵۵) شناسایی شد.

مدل منطقه‌ای پیش‌بینی عملکرد برنج

در مدل منطقه‌ای که از میانگین داده‌های اقلیمی و داده‌های عملکرد استفاده شد، تمام روش‌های رگرسیون مورد برازش قرار گرفت و در نهایت از روش استپوایز برای مدل منطقه‌ای به‌عنوان بهترین مدل استفاده شد که عبارت است از:

$$2/054\ X_{3} + 94/058\ X_{52} + 40/625\ X_{41} - Y = 3761/250 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه، Y: میزان عملکرد محصول برنج محاسباتی، عرض از مبدأ معدلِ برابر ۳۷۶۱/۲۵۰، اعداد ذکر شده در معادله ضرایب ثابت هستند، X_{52}: دمای حداقل مطلق ماه آوریل، X_{41}: دمای حداکثر مطلق ماه فوریه و X_{3}: مجموع بارش ماه دسامبر است که با توجه به ضرایب رگرسیون بتا B به ترتیب اولویت و اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی (با ضرایب بتا ۰/۵۳۳ -، ۰/۴۰۱ و ۰/۳۸۶) در معادله قرارگرفته‌اند.

میزان همبستگی بین داده‌های عملکرد محاسباتی و مشاهداتی در مدل منطقه‌ای برابر۰/۷۵۰ می‌باشد که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و درنتیجه همبستگی قوی بین داده‌های محاسباتی و مشاهداتی برقرار است. میزان R-Square مدل منطقه‌ای نیز برابر ۰/۵۶۳ است؛ به این معنی که میزان تغییرات عملکرد محاسباتی در مدل منطقه‌ای تا ۰/۵۶ وابسته به پارامترهای اقلیمی وارد شده در مدل می‌باشد و ۰/۴۴ تغییرات عملکرد محاسباتی نیز مربوط به سایر پارامترها است. پارامترهای مؤثر در مدل در سطح منطقه بیشترین تأثیر را بر میزان عملکرد محصول برنج دارند. میزان انحراف از معیار مدل نیز ۳۰۰/۶ می‌باشد.

تغییرپذیری[1] عملکرد محصول برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی مؤثر

برای بررسی میزان تغییرپذیری عملکرد برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی مؤثر در هر ایستگاه، ابتدا ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل شناسایی شد. ویژگی‌های آماری شامل مقادیر حداکثر، حداقل، میانگین، انحراف از معیار، ضریب تغییرات و آزمون روند من کندال است. خصوصیات آماری در هر ایستگاه برای هر پارامتر اقلیمی مـؤثر در مدل شناسایی شد.

سناریوهایی که برای پیش‌بینی استفاده می‌شود شامل سناریوهای افزایش و کاهش در میزان مبه وسـیله داده‌هـای مؤثر در هر مدل ایستگاهی است. سناریوهای افزایشی شامل افزایش ۱۰ و ۲۰ درصد مبه وسیله پارامترهای اقلیمی مؤثر در هر مدل ایستگاهی است و سناریوی کاهشی نیز شامل کـاهش ۱۰ و ۲۰ درصـدی در میـزان میـانگین پارامترهـای اقلیمی مؤثر در مدل ایستگاهی می‌باشد، با کاهش یا افزایش ۱۰ و ۲۰ درصدی در میانگین پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در هر مدل ایستگاهی، میزان عملکرد برنج نسبت به میانگین تغییر خواهد کرد.

تغییرپذیری عملکرد برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل منطقه‌ای

پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد برنج در مدل منطقه‌ای شامل دمای حداقل مطلق مـاه آوریـل، دمـای حـداکثر مطلق ماه فوریه و مجموع بارش ماه دسامبر است. ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مـدل منطقـه‌ای در جدول (۶) نشان داده‌شده است.

جدول ۶: ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل و سناریوهای پیش‌بینی در مدل منطقه‌ای

پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل		دمای حداقل مطلق ماه آوریل	دمای حداکثر مطلق ماه فوریه	مجموع بارش ماه دسامبر	میزان عملکرد برنج پیش‌بینی شده (کیلوگرم/هکتار، درصد)	
ویژگی‌های آماری پارامترها	حداکثر	۸/۱	۲۸/۵	۳۴۷		
	حداقل	۰/٤	۱۶	۶/۴۲		
	میانگین	۵/۱	۲۲/۱	۱۵۱/۴		
	انحراف از معیار	۲/۳۵	۴/۱۱	۷۸/۴۴		
	ضریب تغییرات	٤٦/۰۷	۱۸/۵۹	۵۱/۸		
	آزمون روند منکندال	-۰/۱۵٤	۰/۰۶۳	-۰/۱۲٦		
سناریوهای پیش‌بینی	افزایش ۱۰ درصد	۵/۶۱	۲۴/۳۱	۱۶۶/۵۴	۴۵۶۳/۲۵	۱/۶۹
	افزایش ۲۰ درصد	۶/۱۲	۲۶/۵۲	۱۸۱/۶۸	۴۶۳۶/۱۶	۳/۳۲
	کاهش ۱۰ درصد	۴/۵۹	۱۹/۸۹	۱۳۶/۲۶	۴۴۱۷/۴۳	-۱/۵۵
	کاهش ۲۰ درصد	۴/۰۸	۱۷/۶۸	۱۲۱/۱۲	۴۳۴۴/۵۲	-۳/۱۷

مأخذ: نگارندگان

[1].Variability

با توجه به میزان میانگین پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل منطقه‌ای در ۲۰ سال دوره آماری، میزان مبه وسیله عملکرد برنج محاسبه شده، ۴۴۸۷ کیلوگرم در هکتار است. حال با توجه به جدول اگر پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل منطقه‌ای به میزان ۱۰ درصد افزایش پیدا کند، عملکرد برنج ۱/۶۹ درصد نسبت به میانگین عملکرد محاسباتی افزایش نشان خواهد داد. اگر میزان افزایش پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل منطقه‌ای ۲۰ درصد باشد، در این صورت میزان عملکرد برنج محاسباتی ۴۶۳۶/۱۶ کیلوگرم در هکتار خواهد بود که نسبت به میانگین عملکرد محاسباتی حدود ۱۴۹/۱۶ کیلوگرم یا ۳/۳۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. حال اگر برعکس، میزان میانگین پارامترهای اقلیمی در مدل منطقه‌ای حدود ۱۰ درصد کاهش پیدا کند، در این صورت میزان عملکرد برنج محاسباتی حدود ۴۴۱۷/۴۳ کیلوگرم خواهد بود که نسبت به میانگین عملکرد حدود ۶۹/۵۷ کیلوگرم یا ۱/۵۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. اگر این میزان کاهش پارامترهای اقلیمی حدود ۲۰ درصد فرض شود، در این صورت میزان عملکرد حدود ۴۳۴۴/۵۲ کیلوگرم خواهد بود که نسبت به میانگین عملکرد حدود ۱۴۲/۴۸ کیلوگرم یا ۳/۱۷ درصد کاهش خواهد داشت. پس درصورتی‌که میزان پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل تا ۱۰± درصد تغییر پیدا کند، میزان عملکرد برنج نیز تا ۱/۶۹± درصد تغییر خواهد داشت و اگر میزان تغییر پارامترهای اقلیمی ۲۰± درصد شود، میزان عملکرد نیز تا ۳/۳۲± درصد تغییر خواهد کرد که تغییرپذیری عملکرد برنج در این صورت بسیار چشمگیر نخواهد بود.

تغییرپذیری عملکرد برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل ایستگاهی

پارامتر اقلیمی تأثیرگذار در بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه بندر انزلی، متغیر دمای حداقل مطلق ماه آوریل و مجموع بارش ماه نوامبر است. ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار برای ایستگاه انزلی در جدول (۷) نمایش داده‌شده است.

جدول ۷: ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل و سناریوهای پیش‌بینی در ایستگاه بندرانزلی

پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل		دمای حداقل مطلق ماه آوریل	مجموع بارش ماه نوامبر	میزان عملکرد برنج پیش‌بینی شده (کیلوگرم/هکتار، درصد)	
ویژگی‌های آماری پارامترها	حداکثر	۱۰	۶۲۱/۴		
	حداقل	۲/۲	۱۲۴/۹		
	میانگین	۷	۳۱۵/۱۴		
	انحراف از معیار	**۲/٤٥**	**۱۲۷/۱٥**		
	ضریب تغییرات	**۳٥**	**٤۰/۳٤**		
	آزمون روند منکندال	**-۰/۰٥۳**	**۰/۰٦۳**		
سناریوهای پیش‌بینی	افزایش ۱۰ درصد	۷/۷	۳۴۶/۹۴	۴۴۳۰	-۵/۸۹
	افزایش ۲۰ درصد	۸/۴	۳۷۸/۱۶	۴۱۵۱	-۱۱/۸۱
	کاهش ۱۰ درصد	۶/۳	۲۸۳/۶۲	۴۹۹۱	۶/۰۲
	کاهش ۲۰ درصد	۵/۶	۲۵۲/۱۱	۵۲۷۱	۱۱/۹۷

مأخذ: نگارندگان

میزان میانگین عملکرد برنج محاسباتی در ایستگاه بندرانزلی حدود ۴۷۰۷/۳۵ کیلوگرم در هکتار است. با توجه به جدول در صورت تغییر ۱۰± درصد پارامترهای اقلیمی، میزان عملکرد برنج حدود ۶/۰۲± درصد نوسان خواهد داشت و اگر میزان تغییر پارامترها ۲۰± درصد فرض شود، در این صورت میزان عملکرد حدود ۱۱/۹۷± درصد تغییر نشان خواهد داد.

در مدل ایستگاه تالش پارامتر اقلیمی تأثیرگذار بر میزان عملکرد برنج، متغیر میانگین دمای ماه ژوئن و دمای حداقل مطلق ماه نوامبر است. ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار برای ایستگاه تالش در جدول (۸) نمایش داده‌شده است.

جدول ۸: ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل و سناریوهای پیش‌بینی در ایستگاه تالش

پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل		میانگین دمای ماه ژوئن	دمای حداقل مطلق ماه نوامبر	میزان عملکرد برنج پیش‌بینی شده (کیلوگرم/هکتار، درصد)	
ویژگی‌های آماری پارامترها	حداکثر	۲۵/۴	۸/۸		
	حداقل	۲۲	-۲/۶		
	میانگین	۲۳/۸	۴/۴		
	انحراف از معیار	**۰/۹۵**	**۳/۳۵**		
	ضریب تغییرات	**۳/۹۹**	**۷۶/۱۳**		
	آزمون روند منکندال	**۰/۲۲۰**	**-۰/۰۹۱**		
سناریوهای پیش‌بینی	افزایش ۱۰ درصد	۲۶/۱۸	۴/۸۴	۵۲۳۳	۹/۶۸
	افزایش ۲۰ درصد	۲۸/۵۶	۵/۲۸	۵۶۹۵	۱۹/۳۶
	کاهش ۱۰ درصد	۲۱/۴۲	۳/۹۶	۴۳۰۸	-۹/۷
	کاهش ۲۰ درصد	۱۹/۰۴	۳/۵۲	۳۸۴۶	-۱۹/۳۸

مأخذ: نگارندگان

میزان متوسط عملکرد محاسباتی برنج در ایستگاه تالش با توجه به میانگین پارامترهای اقلیمی وارد شده در مدل، حدود ۴۷۷۱ کیلوگرم است. با توجه به جدول در صورت تغییر ۱۰± درصد پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه تالش، میزان عملکرد برنج حدود ۹/۷± درصد نوسان خواهد داشت و اگر میزان تغییر این پارامترها حدود ۲۰± درصد فرض شود، میزان عملکرد برنج حدود ۱۹/۳۸± درصد تغییر خواهد کرد.

پارامتر اقلیمی تأثیرگذار بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه بندر کیاشهر متغیر دمای حداقل مطلق ماه آوریل است. ویژگی‌های آماری پارامتر دمای حداقل مطلق ماه آوریل به‌عنوان تنها پارامتر اقلیمی تأثیرگذار برای ایستگاه بندر کیاشهر در جدول (۹) نمایش داده‌شده است.

جدول ۹: ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل و سناریوهای پیش‌بینی در ایستگاه بندر کیاشهر

پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل		دمای حداقل مطلق ماه نوامبر	میزان عملکرد برنج پیش‌بینی شده (کیلوگرم/هکتار، درصد)	
ویژگی‌های آماری پارامترها	حداکثر	۷		
	حداقل	-۲/۲		
	میانگین	٤/۱		
	انحراف از معیار	**۲/۸۲**		
	ضریب تغییرات	**٦۸/۷۸**		
	آزمون روند منکندال	**-۰/۰٦۷**		
سناریوهای پیش‌بینی	افزایش ۱۰ درصد	۴/۵۱	۴۴۴۰	+۱/۶۹
	افزایش ۲۰ درصد	۴/۹۲	۴۴۰۱	+۰/۸
	کاهش ۱۰ درصد	۳/۶۹	۴۵۱۶	+۳/۴۳
	کاهش ۲۰ درصد	۳/۲۸	۴۵۵۵	+۴/۳۲

مأخذ: نگارندگان

میزان میانگین عملکرد محاسباتی در ایستگاه بندر کیاشهر حدود ۴۳۶۶ کیلوگرم در هکتار است. با توجه به جدول در صورت تغییر ۱۰± درصد پارامترهای اقلیمی، میزان عملکرد برنج حدود ۳/۴۳+ درصد افزایش خواهد داشت و اگر میزان تغییر پارامترها ۲۰± درصد فرض شود، در این صورت میزان عملکرد حدود ۴/۳۲+ درصد افزایش نشان خواهد داد.

پارامترهای دمای حداکثر مطلق ماه آوریل، دمای حداقل مطلق ماه ژوئن و میانگین حداکثر دمای ماه فوریه در میزان عملکرد برنج در ایستگاه لاهیجان مؤثر هستند. میزان مبه وسیله عملکرد برنج در ایستگاه لاهیجان حدود ۴۵۲۴ کیلوگرم در هکتار است. ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی مؤثر در میزان عملکرد برنج در ایستگاه لاهیجان در جدول (۱۰) نمایش داده‌شده است.

جدول ۱۰: ویژگی‌های آماری پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در مدل و سناریوهای پیش‌بینی در ایستگاه لاهیجان

پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل		دمای حداکثر مطلق ماه آوریل	دمای حداقل مطلق ماه ژوئن	میانگین حداکثر دمای ماه فوریه	میزان عملکرد برنج پیش‌بینی شده (کیلوگرم/هکتار، درصد)	
ویژگی‌های آماری پارامترها	حداکثر	۳۶/۶	۱۵/۴	۳۰/۴		
	حداقل	۲۳/۲	۱۲/۲	۱۲		
	میانگین	۳۱/۵	۱۴/۲	۲۱/۵۹		
	انحراف از معیار	**۳/۹۲**	**۱/۱٤**	**۵/۵۷**		
	ضریب تغییرات	**۱۲/٤٤**	**۸/۰۲**	**۲۵/۷۹**		
	آزمون روند منکندال	**۰/۱۵۲**	**-۰/۰۱٦**	**-۰/۲٦۰**		
سناریوهای پیش‌بینی	افزایش ۱۰ درصد	۳۴/۶۵	۱۵/۶۲	۲۴/۱۵	۴۱۶۰	-۸/۰۴
	افزایش ۲۰ درصد	۳۷/۸	۱۷/۰۴	۲۵/۹۱	۳۸۴۷	-۱۴/۹۶
	کاهش ۱۰ درصد	۲۸/۳۵	۱۲/۷۸	۱۹/۴۳	۴۷۶۴	+۵/۳
	کاهش ۲۰ درصد	۲۵/۲	۱۱/۳۶	۱۷/۲۷	۵۰۷۰	+۱۲/۰۶

مأخذ: نگارندگان

در صورت افزایش ۱۰ درصدی در میزان پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه لاهیجان میزان عملکرد ۸/۰۴- درصد کاهش پیدا می‌کند و اگر میزان افزایش به ۲۰ درصد برسد، باعث کاهش ۱۴/۹۶- درصدی در

میزان عملکرد می‌شود. در صورت کاهش میزان پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه لاهیجان به مقدار ۱۰ درصد، عملکرد ۵/۳+ درصد افزایش پیدا می‌کند و در صورت وقوع ۲۰ درصد کاهش در مقدار پارامترهای اقلیمی مؤثر در مدل ایستگاه لاهیجان، میزان عملکرد ۱۲/۰۶+ درصد افزایش پیدا خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که در بحث مدل‌سازی نیز ذکر شد، در سه مورد از ایستگاه‌های مورد مطالعه در مناطق جلگه‌ای استان گیلان در ۲۰ سال دوره آماری هیچ مدلی شناسایی نشد، بنابراین عوامل اقلیمی نقش کمتری در میزان عملکرد برنج در این ایستگاه‌ها ایفا می‌کنند یا نقش پارامترهای اقلیمی پیچیده است. اثر تغییرپذیری عوامل اقلیمی بر میزان عملکرد برنج اندک است، در این ایستگاه‌ها نقش عوامل غیر اقلیمی مانند خاک، کود و نهاده‌های کشاورزی مهم‌تر از عوامل اقلیمی می‌باشند.

اما در سایر ایستگاه‌های منطقه مانند بندرانزلی، تالش، بندر کیاشهر و لاهیجان در استان گیلان نقش عوامل اقلیمی در میزان عملکرد برنج تأثیرگذار بوده و میزان تغییر پارامترهای اقلیمی در این ایستگاه‌ها باعث تغییرپذیری عملکرد برنج خواهد شد. در این پژوهش میزان تغییرپذیری عملکرد برنج با توجه به پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد برنج در ایستگاه‌های جلگه‌ای استان گیلان برآورد شده و میزان تغییرپذیری پارامترهای اقلیمی، از میانگین نرمال این پارامترها در طول دوره آماری ارزیابی‌شده است. مدل‌هایی که برای پیش‌بینی میزان پارامترهای اقلیمی مؤثر بر مقدار عملکرد برنج در ایستگاه‌ها استفاده می‌شود، میزان تغییر ۱۰ و ۲۰ درصد پارامترهای اقلیمی را از میانگین نرمال دوره آماری ایستگاه بیان می‌کند.

با توجه به نتایج حاصل‌شده، کمترین نقش حساسیت پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان تغییرپذیری عملکرد برنج در ایستگاه کیاشهر است، به‌طوری‌که اگر میزان پارامتر دمای حداقل مطلق ماه نوامبر به میزان ۱۰ درصد نسبت به میانگین آن‌ها دارای تغییر شوند، میزان تغییرپذیری عملکرد برنج در این ایستگاه تا میزان ۱/۶۹ درصد خواهد شد و اگر میزان این تغییر ۲۰ درصد نسبت به مبه وسیله پارامترها باشد، میزان تغییرپذیری عملکرد برنج تا میزان ۳/۴۳ درصد خواهد شد که میزان این تغییرپذیری اندک است.

بیشترین حساسیت پارامترهای اقلیمی مؤثر بر میزان تغییرپذیری عملکرد برنج در ایستگاه تالش وجود دارد، به‌طوری‌که اگر پارامترهای میانگین دمای ماه ژوئن و دمای حداقل مطلق ماه نوامبر در میزان عملکرد برنج در ایستگاه تالش به میزان ۱۰ درصد تغییر داشته باشد، میزان تغییرپذیری عملکرد برنج ۹/۶۸ درصد خواهد بود که این میزان تغییرپذیری نیز خیلی چشمگیر نیست و اگر پارامترهای اقلیمی مؤثر در میزان عملکرد برنج در این ایستگاه به‌اندازه ۲۰ درصد تغییر کند، میزان تغییرپذیری و نوسان عملکرد برنج حدود ۱۹/۳۶ درصد خواهد شد؛ که میزان این تغییرپذیری چشمگیرتر خواهد بود.

منابع

۱- آبابایی، بهنام.، سهرابی، تیمور.، میرزایی، فرهاد.، رضا وردی نژاد.، وحید.، و کریمی، بختیار (۱۳۸۹). اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول و تحلیل خطرات وابسته به آن (مطالعه موردی: منطقه رود دشت اصفهان). دانش آب‌وخاک، جلد بیست، شماره ۳، ص ۱۵۰-۱۳۵.

۲- اسدیان، فریده.، برنا، رضا. و حسن غلامعلی، عاطفه (۱۳۹۵): امکان‌سنجی کشت محصول گندم با استفاده از منطق بولین (مطالعه موردی: شهرستان شوش). سرزمین. دوره ۱۳، شماره ۵۱، ص ۱۴-۱.

۳- جعفر زاده، احمد.، خاشعی سیوکی، عباس. و شهیدی، علی (۱۳۹۵): طراحی یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی :دشت بیرجند). تحقیقات آب‌وخاک ایران، دورهٔ **۴۷** ، شماره**۴** ، ص ۸۵۹-۸۴۹.

۴- جلالی، مسعود.، محمدی، غلامحسن.، حسینی صدر، عاطفه. و خوشوقتی، حسین (۱۳۹۵): نقش پراکندگی مکانی و نوسان‌های زمانی پارامترهای اقلیمی در عملکرد گندم دیم (مطالعه موردی :شهرستان‌های کلیبر و خدا آفرین). جغرافیای طبیعی، سال نهم، شماره ۳۴، ص ۱۲۳-۱۰۵.

۵- دوات گر، ناصر.، زارع، احمد (۱۳۹۴): بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. مدیریت اراضی، جلد سوم، شماره ۱، ص ۱۳-۱.

۶- رضوی، سید حسن.، پور طاهری، مهدی. و رکن‌الدین افتخاری، علیرضا (۱۳۹۶): الگوی پیشنهادی کشت ارگانیک محصول برنج در مناطق روستایی استان‌های گیلان و مازندران، پژوهش‌های روستایی، دوره ۸، شماره ۳، ص ۳۸۷-۳۷۲.

۷- رمضان نژاد، یاسر.، رکن‌الدین افتخاری، عبدالرضا. و پور طاهری، مهدی (): سنجش نگرشی اثرات گردشگری ساحلی بر توسعه پایدار روستاهای ساحلی استان گیلان. آمایش جغرافیایی فضا، سال ششم، شماره ۲۰، ص ۱۶۰-۱۴۵.

۸- سجادیان، مسعود.، علی پور جهانگیری، علی.، کامبوزیا، جعفر.، زهری، مجید. و بهشتی مارنانی، مسیح (۱۳۹۲): مقایسه کارایی انرژی کشت بوم‌های برنج (*Oryza sativa* L.) در دو استان گیلان و کهگیلویه و بویراحمد. کشاورزی بوم‌شناختی، دوره ۱، شماره ۳. ص ۲۶-۱۷.

۹- سیدمحمدی، جواد. و اسماعیل نژاد، لیلا (۱۳۹۳): ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی برای برنج در نواحی مرکزی گیلان. دانش آب‌وخاک. جلد ۲۴، شماره ۱، ص ۱۸۱-۱۶۵.

۱۰- شرقی، طاهره.، کلانتری، خلیل.، اسدی، علی. و جمعه پور، محمود (۱۳۹۵): شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیمی و سیاست انتقال آب از بخش کشاورزی به صنعت بر منابع آبی و تأثیر آن بر تولیدات باغی (در استان یزد). تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. دوره ۲-۴۷، شماره ۴، ص ۸۶۳-۸۵۱.

۱۱- شیداییان، مجید.، ضیاءتبار احمدی، میر خالق. و فضل اولی، رامین (۱۳۹۳): تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). آب‌وخاک. جلد ۲۸، شماره ۶ ص ۱۲۹۷-۱۲۸۴.

۱۲- فرج زاده اصل، منوچهر.، کاشکی، عبدالرضا. و شایان، سیاوش (۱۳۸۸): تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول گندم دیم با رویکرد تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی). مدرس علوم انسانی، دوره ۱۳، شماره ۳، ص ۲۵۶-۲۲۷.

۱۳- قربانی، خلیل. و سلطانی، افشین (۱۳۹۳): اثر تغییر اقلیم بر عملکرد سویا در منطقه گرگان. پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد بیست و یکم، شماره ۲، ص ۸۵-۶۷.

۱۴- کاوسی کلاشمی، محمد.، پیکانی، غلامرضا.، حسینی، سید صفدر. و سلامی، حبیبا... (۱۳۹۳): ارزیابی آثار کاهش آورد شبکه سفیدرود بر الگوی کشت زراعی دشت مرکزی استان گیلان. اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و دوم، شماره ۸۶، ص ۱۸۱-۱۵۹.

۱۵- کشاورز، فتحا...، الهیاری، محمدصادق.، آذرمی سه ساری، ذکریا. و خیاطی، مهدی (۱۳۸۹): عوامل مؤثر بر عدم پذیرش کشت ارقام برنج پر محصول در میان کشاورزان استان گیلان. پژوهش‌های ترویج و آموزش کشاورزی، سال سوم، شماره ۴، ص ۱۱۲-۹۹.

۱۶- کوچکی، علیرضا؛ و نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۹۵): تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران ۲- پیش‌بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری، پژوهش‌های زراعی ایران، جلد چهاردهم، شماره ۱، ص ۲۰-۱.
۱۷- مرادی، روحا.... کوچکی، علیرضا؛ و نصیری محلاتی، مهدی (۱۳۹۲): تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کشت به‌عنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد. دانش کشاورزی و تولید پایدار، جلد ۲۳، شماره ۴، ص ۱۳۰-۱۱۲.

18- Ackerman, F. & Stanton, E.A. (2013): Climate Impacts on Agriculture: A Challenge to Complacency? Global Development and Environment Institute. Working Paper No.13-01
19- Corobov, R. (2002): Estimation of Climate Change Impacts Crop Production in The Republic of Moldova. Geo. J. 57: 195-202.
20- Doll P. (2002): Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: a Global Perspective. J. of Climatic Change. 54, 269–293.
21- Falloon P and Betts R, (2010): Climate Impacts on European Agriculture and Water Management in The Context of Adaptation and Mitigation-The Importance of An Integrated Approach. Sci Total Environ 408: 5667–5687.
22- Haverkort, A.J. and Verhagen, A. (2008): Climate Change and Its Repercussions For The Potato Supply Chain. J. Potato Res. 51: 223-237.
23- Lhomme, J.P. Mougou, R. and Mansour, M. (2009): Potential Impact of Climate Change on Durum Wheat Cropping in Tunisia. J. Clim. Change. 96: 4. 549-564.
24- Ogle SM, Breidt FJ and Paustian K, (2005): Agricultural Management Impacts on Soil Organic Carbon Storage Under Moist and Dry Climatic Conditions of Temperate and Tropical Regions. Biogeochemist 72: 87-121.
25- Rosenzweig, C. and Parry, M.L. (1994): Potential Impacts of Climate Change on World Food Supply. Nature. 367: 133-138.
26- Rosenzweig C and Tubiello FN, (2007): Adaptation and Mitigation Strategies in Agriculture: An Analysis of Potential Synergies. Mitig Adapt Strat Glob Change 12: 855–873.
27- Roy K. Masudur R. and Uthpal K. (2009): Future Climate Change and Moisture Stress: Impact on Crop Agriculture in South-Western Bangladesh. Climate Change and Development, Volume 1 Issue 1.
28- Shiferaw BA, Okello J and Reddy RV, (2009): Adoption and Adaptation of Natural Resource Management Innovations in Smallholder Agriculture: Reflections on Key Lessons and Best Practices. Environ Dev Sustain 11: 601–619.
29- Smit B and Skinner MW, (2002): Adaptation Options in Agriculture to Climate Change: a Typology. Mitig Adapt Strat Glob Change 7: 85–114.
30- Trnka M, Dubrovsky M and Ekzalud Z, (2004): Climate Change Impacts and Adaptation Strategies in Spring Barley Production in The Czech Republic. Clim Change 64: 227–255.
31- Tubiello FN, Jagtap S, Rosenzweig C, Goldberg R and Jones JW, (2002): Effects of Climate Change on US Crop Production From The National Assessment. Simulation Results Using Two Different GCM Scenarios. Part I: Wheat, Potato, Corn, and Citrus. Climate Res 20: 259–270.
32- U.S. (2010): Global Change Research Program, Global Climate Change Impacts in United States: Agriculture. Retrieved from: http://www.gl obalchange.gov/images /cir/pdf/ agriculture.pdf.(USGCRP)
33- Vergé XPC, De Kimpe C and Desjardins RL, (2007): Agricultural Production, Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Potential. Agric For Meteorol 2–4: 255–69.
34- Yano, T. Aydin, M. and Haraguchi, T. (2007): Impact of Climate Change On Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. J. Sens. 7: 2297-2315.
35- Yu, P.S. Yang, T.C. and Chou, C. C. (2002): Effects of Climate Change on Evapotranspiration From Paddy Fields in Southern Taiwan. J. Clim. Change. 54: 165-179.