

بررسی نقش عوامل اقلیمی و خشکسالی بر تغییرپذیری عملکرد چهار محصول

دیم در مشهد و بیرجند

حمید زارع ایبانه^{1*}

تاریخ دریافت: 90/03/01 تاریخ پذیرش: 91/05/15

¹ دانشیار گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا.

*مسئول مکاتبه: Email: zareabyaneh@gmail.com

چکیده

پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی یکی از ابزارهای مدیریتی در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری بخش کشاورزی است. متغیرهای آب و هوایی و شاخص‌های خشکسالی نقش اساسی در پیش‌بینی عملکرد ایفا می‌کنند. در این تحقیق پیش‌بینی عملکرد چهار محصول دیم شامل گندم، جو، هندوانه و نخود در منطقه مشهد و بیرجند براساس متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی در قالب سه مدل رگرسیونی اتوماتیک، گام به گام و ریج انجام گرفت. برای این منظور از ده پارامتر هواشناسی و هفت شاخص خشکسالی در قالب سه ساختار اطلاعاتی در ورودی مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که از بین متغیرهای هواشناسی، دو متغیر تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند و دمای بیشینه هوا در منطقه مشهد، بیشترین تعداد همبستگی‌ها را بر عملکرد محصولات زراعی داشتند. به‌همین ترتیب از بین شاخص‌های خشکسالی، شاخص نگوین چنین وضعیتی را نشان داد. در این مطالعه مشخص شد برای پیش‌بینی عملکرد محصولات، مدل چندمتغیره ریج با ساختار اطلاعاتی همه عوامل شامل پارامترهای هواشناسی و مقادیر کمی شده شاخص خشکسالی در مقایسه با دو ساختار اطلاعاتی مربوط به عوامل هواشناسی و خشکسالی قابل توصیه است. در این پیشنهاد براساس بالاترین ضریب تعیین (R^2) و کمترین میانگین مجذور مربعات خطای نرمال (NRMSE) می‌باشد. براساس نتایج این تحقیق در هر دو منطقه و برای هر چهار محصول مقدار ضریب تعیین بین 0/91 تا 0/99 و مقدار میانگین مجذور مربعات خطای نرمال از 0/09 تا 0/48 به‌دست آمد. نتایج حاصل همچنین بیان‌گر بیشترین دقت پیش‌بینی برای محصول گندم با R^2 بیش از 0/996 و خطای NRMSE معادل 0/09 در منطقه مشهد و R^2 بیش از 0/999 و خطای NRMSE معادل 0/09 برای نخود در منطقه بیرجند بود. به‌همین ترتیب کمترین دقت پیش‌بینی مربوط به محصول هندوانه با ضریب تعیین 0/92 و خطای 0/48 در منطقه بیرجند و 0/96 و 0/27 در منطقه مشهد می‌باشد. در مجموع نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون چندمتغیره با توجه به R^2 بالا و NRMSE کم، مدل ریج برای هر دو منطقه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون چند متغیره، شاخص خشکسالی، عملکرد، مدل ریج

Evaluating Roles of Drought and Climatic Factors on Variability of Four Dry Farming Yields in Mashhad and Birjand

H Zare Abyaneh ^{*1}

Received: 22 May 2011 Accepted: 5 August 2012

¹Assoc. Prof., Irrigation and Drainage Engin., Agric. Faculty Bu-Ali Sina Univ., Hamedan, Iran.

*Corresponding Author Email: zareabyaneh@gmail.com

Abstract

Prediction of crop yield is one of the managerial and planning tools in agriculture. Meteorological variables and drought indices play an essential role in yield prediction. In this study, the yield of four crops, namely wheat, barley, chickpea and watermelon was predicted in Mashhad and Birjand regions based on meteorological variables and drought indices using three regression models of Ridge, Enter and Step Wise. For this purpose, ten meteorological parameters and seven drought indices were used in three structures as input multivariate regression models. Results showed that among the meteorological variables, the two variables: number of rainy days and maximum air temperature had higher correlation with crops under study. Similarly, among drought indices, Nguyen index showed such higher correlation. It was found that Ridge multivariate model including weather parameters and meteorological drought indices could be recommended instead of two structures of meteorological variables and drought indices for yield prediction. This recommendation was based on multiple regression analysis and higher determination coefficient (R^2) and a lower normal root mean squared error (NRMSE). Also, determination coefficients for all four products in both regions were from 0.91 to 0.99 and NRMSE from 0.09 to 0.48. Results also showed that the most prediction accuracy was for wheat with R^2 of 0.996 and NRMSE of 0.09 in Mashhad and for chickpea with R^2 of 0.999 and NRMSE of 0.09 in Birjand. Similarly, the least accurate prediction belonged to watermelon having R^2 of 0.92 and NRMSE of 0.48 in Birjand and R^2 of 0.96 and NRMSE of 0.27 in Mashhad. Overall, due to high R^2 and low NRMSE, Ridge regression model is recommended for both regions.

Keywords: Drought index, Multivariate regression, Ridge model, Yield

فزآینده‌ای را بر استفاده بی‌رویه و نامطلوب از منابع طبیعی آب و خاک برای افزایش محصولات کشاورزی وارد می‌سازد. تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه کشت دیم، همبستگی بالایی با مقدار نزولات جوی و

مقدمه

کشور پهناور ایران در منطقه خشک و نیمه-خشک قرار گرفته و با توجه به شرایط توپوگرافی، دارای اقلیمی متنوع می‌باشد. در این بین افزایش جمعیت، فشار

مدل‌ها سعی بر این است که از طریق یک یا چند متغیر مستقل، متغیر وابسته پیش‌بینی شود (عریضی و گل پرور 1388). لاندو و همکاران (2000) در تبیین ارتباط عملکرد محصول گندم زمستانه با عوامل محیطی بارش، دما و تابش از مدل رگرسیون چندگانه براساس اطلاعات سال‌های 1967 تا 1993 انگلستان استفاده کردند. نتایج آنان حاکی از اثرات منفی بارش و اثرات مثبت درجه حرارت و تابش در مقاطعی از دوره رشد بود. در همین راستا برخی نیز خشکسالی را به واسطه افزایش شدت و دوره برگشت‌های آن از جمله عوامل کاهنده قابل ملاحظه عملکرد و سطح زیرکشت محصولات دانسته‌اند (زارع ابیانه و همکاران 1388، تقوی و محمدی 1386). به‌همین دلیل پدیده خشکسالی عامل بسیار مهمی در سناریوهای اقلیمی است که موید کاهش قابل توجه عملکرد گندم دیم می‌باشد (نصیری محلاتی و کوچکی 1384). رحمانی و همکاران (1387) با بررسی ارتباط پارامترهای آب و هوایی و ضرایب مختلف خشکسالی بر عملکرد محصول جو نشان دادند سرعت متوسط باد و شاخص خشکسالی نگوین¹ بیشترین ضریب همبستگی را با عملکرد داشته است. در تحقیقی مشابه توسط دربندی و همکاران (1386) تاثیر شدت خشکسالی‌های کشاورزی بر عملکرد گندم دیم در منطقه تبریز ارزیابی گردید. نتایج این مطالعه نشان داد شدت افزایش عملکرد نسبی با افزایش بارندگی‌ها متناسب نبوده و حتی در برخی سال‌ها با وجود افزایش بارندگی، عملکرد نسبی محصول کاهش داشته است. ترنکا و همکاران (2007) دلیل این امر را تاثیرپذیری عملکرد از عوامل غیراقلیمی مانند عوامل انسانی و مدیریتی و زارع ابیانه و همکاران (1388) توزیع نامناسب زمانی بارش طی فصل رشد را موجب کاهش عملکرد دانسته‌اند. بذرافشان و همکاران (1388) نیز با تاکید بر نقش عوامل اقلیمی از طریق مطالعه تاثیر دو مشخصه تداوم و سختی خشکسالی بر عملکرد گندم

برخی عوامل اقلیمی دارد. خشکسالی از جمله پرهزینه‌ترین حوادثی است که اثرات زیان‌بار اقتصادی را بر بخش‌های اقتصادی و کشاورزی وارد می‌سازد. به‌همین دلیل اهمیت خدمات هواشناسی در کمک به بهبود راندمان کشاورزی بارزتر می‌شود. در مواقع خشکسالی با تغییر شرایط محیطی، وضعیت تولید به‌شدت تحت تاثیر عوامل جوی قرار گرفته و موجب کاهش محصول می‌شود. در خشکسالی با کاهش رطوبت خاک مجاور منطقه ریشه به زیر نقطه پژمردگی، عملکرد محصول افت می‌نماید. علت کاهش عملکرد را می‌توان به کمبود آب قابل دسترس گیاه نسبت داد که موجب بسته شدن روزنه‌ها و کاهش یا توقف فتوسنتز می‌گردد. به اعتقاد عزیزی و یاراحمدی (1382) هر گیاه حساسیت‌هایی نسبت به تغییرات شرایط آب و هوایی دارد و شناخت آن‌ها امکان اتخاذ تصمیم مناسب جهت انجام زراعت را فراهم می‌سازد. در این راستا نتایج مطالعات لوبل (2005) در مکزیک نشان داد تغییرات عوامل اقلیمی دما و بارش در جهت افزایش عملکرد گندم، طی سه دهه گذشته عمل نموده است. درحالی‌که نتایج پژوهشی حسینی و نصیری محلاتی (1387) در منطقه خراسان نشان‌دهنده کاهش مداوم عملکرد زعفران در یک دهه گذشته به واسطه تغییرات شاخص‌های آب و هوایی است. به‌طوری‌که کاهش 31 تا 66 درصدی عملکرد زعفران در شهرستان‌های اصلی تولید کننده (در خراسان) با دو عامل درجه حرارت و رطوبت قابل توصیف است.

در دهه‌های گذشته، دانشمندان و متخصصان علوم کشاورزی و اقلیم‌شناسی تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه اقلیم کشاورزی انجام داده و با ارائه روش‌های مختلف سعی در شناسایی و تبیین ارتباط عناصر و عوامل اقلیمی با کشت و مراحل رشد و نمو محصولات داشته‌اند. مدل‌های رگرسیونی از جمله مدل‌های آماری هستند که در علوم محیطی به‌ویژه در کشاورزی از کاربرد وسیعی برخوردار هستند. در این

¹ Nguyen index

حالت چندان مستقل نمی‌باشند که منجر به تضعیف کارایی مدل‌های متداول رگرسیونی می‌شود. فرض عدم استقلال کامل متغیرهای مستقل در بحث عملکرد با عوامل اقلیمی و خشکسالی فرض مقبولی است زیرا مبنای بسیاری از شاخص‌های خشکسالی، عوامل اقلیمی است که بر عملکرد محصولات زراعی تاثیرگذار هستند که در چنین شرایطی برای جلوگیری از نتیجه‌گیری ضعیف مدل‌های رگرسیونی از دیگر مدل‌ها مانند مدل ریج¹ استفاده می‌شود (رضایی و سلطانی 1382).

پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی خصوصاً محصولات دیم کمک می‌کند تا مکان‌یابی انبار محصول، ورود و خروج محصول به انبارها، قیمت خرید، صادرات و واردات به‌نحو دقیق‌تری تنظیم و برنامه‌ریزی شود. در سال‌های اخیر مدل‌های ریاضی مختلفی در ارتباط با عملکرد محصولات کشاورزی پیشنهاد شده است. در مطالعه حاضر تلاش شده است تا با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، امکان پیش‌بینی میزان عملکرد محصول قبل از برداشت و نحوه ارتباط و تاثیرگذاری عوامل اقلیمی و شاخص‌های خشکسالی بر عملکرد مورد بررسی قرار گیرد. دان و همکاران (1994)، لاندو و همکاران (2000)، ویلر و همکاران (2000)، هانسن و همکاران (2004) و لی و همکاران (2007) نیز مطالعات مشابه در دیگر نقاط جهان انجام داده‌اند. بنابراین در این مطالعه با کمک آمار 22 ساله (1362-1384) شهرهای مشهد و بیرجند در دو اقلیم متفاوت از منطقه خراسان و برقراری رابطه همبستگی بین پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی با عملکرد دیم محصولات گندم، جو، نخود و هندوانه، امکان پیش‌بینی عملکرد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

دیم رقم سرداری کرمانشاه، نشان دادند که مجموع افت محصول در خشکسالی‌هایی با تداوم کمتر و افت بارندگی شدیدتر، در مقایسه با خشکسالی‌های با تداوم بزرگتر و افت بارندگی کمتر، بیشتر است. مطالعه عزیزی و صفرخانی (1381) در بررسی تاثیر خشکسالی بر عملکرد گندم دیم استان ایلام بیان‌گر کاهش 50 درصدی عملکرد بوده است. تحقیقات انجام شده در سطح استان لرستان توسط یاراحمدی و نصیری (1383) نشان داد حدود 72 درصد از عملکرد گندم دیم به تعداد و مقدار بارش‌های روزانه‌ی فصل رشد و بارش‌های پاییزه وابسته است. نتایج برخی تحقیقات نشان می‌دهد مدیریت زراعی می‌تواند تا حدودی آثار منفی خشکسالی را کاهش دهد. در این راستا برونینی و همکاران (2000) تغییر در تاریخ کشت گیاهان، کمالی (1376) هم‌زمانی کاشت گندم دیم با شروع بارش‌های پاییزه و عزیزی (1379) کاشت محصولات دیم براساس محاسبه بارش موثر را پیشنهاد نمودند. تحقیقات صمدی نقاب (1385) و اسلامیان و همکاران (1385) نشان می‌دهد تغییرات عوامل هواشناسی تا حد زیادی بیان‌گر تغییرات خشکسالی نیز هست و عوامل هواشناسی هر منطقه، بخش عمده‌ای از ویژگی‌های خشکسالی آن منطقه را نمایندگی می‌نماید. همین امر می‌تواند توجیه‌کننده نقش عوامل هواشناسی و خشکسالی در عملکرد محصولات کشاورزی و به‌عنوان متغیرهای مستقل در مدل‌های رگرسیونی باشد. لیکن وجود رابطه بالای بین متغیرهای مستقل، یکی از مشکلات مدل‌های رگرسیونی است که علی‌رغم کاربرد زیاد آن‌ها وجود دارد (رضایی و سلطانی 1382). در چنین شرایطی می‌توان به اثر هم‌راستایی یا هم‌خطی چندگانه بین متغیرهای مستقل اشاره داشت که باعث افزایش ضریب رگرسیونی و گمراهی در برآوردهای مدل‌های رگرسیونی منتهی می‌گردد (عساکره 1383). در چنین شرایطی بین متغیرهای مستقل ارتباط وجود دارد و متغیرهای مستقل در این

¹ Ridj model

مواد و روش‌ها

رشد چمن (246 روز) به دست آمد. لازم به ذکر است که گیاه چمن به عنوان گیاه مرجع در محاسبات تبخیر تعرق گیاهان زراعی است و طول دوره رشد آن، سایر محصولات زراعی را پوشش می‌دهد (حیدری و همکاران 1388). بیشترین مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع در هر دو منطقه، به ماه آبان و کمترین مقدار به ماه تیر تعلق داشت. برای پارامتر بارش به دلیل تاثیرگذاری بارش‌های پاییزه، زمستانه، بهاره بر عملکرد محصولات دیم و ناچیز بودن بارش تابستانه از میانگین سالانه آن استفاده شد که در مطالعه کریمی و همکاران (1380) نیز بدان اشاره شده است.

متغیرهای هواشناسی شامل دمای حداقل (T_{min})، دمای حداکثر (T_{max})، دمای نقطه شبنم (T_{dew})، متوسط دمای هوا (T_{mean})، رطوبت نسبی حداقل (RH_{min})، رطوبت نسبی حداکثر (RH_{max})، رطوبت نسبی متوسط (RH_{mean})، سرعت باد (U_2)، ساعات آفتابی (n)، بارش (P)، تعداد روزهای بارانی (n_p) و فشار بخار هوا (V_p) بودند.

میانگین پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در دو ایستگاه مورد مطالعه در جدول 1 گزارش شده است.

از سویی مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی درصد نرمال⁴ (PNPI)، بارندگی سالانه استاندارد⁵ (SIAP)، هیدرترمال سلینینف⁶ (HT)، نگوین⁷ (Km)، ناهنجاری بارش⁸ (RAI)، رطوبتی شاشکو⁹ (Md) و ترانسو¹⁰ (Ih) براساس میانگین اطلاعات هواشناسی محاسبه شد. شاخص‌های فوق در مطالعات زارع ابیانه و محبوبی (1383) و رحمانی و همکاران (1387) نیز به کارگرفته شده است. کاربرد این شاخص‌ها در مطالعات

این پژوهش به منظور بررسی و ارزیابی ارتباط شاخص‌های گوناگون خشکسالی و عوامل مختلف هواشناسی بر عملکرد دیم محصولات گندم، جو، نخود و هندوانه در دو شهر مشهد و بیرجند طراحی گردید. این دو شهر به ترتیب مرکز دو استان خراسان رضوی به مساحت 127000 کیلومتر مربع و خراسان جنوبی به مساحت 83000 کیلومتر مربع در شمال شرق و شرق کشور می‌باشند. این دو استان به جهت برخورداری از تنوع اقلیمی و شرایط آب و هوایی، مناسب و سازگار برای کشت دیم می‌باشند (مرجانی و همکاران 1385). انتخاب نوع محصولات و محل‌های مطالعاتی قبل از آن - که تابع یک سیستم پایه‌ای ثابت باشد، تابع تنوع اقلیمی، دسترسی به آمار و اطلاعات و کشت آن‌ها در بیشتر مناطق خراسان بود. شهرستان مشهد و شهرستان بیرجند از نظر تقسیمات آب و هوایی براساس اقلیم‌های کوپن¹ به ترتیب در دو اقلیم نیمه خشک² (BS) و معتدل مرطوب³ (C) دسته‌بندی شدند (دین پژوه 2006).

با توجه به این‌که در این تحقیق ارزیابی ارتباط مشخصه‌های هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی با عملکرد گیاهان دیم مدنظر بود از میانگین متغیرهای هواشناسی در بازه زمانی سالانه بهره‌گیری شد. انتخاب این گام زمانی به دلیل سهولت محاسبات به واسطه عدم تکرار محاسبات به تفکیک هر یک از محصولات و همخوانی با مقادیر عملکرد محصولات بود که به صورت سالانه اندازه‌گیری و گزارش می‌گردد. از سویی تبخیر تعرق گیاه مرجع مطابق دوره رشد گیاه چمن از ابتدای فروردین تا پایان آبان ماه و براساس مقادیر کمینه، بیشینه و میانگین درازمدت هواشناسی به روش استاندارد پنمن مانیتیت فائو 56³ محاسبه شد (زارع ابیانه و همکاران 1390). مقدار روزانه تبخیر تعرق با تقسیم مقدار محاسباتی به تعداد روزهای دوره

⁴Percentage of normal precipitation index

⁵Standard index of annual precipitation

⁶Converted selenianov hydrothermal index

⁷Nguyen index

⁸Rainfall anomaly index

⁹Shashko moisture drought index

¹⁰Transeau index

¹ Koppen climatic classification

² Semi-arid

³ Marginal climate

$$PNPI = 100 \frac{P_i}{P_{ni}} \quad [6]$$

$$\begin{cases} RAI = \frac{-3 \times (P_i - P)}{(x - P)} & \text{if } : P_i < P \\ RAI = \frac{3 \times (P_i - P)}{(M - P)} & \text{if } : P_i > P \end{cases} \quad [7]$$

که در آن P_i بارش سالانه (میلی‌متر)، P_{ni} بارش نرمال سالانه (میلی‌متر)، \bar{P} متوسط بلندمدت بارش سالانه (میلی‌متر)، ET_i تبخیر تعرق سالانه (میلی-متر)، M میانگین 10 مورد از بیشترین بارش‌های اتفاق افتاده در دوره مورد مطالعه، x میانگین 10 مورد از کمترین بارش‌های اتفاق افتاده در دوره مورد مطالعه، E_i تبخیر سالانه (میلی‌متر)، T_i میانگین دمای هوا (درجه سلسیوس) و V_{pi} فشار بخار هوای سالانه (هکتو پاسکال).

گوناگون از جمله باکن و همکاران (2005)، خلیلی و بذرافشان (1382) و زارع ایبانه و همکاران (1388) مورد ارزیابی قرار گرفته و دقت آن‌ها به اثبات رسیده است. شکل ریاضی شاخص‌های خشکسالی به‌کارگرفته شده در این پژوهش و روش محاسبه آن‌ها به‌شرح زیر می‌باشد:

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad [1]$$

$$Md = \frac{P_i}{V_{pi}} \quad [2]$$

$$HT = \frac{P_i}{0.1 \times \sum T_i \geq 10^{0C}} \quad [3]$$

$$K_m = \frac{ET_i}{P_i} \quad [4]$$

$$I_h = \frac{P_i}{E_i} \quad [5]$$

جدول 1- مشخصات پارامترهای هواشناسی مورد استفاده

منطقه	اقلیم	ترتیب	دما (°C)				رطوبت نسبی (%)				فشار بخار هوا (kPa)	تبدیل باد دو متری (ms ⁻¹)	ساعات آفتابی (hr)	بارندگی ماهانه (mm)	بارانی بارندگی ماهانه	تعداد روزهای مرطوب (mm ⁻¹)	تبخیر تعرق گیاه (mm ⁻¹)
			حداقل	حداکثر	میانگین	نقطه شبنم	حداقل	حداکثر	میانگین								
بیرجند	BS	کمینه	7	22/5	14/8	14/8	32/4	14/7	48/1	2/4	4/7	240/3	60	2/4	2/2	1/8	2/2
		بیشینه	9/4	25/6	17/5	60/8	25/3	6/5	6/8	43/0	6/8	259/1	246	6/5	4/1	6/4	4/1
		میانگین	8/1	24/3	16/2	53/7	19/9	4/8	5/7	36/8	5/7	270	162	4/8	3/3	4/1	3/3
		کمینه	5/9	19/7	13/5	61/4	27	2/5	6/7	45/2	6/7	236/5	107/8	2/5	1/4	8/4	1/4
بیرجند	C	بیشینه	9/7	23/3	16/5	81/2	42/3	81/2	16/5	10/1	511/3	423	6/0	3/1	15/4	3/1	3/1
		میانگین	8/4	21/6	15	73/0	35/1	4/3	8/4	53/6	8/4	438/4	253/5	4/3	2/3	11/9	2/3

طول جغرافیایی 59/2 درجه شرقی، ارتفاع 1491 متر از سطح دریا بود. نکته مهم در استفاده از داده‌های اقلیمی وجود داده‌های طولانی مدت عملکرد دیم محصولات انتخابی بود که جمع‌آوری آن‌ها برای 22 سال زراعی میسر گردید. مسلماً هر چه طول دوره آماری پارامترهای اقلیمی و زراعی بیشتر و خلاء آماری کمتر باشد، دقت نتایج بیشتر خواهد بود. در این مطالعه به دلیل عدم وجود خلاء آماری در سری زمانی انتخابی، نیازی به بازسازی داده‌ها نبود. تمامی داده‌های زراعی

داده‌های سری زمانی مربوط به 22 سال زراعی (63-1362 تا 85-1384) عملکرد محصولات کشاورزی از سازمان جهاد کشاورزی و اطلاعات عوامل هواشناسی متناظر با سال‌های زراعی، از سازمان هواشناسی کشوری جمع‌آوری گردید. اطلاعات هواشناسی، مربوط به دو ایستگاه سینوپتیک مشهد واقع در عرض جغرافیایی 36/16 درجه شمالی، طول جغرافیایی 59/38 درجه شرقی، ارتفاع 999 متر و بیرجند واقع در عرض جغرافیایی 32/87 درجه شمالی،

را می‌توان به تاثیر متفاوت آن‌ها بر عملکرد محصولات دانست. زیرا در برخی شاخص‌های خشکسالی از متغیرهای هواشناسی به اشکال دیگری استفاده شده است. به‌عنوان نمونه در شاخص نگوین و ترانسو از دو متغیر تبخیر تعرق و تبخیر به‌عنوان دو عامل مهم در تغییر رفتار سطوح تبخیری یا تبخیر تعرقی بهره گرفته شده است. به‌همین ترتیب در دو شاخص هیدرترمال سلیانینف و ناهنجاری بارش از محدوده‌های مشخصی از دما و بارش استفاده شده است. لذا اثرات متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی در تعیین رفتار گیاه و به‌تبع عملکرد عملکرد محصولات زراعی می‌تواند متفاوت باشد. به‌ترتیبی مشابه یک سال دارای بارندگی ممکن است رفتارهای متفاوتی از شدت خشکسالی را داشته باشد.

با لحاظ متغیرهای مستقل برای هر محصول در هر منطقه، معادله رگرسیونی چندمتغیره زیر جهت برآورد عملکرد استفاده شد.

$$Y_i = b_i + \sum_{j=1}^n a_{ij}x_{ij} + e_i \quad [8]$$

که در آن Y میزان عملکرد محصول دیم پیش-بینی شده، b عرض از مبدا معادله، a ضرایب ثابت معادله، i از 1 تا 4، نام محصولات زراعی و j از 1 تا n تعداد متغیرهای مستقل تاثیرگذار در عملکرد.

تأثیر متقابل و هم‌زمان عناصر و عوامل اقلیمی زمینه‌های به‌کارگیری روش‌های چند متغیری را در تفسیر پراکندگی زمانی - مکانی عملکرد محصولات زراعی فراهم نموده است. یکی از روش‌های چند متغیری پرکاربرد، روش رگرسیون چند متغیره است (عساکره 1383). در این مطالعه عملیات ایجاد مدل‌های رگرسیونی چند متغیره با داده‌های دسته‌بندی شده به-روش‌های گام به گام³، اتوماتیک⁴ و ریج⁵ انجام و دسته

و هواشناسی در رایانه به‌ترتیب سال‌های زراعی مرتب و نسبت به نرمال بودن و همگنی آن‌ها به‌ترتیب از آزمون کلمگروف اسمیرونوف¹ و آزمون ران² اطمینان حاصل شد (زارع ایبانه و همکاران 1390). سپس از روش همبستگی پیرسون میزان تاثیر و معنی‌داری هر یک از متغیرهای هواشناسی و مشخصه‌های خشکسالی بر عملکرد محصولات زراعی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همبستگی به‌صورت جدول، در دو سطح معنی‌داری 0/05 و 0/01 ارائه گردید. همچنین از تحلیل رگرسیون چند متغیره به‌عنوان یک ابزار ریاضی مناسب جهت توصیف کمی ارتباط بین متغیرها با مشارکت جمعی چند متغیر مستقل بر تغییرات یک متغیر وابسته در محیط نرم‌افزار SPSS استفاده شد. معادلات رگرسیون چند متغیره خطی، معادله‌های ریاضی هستند که با استفاده از روش‌های آماری و چند متغیر پیش-بینی کننده (متغیرهای ورودی) قابل ایجاد هستند. در مدل‌های رگرسیونی ایجاد شده، با اختصاص یک ضریب به هر متغیر پیش‌بینی کننده، میزان و نحوه اثرگذاری متغیرهای مستقل در میزان خروجی براساس اندازه و علامت تعیین گردید. در این تحلیل بسته به نوع داده‌های در دسترس، یک رابطه منطقی بین متغیرهای وابسته و متغیر مستقل برقرار شد. پیش فرض این تحلیل، تصور نوعی پیوستگی و پایداری نهفته در داده‌های گذشته است که سعی در یافتن قانون حاکم بر این یک‌پارچگی و تعمیم آن به آینده است. از آنجایی‌که معمولاً هیچ‌کدام از عوامل مستقل به‌تنهایی قادر به شرح تمام تغییرات مشاهده شده درباره عملکرد نیستند از این‌رو تمامی متغیرهای مستقل در سه گروه متغیرهای هواشناسی، شاخص‌های خشکسالی و ترکیب متغیرهای هواشناسی و شاخص‌های خشکسالی دسته‌بندی شدند. علت انتخاب مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی در کنار متغیرهای هواشناسی، به‌عنوان متغیرهای مستقل

³Step wise⁴Enter⁵Ridge¹Kolmogorov-Smirnov²Run Test

که در آن Y_{oi} مقدار مشاهده شده عملکرد/ام (کیلوگرم در هکتار)، Y_{pi} مقدار برآورد شده i ام (کیلوگرم در هکتار)، \bar{Y}_p میانگین مقدار برآورد شده (کیلوگرم در هکتار) \bar{Y}_o میانگین مقدار مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار) و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

نتایج و بحث

اولین گام در تحلیل سری‌های زمانی، مشاهده گرافیکی داده‌ها و آشکارسازی روند تغییرات عملکرد محصولات زراعی، طی دوره آماری مورد مطالعه در دو منطقه مشهد و بیرجند بود که در شکل 1 آمده است.

با توجه به شکل 1 مقدار عملکرد هر یک از سال-های آماری در مشهد و به صورت متناظر در بیرجند دارای تغییرات متفاوت از یکدیگر هستند.

همان‌گونه که از شکل 1 ملاحظه می‌گردد روند کلی عملکرد در دو محصول گندم و جو، با وجود تغییرات افزایشی و کاهش سالیانه افزایشی است. در حالی که تغییرات عملکرد دو محصول نخود و هندوانه در دو منطقه، کاهش عملکرد کلی را نشان می‌دهد. علت افزایش عملکرد کلی در دو محصول گندم و جو می‌تواند به دلیل استفاده از ارقام مقاوم به آفات و بیماری‌ها، رشد تکنولوژی‌های زراعی نظیر به‌کارگیری ماشین آلات زراعی و روش‌های نوین آبیاری، نقش مدیریت زراعی و دانش فنی کشاورزی باشد (دین‌پناه و همکاران 1388). به نظر می‌رسد همان‌گونه که مرجانی و همکاران (1385) گزارش نموده‌اند عملکرد پایین محصولات هندوانه و نخود استفاده کشاورزان از بذریه بومی اصلاح نشده باشد.

برای بیان این موضوع که چه عواملی میزان عملکرد محصولات دیم را در سطح دو منطقه بیرجند و مشهد کنترل می‌کنند، محاسبات ضریب همبستگی با استفاده از داده‌های مربوط به دو منطقه انجام گرفت. جدول 2 ضریب همبستگی پیرسون برای تمامی جفت متغیرهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد. متغیرهای

دسته متغیرهای با اثربخشی کم، مشخص شدند. انتخاب روش‌های فوق با توجه ارائه نتایج رضایت بخش مطالعات صورت گرفته در تحلیل رگرسیون‌های چند متغیره بود (عساکره 1383، عریضی و گل پرور 1388). درخصوص رگرسیون ریح نیز علی‌رغم قابلیت بالای رگرسیون ریح، کاربرد آن در مطالعات کمتری مورد توجه قرار گرفته است. در روش‌های رگرسیونی گام به گام و اتوماتیک، پس از اتمام عملیات مدل‌سازی، امکان حذف برخی متغیرهای مستقل با درجه تاثیر کم وجود دارد. درحالی که در روش ریح، همان‌گونه که عریضی و گل پرور (1388) نیز اشاره داشتند، تمامی متغیرهای مستقل وارد شده در عملیات مدل‌سازی حفظ می‌شوند. در نهایت اعتبار هر یک از ساختارهای اطلاعاتی به‌عنوان ورودی مدل رگرسیون، همخوانی نتایج آن با نتایج واقعی بود. لذا برای تعیین بهترین مدل رگرسیونی گسترش یافته شاخص ضریب همبستگی¹ (r) به‌کار گرفته شد. همچنین برای قضاوت کامل‌تر در خصوص کارایی مدل‌ها از مقایسه معیار میانگین مجذور مربعات خطای نرمال² (NRMSE) مدل‌های برآورد کننده با مقدار مشاهده شده استفاده شد که در مطالعات رازی و آتاپیلی (2005) و زارع ابیانه و همکاران (1389) نیز به-کار گرفته شده است. بدین ترتیب سنجش مدل‌ها با ضریب همبستگی بالاتر و خطای کمتر طبق روابط زیر بود (زارع ابیانه و همکاران 1388).

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)(Y_{pi} - \bar{Y}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - \bar{Y}_o)^2 (Y_{pi} - \bar{Y}_p)^2}} \quad [9]$$

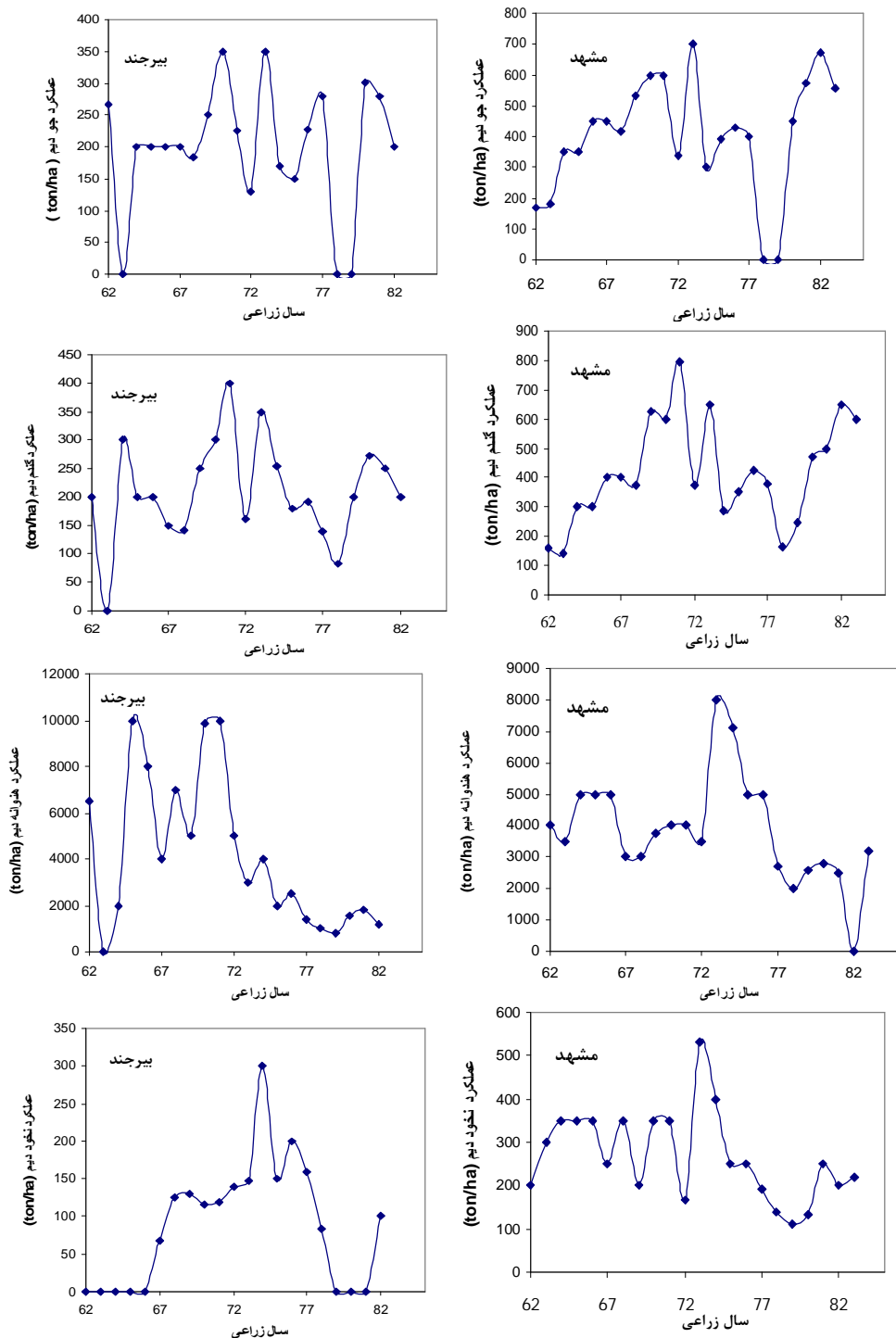
$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{pi})^2}}{\bar{Y}_o} \quad [10]$$

¹Correlation of coefficient

²Normal root mean square error

همبستگی در دو سطح 0/01 و 0/05 به تفکیک متغیرهای وابسته برای هر یک از محصولات زراعی آمده است.

مستقل علاوه بر متغیرهای هواشناسی، مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی هم بودند که براساس روابط 1 تا 7 محاسبه شدند. در این جدول جزئیات ضریب



شکل 1- تغییرات عملکرد محصولات زراعی مورد مطالعه در دو منطقه مشهد و بیرجند

جدول 2- نتایج همبستگی بین شاخص‌های خشکسالی و پارامترهای هواشناسی با عملکرد محصولات زراعی

عامل	عملکرد محصولات (متغیر وابسته)							
	منطقه				مشهد			
	متغیر مستقل	جو	گندم	هندوانه	نخود	جو	گندم	هندوانه
هواشناسی	Tmin	0/52*	-0/08	-0/57*	0/25	0/74**	0/38	-0/14
	Tmax	-0/05	-0/46*	-0/48*	-0/24	-0/53*	-0/28	-0/26
	T _{mean}	0/30	0/32	-0/57**	-0/03	0/72**	0/07	-0/22
	Tdew	0/30	0/12	-0/17	0/12	0/13	0/17	0/44*
	RHmin	0/26	0/31	0/03	0/20	-0/19	0/23	0/39
	RHmax	0/16	0/51*	0/48*	0/34	-0/18	0/01	0/40
	RH _{mean}	0/22	0/45*	0/29	0/30	-0/24	0/10	0/40
	U ₂	-0/34	0/22	0/65**	-0/09	-0/65**	-0/18	0/03
	n	0/28	0/45*	-0/80**	-0/02	0/10	0/09	-0/34
	P	0/42	0/60**	0/42	0/58*	0/02	0/64**	0/26
	n _p	0/44*	0/63**	0/49*	0/45*	0/12	0/59**	0/28
	V _p	0/25	0/16	-0/11	0/22	0/09	0/16	0/49*
	خشکسالی	HT	0/39	0/63**	0/45*	0/46*	-0/16	0/54*
SLAP		0/42	0/60**	0/42	-0/51*	0/02	0/64**	0/26
Ih		0/36	0/61**	0/44*	0/56*	-0/14	0/54**	0/30
md		0/42	0/58**	0/41	0/51*	-0/01	0/62**	0/15
Km		-0/67**	-0/55**	-0/28	-0/56*	0/59**	-0/25	-0/33
RAI		0/32	-0/02	0/35	-0/19	0/05	0/59**	0/29
PNPA		0/42	0/60**	0/42	0/58**	0/02	0/64**	0/26
جمع	3	12	9	8	5	8	2	

زاده اصل و همکاران (1388) و یا دیگر عوامل اقلیمی مانند تابش را دخیل دانست. اما همان‌گونه که لوبل و همکاران (2002) نیز اظهار داشتند، نمی‌توان نقش تاثیرگذار عوامل اقلیمی در شرایط دیم را کم‌رنگ تلقی نمود.

با توجه به داده‌های آماره پیرسون (جدول 2) مشخص می‌شود که در بین متغیرهای اقلیمی بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار در شهرستان بیرجند مربوط به تعداد روزهای بارانی بود. به عبارت دیگر تمامی محصولات دیم مورد کشت در سطح شهرستان بیرجند ارتباط مستقیم و معنی‌داری با تعداد روزهای بارانی داشتند. اهمیت تعداد روزهای بارانی در بخش

جدول 2 نشان می‌دهد تعداد همبستگی‌های معنی‌دار تمامی عوامل با عملکرد در منطقه بیرجند به تعداد 32 مورد و در منطقه مشهد 19 مورد است. لیکن مقایسه مقادیر همبستگی نشان می‌دهد تعداد همبستگی‌های با مقادیر بزرگ‌تر در منطقه مشهد بیشتر از منطقه بیرجند است. براساس جدول 2، تعداد همبستگی‌های معنی‌دار دارای مقادیر بزرگ‌تر در منطقه بیرجند 6 مورد و در منطقه مشهد 11 مورد بود. بنابراین نقش عوامل تاثیرگذار بر میزان عملکرد در منطقه مشهد پیچیده‌تر است. لذا در منطقه بیرجند با توجه به تعداد کمتر همبستگی‌های معنی‌دار بزرگ‌تر، می‌توان نقش عوامل غیراقلیمی مانند خاک، کود و نهاده‌های کشاورزی (فرج

بیشترین تعداد و مقدار همبستگی‌های معکوس را با عملکرد محصولات دیم داشته است. این شاخص نسبت تبخیر تعرق¹ (ET) به بارش می‌باشد و ET علاوه بر نشان دادن ویژگی‌های یک اقلیم، بیانگر مقدار نیاز آبی گیاه می‌باشد.

در مجموع می‌توان چنین نتیجه گرفت که عدم همخوانی رفتاری برخی شاخص‌های خشکسالی با عملکرد محصولات دیم ناشی از تفاوت شدت خشکسالی‌ها است که با نتیجه مطالعه زارع ایبانه و همکاران (1388) نیز همخوانی دارد. ضمن آن‌که رفتار فیزیولوژیکی هر محصول در مراحل مختلف رشد، متفاوت است و نمی‌توان انتظار یکسانی از همه محصولات در مقابل یک شاخص داشت. به‌عنوان یک نتیجه کلی، بررسی نتایج همبستگی بین پارامترهای مختلف حاصل از جدول 2 نشان داد که هیچ‌یک از متغیرهای مستقل به‌تنهایی قادر به نمایندگی تغییرات عملکرد محصولات نیستند. از این رو سعی شد تا تاثیر پارامترهای مستقل به‌صورت گروهی بر عملکرد هر محصول بررسی شود. نتیجه این بررسی در قالب دو آماره R^2 و NRMSE برای هر ساختار اطلاعاتی، در قالب سه مدل رگرسیونی چندمتغیره گام به گام، اتوماتیک و ریج، تعیین و در جدول 3 نمایش داده شد.

کشاورزی در مطالعات عرفانیان و همکاران (1389) و یاراحمدی و نصیری (1383) گزارش شده است. بدین ترتیب تعداد روزهای بارانی در طول فصل رشد، فاکتور اصلی و موثر در ساختار اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی مناطق دیم‌کاری بیرجند است. درحالی‌که در سطح شهرستان مشهد بیشترین تعداد همبستگی معنی‌دار با علامت منفی مربوط به دمای بیشینه هوا بود که این نتیجه با توجه به تاثیر مستقیم درجه حرارت در واکنش‌های بیوشیمیایی و سرعت رشد گیاهان، منطقی به‌نظر می‌رسد.

عدم مشابهت ارتباط عملکرد با عوامل اقلیمی در دو منطقه می‌تواند ناشی از تفاوت اقلیمی (جدول 1)، مقدار بارندگی کمتر شهرستان بیرجند و تاثیر مثبت آن بر عملکرد باشد. به‌عبارت دیگر به‌دلیل کم بودن میزان بارندگی‌ها و به‌تبع تعداد روزهای بارانی در منطقه بیرجند (جدول 1) می‌توان گفت عملکرد، نسبت به پارامتر اقلیمی تعداد روزهای بارانی حساسیت بیشتری دارد. در حالی‌که در منطقه مشهد با توجه به ریزش‌های بیشتر باران، این حساسیت نسبت به دمای بیشینه هوا و نقش کاهشی آن بر عملکرد است. در این راستا حسینی و همکاران (1386) بر وابستگی عملکرد گندم به دمای حداکثر روزانه و به‌تبع دمای حداکثر دوره‌های زمانی ماهانه و سالانه تاکید داشته‌اند. به‌طوری‌که اگر گیاهی برای مدت طولانی در معرض درجه حرارت بالا قرار گیرد، بخش‌های هوایی آن به‌سرعت پیر شده و ضمن کاهش تولید مواد فتوسنتزی قابل جذب دانه سبب کاهش عملکرد می‌شود. فرج‌زاده اصل و همکاران (1388) در مدل منطقه‌ای پیشنهادی از نوع رگرسیون جهت برآورد عملکرد گندم دیم منطقه خراسان رضوی تعداد پارامترهای مستقل دمایی بیش از تعداد متغیرهای مستقل بارش بود که نشان‌دهنده اهمیت و نقش عامل دما در عملکرد گندم دیم است. در خصوص شاخص‌های خشکسالی نیز جدول 2 نشان می‌دهد شاخص خشکسالی نگوین در هر دو منطقه مشهد و بیرجند

¹ Evapotranspiration

جدول 3- برآورد عملکرد محصولات زراعی از مدل‌های مختلف رگرسیون چند متغیره

مشهد	بیرجند		منطقه		عوامل	محصول	
	ریج	گام به گام	ریج	گام به گام			آماره
0/996	0/706	0/932	0/91	0/521	0/842	R ²	کلیم
0/09	0/25	0/23	0/26	0/31	0/38	NRMSE	
0/86	0/604	0/892	0/72	0/444	0/624	R ²	
0/24	0/28	0/20	0/32	0/32	0/35	NRMSE	
0/65	0/574	0/662	0/77	0/521	0/71	R ²	
0/31	0/29	0/29	0/25	0/31	0/29	NRMSE	
0/98	0/364	0/966	0/995	0/78	0/942	R ²	س
0/23	0/38	0/18	0/16	0/26	0/27	NRMSE	
0/74	0/364	0/778	0/84	0/496	0/796	R ²	
0/37	0/38	0/32	0/32	0/38	0/34	NRMSE	
0/59	0/364	0/604	0/82	0/78	0/843	R ²	
0/37	0/38	0/35	0/27	0/26	0/25	NRMSE	
0/97	0/336	0/83	0/999	0/613	0/982	R ²	زبور
0/19	0/32	0/32	0/09	0/67	0/28	NRMSE	
0/57	0/237	0/522	0/74	0/613	0/73	R ²	
0/39	0/34	0/38	0/77	0/67	0/76	NRMSE	
0/61	0/336	0/554	0/44	---	0/562	R ²	
0/29	0/32	0/30	0/89	---	0/79	NRMSE	
0/96	0/339	0/842	0/92	0/42	0/925	R ²	هندوانه
0/27	0/36	0/36	0/48	0/64	0/47	NRMSE	
0/68	0/399	0/672	0/82	0/287	0/729	R ²	
0/38	0/36	0/37	0/52	0/68	0/55	NRMSE	
0/41	-	0/345	0/47	0/225	0/644	R ²	
0/42	---	0/42	0/71	0/72	0/59	NRMSE	

جدول 4- ضرایب مستقل ورودی در مدل رگرسیونی ریج

مشهد				بیرجند				منطقه
نخود	هندوانه	گندم	جو	نخود	هندوانه	گندم	جو	ضرایب
-6123/6	86479	-17160	-24245	20127	448642	-6554/2	3827	ثابت
567/8	3218	-567/5	54/01	-1216	-64243	816/1	770/5	Tmin
375/9	-2442	-396/7	-56/07	-1260	-48222	803/1	443/96	Tmax
-576/02	3828/8	-1471	-1585	239/3	11000	58/2	200/31	Tdew
-33/19	-1806	89/85	44/6	-639/9	-34444	-45/4	331/65	RHmin
38/37	-1115	77/33	141/2	-550/8	-30777	-68/9	314/05	RHmax
9/36	598/3	34/53	11/81	996/3	59611	139/6	-696/91	RH _{mean}
134	1891	-97	104/1	-93/8	-4166	62/1	54/8	Wind
0/24	7/14	0/65	0/75	-4/97	-144/9	7/05	0/76	n
12/55	-8/4	-34/7	-13/6	0/66	-1627/5	-20/7	22/45	Rain
-691	-6908	1560	762/6	1995	103054	-1388	-1291/6	T _{mean}
-21/7	-837/2	132/3	59/8	62/6	5484	127/04	0/76	N _{Rain}
827/6	9131/1	1611/9	1623/5	-51/9	-3767	-28/9	-77/5	VP
-20/3	176/7	-150/4	-124/9	-445/1	-6564	351/35	92/10	HT
463/8	-28504	4275	2055/1	1379	80419	93/5	-1032/2	SLAP
795/6	9478/8	172/9	317/01	351/3	63098	-140	-749/9	Ih
77/7	2508	37/54	52/75	-3/78	1052	19/67	32/60	Md
-52/36	-132/5	-15/90	-77/25	-36/07	983/6	47/5	9/13	Km
106/9	1797	29/24	45/25	-88/85	-1160	66/9	73/27	RAI
-2850	-25211	-3349	-3464	25/13	36144	-377/5	-1862	PNPA
0/97	0/96	0/996	0/98	0/999	0/92	0/91	0/995	R ²
0/19	0/27	0/09	0/23	0/09	0/48	0/26	0/16	NRMSE

مدل دیگر داشته است. این نتیجه می‌تواند در تایید فرض عدم استقلال کامل متغیرهای مستقل ورودی مورد اشاره در بخش مواد و روش باشد که عساکره (1383) و عریضی و گل‌پرور (1388) وجود چنین شرایطی را موجب شدت یافتن اثر هم‌راستایی متغیرهای مستقل و بروز خطا در مدل‌سازی رگرسیونی گزارش نموده‌اند. ضمن آن‌که توصیه محققین مختلف مانند رضایی و سلطانی (1382) و عساکره (1383) درخصوص بیشتر

براین اساس ضریب تعیین مدل ریج در هر دو منطقه و برای هر چهار محصول زراعی نسبت به مدل‌های اتوماتیک و گام به گام بیشتر است. اما از آنجایی‌که ضریب تعیین به تنهایی معیار مناسبی در ارزیابی مدل‌ها نمی‌باشد لذا از آماره NRMSE که میزان خطای هر یک از مدل‌ها را نشان می‌دهد استفاده شد. جدول 3 نشان می‌دهد در تمامی ساختارهای اطلاعاتی، هر دو آماره R² و NRMSE در مدل ریج وضعیت بهتری نسبت به دو

(جدول 4). در تحلیل نتایج جدول 2 نیز اشاره گردید که تعداد همبستگی‌های معنی‌دار تمامی عوامل با عملکرد محصولات در منطقه بیرجند بیش از منطقه مشهد است. در مجموع جدول 4 نشان می‌دهد بیشترین دقت مدل پیشنهادی در منطقه بیرجند مربوط به محصول نخود و در منطقه مشهد مربوط به محصول گندم است. به همین ترتیب کمترین دقت برآورد در دو منطقه مشهد و بیرجند مربوط به محصول هندوانه است. هندوانه بیشترین تغییر عملکرد را به واسطه کسب مقدار NRMSE بزرگ-تر در هر دو منطقه دارد. این امر می‌تواند ناشی از بزرگی سطح برگ محصولات جالیزی در مقایسه با محصولات خانواده غلات و حبوبات باشد. به همین دلیل تغییرات عوامل اقلیمی تاثیر بیشتری در فرآیند پیر شدن و حذف برگ‌ها دارد. به همین ترتیب مدل پیشنهادی در برآورد عملکرد محصول نخود در بیرجند و گندم در مشهد نیز بیان‌گر برآوردهای با خطای کم برای هر دو منطقه است. از پژوهش حاضر می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که به‌کارگیری ترکیبی از عوامل اقلیمی و مقادیر کمی شده شاخص‌های خشکسالی در قالب مدل رگرسیونی چندمتغیره ریج، پیش‌بینی عملکرد پیش از برداشت محصولات دیم، با دقت بهتری انجام می‌گیرد. هر چند لحاظ پارامترهای بیشتر، در راستای افزایش دقت برآوردها موثر است. همچنین وارد نمودن عواملی چون نوع رقم، آفات و بیماری‌ها و عوامل مربوط به عملیات کشاورزی در زمان کاشت و داشت به‌صورت کمی شده در ورودی مدل‌های رگرسیونی در کشت‌های آبی و دیم براساس آمار و اطلاعات بلند مدت می‌تواند دقت برآوردها را بهتر مشخص کند. از این مطالعه می‌توان چنین نتیجه گرفت، هنگامی‌که پارامترهای موثر آب و هوایی و همچنین مقادیر کمی شاخص‌های خشکسالی محاسبه شده از پارامترهای هواشناسی در یک مدل آماری تلفیق گردند، پیش‌بینی عملکرد محصولات دیم پیش از برداشت آن‌ها با دقت انجام می‌گیرد. به‌کارگیری عوامل هواشناسی دمای هوا (حداکثر و حداقل و نقطه

بودن دقت مدل ریج به‌دلیل عدم حذف متغیرهای مستقل و لحاظ اثر هم‌راستایی آن‌ها را تایید می‌نماید. از سویی جدول 3 برتری اولین ساختار اطلاعاتی یعنی لحاظ همه عوامل (هواشناسی + خشکسالی) را در مقایسه با دو ساختار اطلاعاتی دیگر به‌عنوان عوامل مستقل مدل-سازی عملکرد در هر سه مدل نشان می‌دهد. صلواتی و همکاران (1389) لحاظ تعداد بیشتر عوامل موثر را جهت افزایش دقت برآوردها گزارش کرده‌اند. بر مبنای جدول 3 مدل ریج کمترین مقدار خطای برآورد عملکرد را برای هر چهار محصول در هر دو منطقه براساس دو آماره خطاسنجی به‌خود اختصاص داد. بدین ترتیب استفاده از ساختار اطلاعاتی همه عوامل در قالب مدل رگرسیونی ریج، در مقایسه با دو ساختار اطلاعاتی دیگر قابل قبول است (جدول 3). در همین راستا ضرایب مدل رگرسیونی چند متغیره ریج در برآورد عملکرد محصولات دیم دو منطقه و براساس ساختار اطلاعاتی اول در جدول 4 آورده شد.

همان‌گونه که بیان شد جدول 4 بر مبنای لحاظ عوامل هواشناسی و خشکسالی به‌عنوان لایه اطلاعات ورودی در مدل رگرسیونی عملکرد محصولات تنظیم شده است. اعداد ردیف اول این جدول ضرایب ثابت مقدار عرض از مبدا معادله $8(b)$ و سایر مقادیر ذکر شده در جدول مقادیر a می‌باشند. در این جدول وجود ضرایب رگرسیونی کوچک‌تر برای متغیرهای ورودی بیان‌گر اثرگذاری کم آن‌ها در مقایسه با متغیرهای با ضرایب رگرسیونی بزرگ‌تر است. همچنین علامت مثبت ضرایب به‌عنوان اثرگذاری افزایشی و علامت منفی به‌عنوان اثرگذاری کاهش‌ی در اندازه عملکرد می‌باشد. از طرفی مقایسه دقت برآورد عملکرد هر یک از محصولات در جدول 4 نشان می‌دهد نتایج مدل رگرسیونی پیشنهادی در منطقه بیرجند از دقت بالاتری نسبت به منطقه مشهد برخوردار است. زیرا فارغ از نوع محصول، میانگین آماره NRMSE همه محصولات در منطقه بیرجند به مقدار $0/195$ و در منطقه مشهد به‌مقدار $0/443$ است

نسبت به دو مدل رگرسیونی گام به گام و اتوماتیک در توصیف تغییرات مشاهده شده در عملکرد دیم محصولات گندم، جو، نخود و هندوانه توانمندتر است. در این مطالعه نقش عوامل اقلیمی دمای حداقل هوا و دمای حداکثر هوا در هر دو منطقه برای هر چهار محصول زراعی گندم، جو، هندوانه و نخود مشهود بود. درحالی‌که تاثیر دو عامل رطوبت نسبی میانگین و ساعات آفتابی به دو محصول از هر منطقه محدود بود. شاید بتوان نقش کرانه‌های حداکثر و حداقل رطوبت نسبی هوا را بر عملکرد، نسبت به میانگین رطوبت نسبی، موثرتر دانست. همچنین تاثیرگذاری ساعات آفتابی را در قالب عوامل اقلیمی دمای هوا تفسیر نمود. با توجه به حصول نتایج متفاوت در زمینه تعیین درصد مشارکت عوامل اقلیمی بر میزان عملکرد محصولات زراعی هر منطقه، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات مشابه در مناطق دیگر برای سایر محصولات نیز انجام گردد.

شبیم)، رطوبت نسبی هوا (حداقل، حداکثر و میانگین)، سرعت باد در ارتفاع دو متری، ساعات آفتابی، تعداد روزهای بارانی و مقادیر کمی حاصل از به‌کارگیری شش شاخص خشک‌سالی نشان داد در حدود 99-90 درصد از تغییرات عملکرد دیم 4 محصول زراعی قابل پیش‌بینی است.

نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های این پژوهش نشان داد طول دوره آماری مناسب و به‌کارگیری طیف مناسبی از عوامل اقلیمی و خشک‌سالی بر دقت برآورد عملکرد محصولات زراعی می‌افزاید. نتایج حاصل از برآوردهای سه مدل رگرسیونی در شرایط مشابه نشان داد که لحاظ تمامی متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی ریح نتایج مطلوب‌تری از برآورد عملکرد محصولات گوناگون در دو منطقه مشهد و بیرجند دارد. به‌عبارت دیگر مدل ریح

منابع مورد استفاده

- اسلامیان س.س، مدرس ر و سلطانی س، 1385. گروه‌بندی مکانی خشک‌سالی با استفاده از شاخص استاندارد بارش در استان اصفهان. آب و فاضلاب، شماره 57. صفحه‌های 72 تا 75.
- بذرافشان ج، خلیلی ع، ترابی ص و حجام س، 1388. ارزیابی تاثیر خشک‌سالی هواشناسی بر عملکرد محصول گندم دیم سرداری تحت شرایط محدودیت داده (مطالعه موردی ایستگاه سرارود کرمانشاه). همایش ملی بحران آب در کشاورزی و منابع طبیعی. 14 آبان ماه. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر ری.
- تقوی، ف و محمدی ح، 1386. بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، مجله محیط‌شناسی، سال سی و سوم، شماره 43. صفحه‌های 11 تا 20.
- حسینی س.م، سی‌وسه مرده ع، فتحی پ و سی‌وسه مرده م، 1386. کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در برآورد عملکرد گندم دیم منطقه قروه استان کردستان. پژوهش کشاورزی: آب و خاک و گیاه در کشاورزی، جلد 7، شماره 1. صفحه‌های 41 تا 54.
- حسینی ع و نصیری محلاتی م، 1387. اثر نوسانات دراز مدت درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد زعفران (*Crocus sativus L.*). مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد 6، شماره 1. صفحه‌های 79 تا 88.
- حیدری م، معروفی ص، سبزی پرورع ا، میرمسعودی س.ش و قیامی ف، 1388. بررسی تأثیر روش محاسبه، طول دوره حداکثر نیاز آبی و سطوح احتمال در برآورد بهینه آب مورد نیاز گیاه (مطالعه موردی منطقه همدان). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد 16، شماره 3. صفحه‌های 83 تا 112.

- خلیلی ع و بذرافشان ج، 1382. ارزیابی کارایی برخی شاخص‌های خشکسالی هواشناسی در نمونه‌های مختلف اقلیمی کشور. مجله نیوار. شماره 48. صفحه‌های 79 تا 93.
- دربندی ص، کاوه ف، فاخری فرد ا، صدقی ح و کمالی غ، 1386. معرفی یک شاخص جدید برای ارزیابی شدت خشکسالی کشاورزی بر پایه عملکرد نسبی محصول. مجله علوم کشاورزی. جلد 13، شماره 3. صفحه‌های 107 تا 123.
- دین‌پناه، ع، چیدری، م. و بدرقه، ع. 1388. بررسی عوامل موثر بر پذیرش تکنولوژی توسط گندمکاران شهرستان استان اصفهان. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. جلد 3، شماره 9. صفحه‌های 103 تا 116.
- رحمانی ا، خلیلی ع و لیاقت عم، 1387. بررسی کمی تاثیر بر عملکرد محصول جو در آذربایجان شرقی به روش رگرسیون چند متغیره. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال 12، شماره 44. صفحه‌های 25 تا 36.
- رضایی ع و سلطانی ا، 1382. مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون کاربردی (چاپ دوم). اصفهان. مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان. 306 صفحه.
- زارع ایبانه ح و محبوبی ع، 1383. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان براساس شاخص‌های آماری خشکسالی. پژوهش و سازندگی. شماره 64. صفحه‌های 1 تا 7.
- زارع ایبانه ح، یزدانی و اژدری خ، 1388. مطالعه تطبیقی چهار نمایه خشکسالی هواشناسی بر پایه عملکرد نسبی محصول گندم دیم در استان همدان. پژوهش‌های جغرافیایی. شماره 69. صفحه‌های 35 تا 49.
- زارع ایبانه ح، فرخی ا، وظیفه دوست م و اژدری خ، 1389. برآورد الگوی توزیع رطوبت خاک تحت آبیاری قطره‌ای در مزرعه پیاز. آب و خاک، جلد 24، شماره 6. صفحه‌های 1197 تا 1209.
- زارع ایبانه ح، بیات ورکشی م و دین پژوه ی، 1390. بررسی روند تغییرات شاخص خشکی در نیمه جنوبی ایران. مجله دانش آب و خاک. جلد 21، شماره 2. صفحه‌های 81 تا 92.
- صلواتی ب، صادقی س ج و تلوری ع، 1389. مدلسازی تولید رواناب حوضه‌ای آبخیز استان کردستان با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی و اقلیمی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 24، شماره 1. صفحه‌های 84 تا 96.
- صمدی نقاب س، 1385. پیش بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM. مجله جغرافیا و توسعه روستا، شماره 8. صفحه‌های 193 تا 212.
- عرفانیان م، علیزاده ا و محمدیان آ، 1389. بررسی تغییرات احتمالی نیاز کنونی آبیاری گیاهان نسبت به ارقام مندرج در سند ملی آبیاری (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. جلد 3، شماره 4. صفحه‌های 478 تا 492.
- عریضی ح ر و گل‌پرور م، 1388. سبک رهبری و رضایت شغلی: مقایسه رگرسیون گام به گام با رگرسیون ریج. فصلنامه روان شناسی ایرانی. سال 6، شماره 21. صفحه‌های 27 تا 34.
- عزیزی ق، 1379. الینو و دوره های خشکسالی - ترسالی در ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 38. صفحه‌های 71 تا 84.
- عزیزی ق و صفرخانی ع، 1381. ارزیابی خشکسالی و تأثیر آن بر عملکرد گندم دیم در استان ایلام با تأکید بر خشکسالی‌های اخیر (1377-1379). جلد 6، شماره‌های 2 و 25. صفحه‌های 61 تا 77.
- عزیزی ق و یاراحمدی د، 1382. بررسی ارتباط پارامترهای اقلیمی و عملکرد گندم با استفاده از مدل رگرسیونی (مطالعه موردی دشت سیلاخور). پژوهش‌های جغرافیایی، شماره 44. صفحه‌های 23 تا 29.

- عساکره ح، 1383. مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی. مطالعه موردی: پایش بارش سالانه استان اصفهان. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال 19، شماره 3. صفحه‌های 213 تا 231.
- فرج‌زاده اصل م، کاشکی ع ر و شایان س، 1388. تحلیل تغییرپذیری عملکرد محصول گندم دیم با رویکرد تغییرات اقلیمی (منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی). فصلنامه مدرس علوم انسانی. جلد 13، شماره 3. صفحه‌های 227 تا 256.
- کریمی و، کامکار حقیقی ع ا، سپاسخواه ع ر و خلیلی د، 1380. بررسی خشکسالی های هواشناسی در استان فارس. مجله علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد 5، شماره 4. صفحه‌های 1 تا 11.
- کمالی غغ، 1376. بررسی اکولوژیکی توانایی های دیم زارهای غرب کشور از نظر اقلیمی و با تأکید خاص بر گندم دیم، رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران، 152 صفحه.
- مرجانی ع، فارسی م و رحیمی زاده م، 1385. بررسی تحمل به خشکی ده ژن و تیپ نخود دیم در مرحله جوانه زنی با استفاده از پلی اتیلن گلایکول 6000. ویژه‌نامه علمی پژوهشی علوم کشاورزی. سال 12، شماره 1. صفحه‌های 17 تا 29.
- نصیری محلاتی م و کوچکی ع ر، 1384. اثر تغییر اقلیم بر شاخص های اگروکلیماتیک مناطق کشت گندم دیم در ایران. مجله پژوهش های زراعی ایران، جلد 3، شماره 2. صفحه‌های 291 تا 303.
- یاراحمدی دو نصیری ب، 1383. به کارگیری مدل تلفیقی پانل در ارتباط با میزان عملکرد گندم دیم و پارامترهای اقلیمی: استان لرستان. نشریه مدرس علوم انسانی. جلد 8، شماره 4. صفحه‌های 175 تا 190.
- Boken K, Cracknell Pand Heathcote L, 2005. Monitoring and Predicting Agricultural Drought. First. ed., Oxford University Press Inc., London. 496 pp.
- Brunini O, Pinto S, Zullo J, Barbano MBP, Camargo A, Rogerio B, Pedro M and Giuseppe P, 2000, Drought quantification and preparedness in Brazil- the example of Sao Paulo State. Pp. 89 – 103. Proceedings of an Expert Group Meeting in Lisbon, Portugal.
- Dinpashoh Y, 2006. Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. Agricultural Water Management 84: 123- 129.
- Duan Q Y, Sorooshian S and Gupta V K, 1994. Optimal use of SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. Journal of Hydrology 158: 265–284.
- Hansen J W, Potgieter A and Tippett M, 2004. Using a general circulation model to forecast regional wheat yields in Northeast Australia. Agricultural and Forest Meteorology 127: 77–92.
- Landau S, Mitchell R A C, Barnett V, Colls J J, Craigon J and Payne R W, 2000. A parsimonious, multiple-regression model of wheat yield response to environment. Agricultural and Forest Meteorology 101: 151–166.
- Li A, Liang S, Wang A and Qin J. 2007. Estimating crop yield from multi-temporal satellite data using multivariate regression and neural network techniques. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 73(10):1149-1157.
- Lobell D B, Ortiz Monasterio J I, Addams C L and Anser G P, 2002. Soil, climate and management impacts on regional wheat productivity in Mexico from remote sensing. Agricultural and Forest Meteorology 114: 31-43.
- Lobell D; 2005. Analysis of wheat yield and climatic trend in Mexico. Field Crops Research 94: 250-256.
- Razi M A and Athappilly K, 2005. A comparative predictive analysis of neural networks (NNs), nonlinear regression and classification and regression tree (CART) models. Expert Sys. With Appl. 29: 65-74.

- Trnka M, Hlavinka P, Semeradova D, Dubrovsky M, Zalud Z and Mozny M, 2007. Agricultural drought and spring barley yields. *Plant Soil Environment* 53(7): 306–316.
- Wheeler T R, Craufurd P Q, Ellis R H, Porter J R and Vara Prasad P V, 2000. Temperature variability and the yield of annual crops, *Agriculture. Ecosystems and Environment* 82:159–167.