



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۱۲ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۲۱۱-۲۰۱

DOI: 10.22059/jwim.2022.333203.935

مقاله پژوهشی:

ارزیابی معادلات رگرسیونی چندمتغیره در تخمین عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم‌های مختلف ایران

سعید شرفی^{۱*}، ساويز صادقی^۲، محمدجواد نحوی‌نیا^۳، محمد عبدالهی‌پور^۴

۱. استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، ایران.

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، ایران.

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۴. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

چکیده

ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک قرار دارد و بررسی شرایط کشت دیم گیاهان راهبردی امری بسیار ضروری است. بدین منظور برای مدل‌سازی عملکرد گندم و جو دیم در شرایط آب‌وهوایی ایران در واکنش به تغییرات اقلیمی داده‌های هواشناسی ۴۴ ایستگاه در یک دوره چهار ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی پس از میان‌یابی مکانی بین ایستگاه‌ها و تبدیل کردن آن‌ها به داده‌های روزانه به‌عنوان ورودی یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای تخمین عملکرد گندم و جو دیم به‌کار گرفته شدند. در این مطالعه ایران به شش اقلیم ساحلی مرطوب، کوهستانی، نیمه‌کوهستانی، نیمه‌بیابانی، بیابانی و بیابان ساحلی تقسیم شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین بارندگی سالانه به‌ترتیب در ایستگاه‌های بندرانزلی (۱۷۴۸ میلی‌متر در سال) و زابل (۵۵ میلی‌متر در سال) رخ داد. بیش‌ترین کاهش بارندگی در ایستگاه بندرانزلی (شیب ۵/۸- درصد) و کم‌ترین تغییرات در ایستگاه کرمانشاه با شیب معادله آن ۰/۸- درصد صورت گرفت. در بین ایستگاه‌های مورد بررسی فقط ۱۱/۳۶ درصد از نظر کشاورزی در شرایط مناسبی قرار دارند و در بقیه ایستگاه‌ها وضعیت بحرانی است (۸۸/۶۴ درصد). نتایج تحقیق نشان داد که ضریب تبیین در عملکرد شبیه‌سازی شده گندم دیم برای اقلیم مرطوب‌تر به نسبت سایر اقلیم‌ها از دقت بیش‌تری برخوردار است ($R^2=0/83$). کم‌ترین ضریب تبیین در عملکرد شبیه‌سازی شده گندم دیم ($R^2=0/71$) و جو دیم ($R^2=0/53$) برای اقلیم بیابانی به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: اقلیم، خشکسالی، خلأ عملکرد، دیم‌کاری، ضریب تبیین.

Assessment of multiple regression equations for yield estimation of rain-fed wheat and barley in different Iran's climates

Saeed Sharafi^{1*}, Saviz Sadeghi², Mohammad Javad Nahvinia³, Mohammad Abdolahipour⁴

1. Assistant Professor, Department of Environment Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Environment Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received: October 30, 2021

Accepted: January 06, 2022

Abstract

Iran is located in the arid and semi-arid area and it is very necessary to assess the conditions of rainfed farming of strategic plants. In order to assessment of wheat and barley yield under rainfed climatic conditions collected data from 44 stations were studied during the period of 1981-2020 (40 years). Weather data after spatial interpolation between stations and converting to daily values were used as inputs of a multiple regression model for estimating wheat and barley yield. In this study, Iran was divided into six coastal wet, mountain, semi mountain, semi desert, desert and, coastal desert. The results showed that the highest and lowest annual rainfall was observed in stations Bandar Anzali (1748 mm y^{-1}) and Zabol (57.7 mm y^{-1}), respectively. The greatest and lowest decrease in rainfall occurred in Bandar-Anzali station (gradient 5.8 percent) and, in Kermanshah station (gradient -0.8 percent) respectively. Only 11.36 percent of the stations were in good condition and, in other stations were in a critical situation (88.64 percent). The results of this study showed that the coefficient of determination of predicted yield for rainfed wheat in humid climates was more accurate than in other climates ($R^2=0.83$). The lowest coefficient of determination predicted yield was obtained for rain-fed wheat ($R^2=0.71$) and rain-fed barley ($R^2=0.53$) in desert climates.

Keywords: Climate, Coefficient of determination. Drought, Rain-fed farming, Yield gap.

مقدمه

تغییر اقلیم می‌تواند به‌عنوان عمده‌ترین چالش بشر در دوره‌های آتی قلمداد شود. ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک در رأس مشکلات توسعه کشاورزی همواره درگیر کمبود آب بوده و در حال حاضر، بررسی پیامدهای ناشی از عوامل اقلیمی بر نیاز آبی در بخش کشاورزی بسیار مهم است (Sharafi & Ghalehi, 2021c). غلات مهم‌ترین گیاهان غذایی کره زمین و تأمین‌کننده ۷۰ درصد غذای مردم کره زمین می‌باشند (Kamali, 2009). به‌طورکلی بیش از سه چهارم انرژی و یک دوم پروتئین موردنیاز بشر از غلات تأمین می‌شود (Imam, 2002). با توجه به این موضوع یکی از مهم‌ترین مباحث تولید محصول با عملکرد بالا است (Zare Feizabadi et al., 2007). تولید گندم و جو، به‌علت نوسانات در عوامل اقلیمی و مدیریتی، تغییرات زیادی دارد (Zare Feizabadi et al., 2007). برآوردها نشان می‌دهد که در مقیاس جهانی برای تأمین نیاز گندم تا سال ۲۰۲۰ میلادی، لازم است تولید این محصول نسبت به سال ۲۰۰۰، به میزان ۴۴ درصد افزایش یابد (Boote & Tollenaar, 1994; Fischer et al., 2000). راه‌حل اصلی تحقق این هدف می‌باشد. نتایج بررسی انجام‌شده در مورد روند ۵۰ ساله وضعیت تولید غلات در ایران (Zare Feizabadi et al., 2007; Sharafi et al., 2016) نیز نشان داده است که سطح زیر کشت گندم و جو کشور به‌ویژه در طی ۱۰ سال گذشته افزایش اندکی داشته و این افزایش تولید این محصولات به‌طورعمده ناشی از افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که در ایران نیز نظیر سایر مناطق جهان، تلاش پژوهش‌گران بر ارائه راه‌کارهایی برای بهبود عملکرد تمرکز یافته است. موفقیت در این امر مستلزم آگاهی از عملکرد بالقوه و شناخت عوامل محدودکننده

عملکرد در مناطق مختلف تولید می‌باشد (Fischer et al., 2000). از طرفی با معلوم‌بودن تولید واقعی در مناطق تحت بررسی می‌توان خلأ عملکرد را براساس اختلاف بین عملکرد پتانسیل و واقعی برآورد کرده و مورد تجزیه و تحلیل قرار داد (Becker & Johnson, 1999; Abeledo et al., 2008). پژوهش‌های بسیاری در زمینه مقایسه تولید پتانسیل و واقعی برخی محصولات زراعی در کشورهای اتحادیه اروپا صورت گرفته و خلأ عملکرد را برآورد کرده‌اند (Rosenzweig & Parry, 1994; Nassiri et al., 2006; Koocheki et al., 2006; Nicholls, 2000; Hammera et al., 2001; Antle, 1996; Holden & Brereton, 2004). با وجود اهمیت این موضوع، پژوهش‌های انجام‌شده در ایران در ارتباط با پهنه‌بندی و پتانسیل‌یابی محصولات زراعی بسیار محدود بوده و به‌طورعمده بر روش‌های اقلیمی متمرکز می‌باشند. بنابر عقیده Soltani et al. (2006)، مهم‌ترین کار در این زمینه، کمی‌سازی توان تولید و بررسی دلایل خلأ عملکرد می‌باشد که در این راه می‌توان از مدل‌های شبیه‌سازی نظیر مدل‌های رگرسیون چند متغیره استفاده نمود. یعنی در حالی که شرایط محیطی و ارقام مورداستفاده برای دست‌یابی به عملکردهای بالا مساعد هستند، عملکرد کشاورزان به مراتب کم‌تر است. Sadeghi et al. (2002) مناطق دیم استان فارس را براساس شاخص‌های اقلیم‌شناسی کشاورزی (بارندگی و تبخیر و تعرق) بررسی نمودند و Kamkar et al. (2006) به‌وسیله یک مدل شبیه‌سازی تولید زیره سبز در مناطق مختلف استان خراسان را ارزیابی کردند.

بنابراین ازآنجاکه گندم و جو نقش اساسی را در امنیت غذایی کشور به‌طور مستقیم و غیرمستقیم ایفا می‌کنند، پیش‌بینی میزان تولید آن‌ها، زمان کافی را برای مقابله با کمبود فراهم می‌کند. برای پیش‌بینی عملکرد گیاهان

زراعی، ابتدا باید عوامل تعیین‌کننده اقلیمی مشخص شوند (Torabi et al., 2012). با توجه به قرارگیری بخش اعظم ایران در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا مشخص است که از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان در این منطقه، آب، درجه حرارت، ساعات آفتابی و سرعت باد است (Torabi et al., 2012; Sharafi et al., 2017). بنابراین در این پژوهش سعی شده است که تأثیر این متغیرها بر عملکرد گندم و جو دیم در ۴۴ ایستگاه هواشناسی در اقلیم‌های مختلف برای یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره بررسی و در نهایت معادلات تخمین عملکرد با استفاده از این مدل برای دو گیاه گندم و جو مورد ارزیابی قرار گرفته است.

زراعی، ابتدا باید عوامل تعیین‌کننده اقلیمی مشخص شوند (Torabi et al., 2012). با توجه به قرارگیری بخش اعظم ایران در ناحیه خشک و نیمه‌خشک دنیا مشخص است که از مهم‌ترین عوامل محدودکننده عملکرد گیاهان در این منطقه، آب، درجه حرارت، ساعات آفتابی و سرعت باد است (Torabi et al., 2012; Sharafi et al., 2017). بنابراین در این پژوهش سعی شده است که تأثیر این متغیرها بر عملکرد گندم و جو دیم در ۴۴ ایستگاه هواشناسی در اقلیم‌های مختلف برای یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۱) با استفاده از مدل رگرسیونی چندمتغیره بررسی و در نهایت معادلات تخمین عملکرد با استفاده از این مدل برای دو گیاه گندم و جو مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از دوره آماری حداقل ۴۰ ساله (از ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ میلادی) برای ۴۴ ایستگاه سینوپتیک ایران، استفاده گردید. شایان ذکر است، این داده‌ها مورد تأیید سازمان هواشناسی کشور بوده و نیاز به بازسازی ندارند. به همین منظور ابتدا داده‌های مناطق مورد مطالعه که توسط ایستگاه‌های هواشناسی مختلف اعم از سینوپتیک و کلیماتولوژی گردآوری و بررسی شدند. با توجه به این‌که تعدادی از ایستگاه‌ها اساساً فاقد آمار بوده یا آمار موجود در آن‌ها از نظر طول دوره آماری مناسب نبودند، از مطالعه حذف شده و تنها ایستگاه‌های دارای طول دوره آماری بلندمدت باقی ماند. به‌طور معمول، متغیرهای اقلیمی نوساناتی را در سال‌های مختلف نشان می‌دهند. به‌عنوان مثال ممکن است طی ۱۰ سال، روند داده‌ها افزایشی بوده و در ۱۰ سال بعد روند نزولی را نشان دهد و به سطح ۲۰ سال قبل برسد. در نتیجه، یک معادله درجه دو می‌تواند چنین روندی را توجیه نماید (Soltani & Sinclair, 2012).

$$u_c = \frac{s+m}{\sqrt{V(S)}} \quad (1)$$

$$V(S) = \frac{1}{18} \left[N(N-1)(2N-5) - \sum_{i=1}^n e_i(e_i-1)(2e_i+5) \right] \quad (2)$$

$$\bar{R} = \frac{(S_2^2 - S_1^2)}{(N-1)} \quad (3)$$

که در آن n تعداد گروه‌های جفتی و e_i تعداد مشاهدات در تأمین گروه می‌باشد. در این روش فرض می‌شود که در ازای $S=0$ ، آماره $u_c=0$ خواهد بود. سپس اگر $|u_c| \geq u_1 - \frac{\alpha}{2}$ ، به‌طوری‌که $u_1 - \frac{\alpha}{2}$ چندک $1 - \frac{\alpha}{2}$ از توزیع نرمال استاندارد است، باشد فرض روند نمی‌تواند رد شود. بنابراین به‌منظور محاسبه روند دراز مدت داده‌های هواشناسی نخست متوسط ماهانه داده موردنظر به‌دست‌آمده و سپس متوسط سالانه نیز از متوسط‌گیری بین داده‌های ماهانه برای هر ایستگاه سینوپتیک محاسبه شد. بدین جهت ابتدا سال‌های آماری در یک ستون و

نهایت ضرایب مربوط به متغیرهای رابطه رگرسیون چندمتغیره خطی (رابطه ۴) برای هر محصول برآورد شد (Sabziparvar, 2008). هم‌چنین برای ارزیابی عملکرد روش‌های به‌کار گرفته‌شده در برآورد داده‌های هواشناسی، به مقایسه مقادیر پیش‌بینی‌شده با مقادیر اندازه‌گیری‌شده عملکرد گندم و جو دیم با استفاده از معیارهای ضریب تبیین^۱ (R^2)، میانگین انحراف خطا^۲ (MBE)، ضریب جرم باقی‌مانده^۳ (CRM) و ضریب کارایی نش^۴ (NS) به ترتیب به شرح رابطه‌های (۵)، (۶)، (۷) و (۸) پرداخته شد (Delbari et al., 2018; Krause et al., 2005):

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}) \times \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}))^2}{(\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \times \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2)} \quad (5)$$

$$MBE = (\sum_{i=1}^n (P_i - o_i)) / 2 \quad (6)$$

$$CRM = (\sum_{i=1}^n o_i - \sum_{i=1}^n P_i) / \sum_{i=1}^n o_i \quad (7)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (8)$$

در این روابط O_i : مقادیر مشاهده شده، P_i : مقادیر شبیه‌سازی شده، O : میانگین مقادیر مشاهده شده، P : میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده و n : تعداد مشاهدات می‌باشد. مقدار R^2 نشان‌دهنده پراکندگی داده‌ها حول خط رگرسیون است، مقدار MBE و CRM کارایی مدل و گرایش مدل به سمت تخمین بیش از حد یا کم‌تر از حد را نشان می‌دهند. مقدار منفی CRM نشانگر تمایل مدل برای شبیه‌سازی بیش از حد یا کم‌تر از حد در مقایسه با داده‌های مشاهداتی می‌باشد. مقدار NS نشان‌دهنده دقت مدل و مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک می‌باشد، موقعی که مقدار NS برابر یک باشد نشان‌دهنده این است که مقدار مشاهداتی با مقدار شبیه‌سازی کاملاً برابر و منطبق با یکدیگر هستند. در شرایطی که مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده با هم برابر باشند (بهترین حالت) مقادیر عددی R^2 ، MBE، CRM و NS به ترتیب برابر با یک، صفر، صفر و یک خواهند بود (Mohammadi & Chanaszyk et al., 2004; Delbari, 2015).

داده‌های متوسط درجه‌حرارت سالانه، بارندگی، رطوبت نسبی و تشعشع در ستون مقابل قرار گرفتند، سپس شیب خط و عرض از مبدأ با روش کم‌ترین مربعات خطا معین شدند. برای انجام آزمون روند آماره t (معادله $t = \frac{b}{s_b}$) محاسبه شد.

بر همین اساس، تنها به برآورد ضرایب رگرسیون معادله خطی $Y = a + bX$ توسط نرم‌افزار SAS اکتفا شد. در این معادله، X نشان‌دهنده سال، a و b متغیرهای معادله و Y مقدار متغیر اقلیمی می‌باشد. از مشتق این معادله، یعنی b (شیب یا ضریب زاویه معادله) برای نشان‌دادن کاهشی و یا افزایشی بودن و هم‌چنین سرعت تغییر متغیرها استفاده می‌شود (Sharafi & Karim, 2020; Gholipoor, 2008). بنابراین رگرسیون چند متغیره خطی یک روش آماری است که براساس داده‌های ورودی، داده‌های خروجی را پیش‌بینی می‌کند. در واقع روش رگرسیون خطی، یک فن یادگیری نظارتی است که به‌وسیله آن می‌توان تغییرات یک متغیر وابسته را به‌وسیله ترکیب خطی از یک یا چند متغیر مستقل مدل کرد. حالت کلی معادله آن به‌صورت رابطه زیر است (Chow et al., 2011):

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_nX_n \quad (4)$$

X ها؛ متغیر مستقل، a_0 ، a_1 و ...؛ ضرایب ثابت و Y ؛ متغیر وابسته می‌باشد. در این پژوهش عملکرد سالانه محصول به‌عنوان متغیر وابسته و میانگین درجه‌حرارت (T)، میانگین بارندگی (P)، میانگین تشعشع دریافتی (S) و میانگین سرعت باد (W) در طول دوره رشد، به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، برای به‌دست‌آوردن رابطه رگرسیون خطی به کمک متغیرهای هواشناسی از نرم‌افزار SPSS-22 استفاده شد، ابتدا نرمال‌بودن داده‌ها و ضریب همبستگی (r) بین عملکرد سالانه محصول و دیگر متغیرهای هواشناسی برای هر ایستگاه به‌صورت جداگانه بررسی شد و در

نتایج و بحث

براساس آمار هواشناسی، آب مهم‌ترین عامل اقلیمی در کشور محسوب می‌شود که کمبود آن می‌تواند آسیب‌های جبران‌ناپذیری به کشاورزی کشور وارد آورد. هم‌چنین براساس مطالعات Sharafi & Ghaleni (2021c) ایران به شش منطقه رطوبتی تقسیم شد که شامل بیابان ساحلی، بیابانی، نیمه‌بیابانی، نیمه‌کوهستانی، کوهستانی و مرطوب ساحلی بود (شکل ۱). پنج ایستگاه از ایستگاه‌های موردبررسی در اقلیم مرطوب ساحلی (۱۱/۶۲ درصد)، هفت ایستگاه به‌ترتیب در اقلیم‌های کوهستانی، بیابانی و بیابان ساحلی (۱۶/۲۷ درصد)، شش ایستگاه در اقلیم نیمه‌کوهستانی (۱۳/۹۵ درصد) و ۱۱ ایستگاه در اقلیم نیمه‌بیابانی قرار داشتند (۲۵/۵۸ درصد). بنابراین فقط ۱۱/۶۲ درصد ایستگاه‌های موردبررسی از نظر رطوبت در شرایط مناسبی قرار دارند و در بقیه ایستگاه‌ها وضعیت نیمه‌بحرانی و بحرانی است (۸۸/۳۲ درصد). متوسط بارندگی سالانه در مناطق شش‌گانه به‌صورت زیر است.

بیش‌ترین و کم‌ترین بارندگی سالانه به‌ترتیب در ایستگاه‌های بندرانزلی (۱۷۴۸ میلی‌متر در سال) و زابل (۵۵ میلی‌متر در سال) رخ داد. بیش‌ترین کاهش بارندگی در ایستگاه گرگان رخ داده، که این شیب بسیار منفی بوده و بنابراین خسارت‌های جبران‌ناپذیری در ایستگاه‌های مجاور نیز در پی داشته است. هم‌چنین کم‌ترین تغییرات در میزان بارندگی در ایستگاه بوشهر بود که شیب معادله آن ۰/۰۷ درصد بود. نکته قابل‌توجه وجود تغییرات شدید در نقاط پرباران کشور می‌باشد که در هفت دهه گذشته تغییرات زیادی داشته‌اند، به‌عبارت دیگر ایستگاه‌های مناطق نیمه‌بیابانی، کوهستانی و نیمه‌کوهستانی و مرطوب ساحلی بیش‌ترین تأثیر منفی ناشی از کاهش بارندگی را داشته‌اند و این موضوع می‌تواند در درازمدت برای

کشاورزی ایران مشکلات عدیده‌ای را در پی داشته باشد (Sharafi & Ghaleni, 2021b).

در مناطق بیابانی ۸۲ میلی‌متر در سال (با شیب ۰/۲- درصد نسبت به دوره مشابه)، میانگین بارندگی در مناطق بیابان ساحلی ۱۷۰ میلی‌متر در سال (با شیب ۰/۲۵- درصد)، متوسط بارندگی در مناطق نیمه‌بیابانی ۲۱۶ میلی‌متر در سال (با شیب متوسط ۰/۱- درصد)، در مناطق کوهستانی با میانگین بارندگی ۳۴۰ میلی‌متر در سال (با شیب ۰/۳- درصد)، در مناطق نیمه‌کوهستانی با میانگین ۳۸۵ میلی‌متر در سال (صفر درصد) و در اقلیم ساحلی مرطوب با میانگین بارندگی ۱۱۶۲ میلی‌متر در سال (با شیب ۰/۴۱- درصد) مشاهده شد (شکل ۱).

براساس نتایج جدول (۱)، کلیه ایستگاه‌ها دارای روند بوده و در سطح پنج درصد معنی‌دار شدند، ۱۷ ایستگاه دارای روند مثبت (۴۶/۵۲ درصد) افزایش بارندگی و ۲۶ ایستگاه دارای روند منفی (۵۳/۴۸ درصد) بودند. در هر یک از اقلیم‌های بیابان ساحلی و بیابانی چهار ایستگاه دارای روند منفی (۵۷/۱۴ درصد) و سه ایستگاه دارای روند مثبت (۴۲/۸۶ درصد)، در اقلیم نیمه‌بیابانی چهار ایستگاه دارای روند منفی (۳۶/۶ درصد) و هفت ایستگاه دارای روند مثبت (۶۳/۷ درصد)، در اقلیم نیمه‌کوهستانی چهار ایستگاه دارای روند منفی (۶۷ درصد) و دو ایستگاه دارای روند مثبت (۳۳ درصد)، در اقلیم کوهستانی شش ایستگاه دارای روند منفی (۸۵/۷۲ درصد) و فقط یک ایستگاه دارای روند مثبت (۱۴/۲۸ درصد) و در اقلیم ساحلی، چهار ایستگاه دارای روند منفی (۸۰ درصد) و فقط یک ایستگاه دارای روند مثبت (۲۰ درصد) بود. اغلب ایستگاه‌های اقلیم کوهستانی و ساحلی مرطوب دارای روند منفی بودند و کاهش بارندگی در طول دوره موردبررسی مشهود بود. بنابراین تغییرات اقلیمی از شمال و شمال‌غرب به سمت جنوب و جنوب‌شرق صورت

مورد بررسی باشد، بنابراین براساس شاخص یونسکو کشور را به دو منطقه خشک و مرطوب تقسیم کرده که در مناطق خشک متوسط بارندگی ۲۰۶/۶۶ میلی متر در سال (با شیب ۰/۶- درصد) و در مناطق مرطوب با متوسط بارندگی ۹۹۷/۷۷ میلی متر در سال (با شیب ۰/۹- درصد) گزارش شد (Sharafi & Ghaleni, 2021a).

گرفته، یعنی هر قدر از مناطق شمال و شمال غربی به سمت جنوب و جنوب شرقی پیش می رویم، اقلیم خشک تر شده است (شکل ۱) و در نتیجه خسارت های بیشتری به این مناطق وارد شده است (جدول ۱). اگر متوسط بارندگی سالیانه کشور براساس کلیه مناطق گزارش شده نمی تواند برآیندی بر کل ایستگاه های

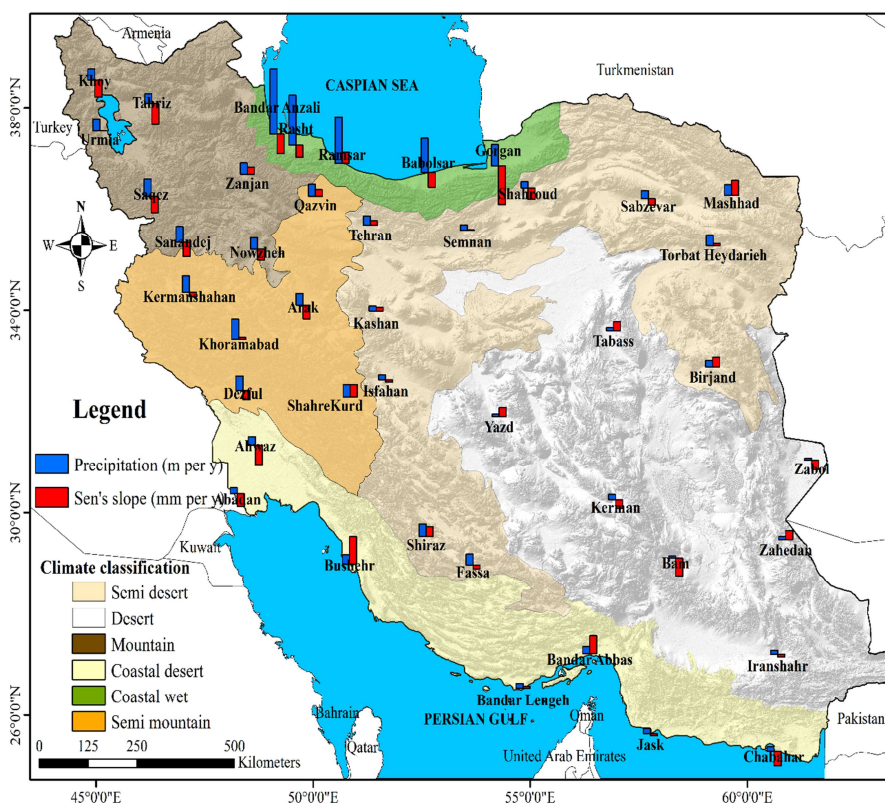


Figure 1. Zoning the amount and slope of rainfall based on the model of geographical division of different climates of Iran (Sharafi & Ghaleni, 2021c)

Table 1. The trend direction and density of precipitation at Iranian synoptic stations ($p \geq 0.05$)

Climate	Trend direction	Number	density
Coastal wet (5)	Positive	1	20
	Negative	4	80
Mountain (7)	Positive	1	14.28
	Negative	6	85.72
Semi mountain (6)	Positive	2	33
	Negative	4	67
Semi desert (11)	Positive	7	67.4
	Negative	4	36.6
Desert (7)	Positive	3	42.86
	Negative	4	57.14
Coastal desert (7)	Positive	3	42.86
	Negative	4	57.14

ارزیابی معادلات رگرسیونی چندمتغیره در تخمین عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم‌های مختلف ایران

گندم و جو برای هر اقلیم برآورد شد و با مقادیر مشاهده‌شده مقایسه و ارزیابی شد (جدول ۲).

با توجه به شکل‌های (۲) و (۳)، به‌صورت کلی معادله رگرسیون خطی چندمتغیره در برآورد عملکرد محصول در اقلیم‌های مختلف از کارایی بالایی برخوردار است. دقت این روش در اقلیم‌های مرطوب‌تر نسبت به اقلیم‌های خشک‌تر بیشتر است. نکته مهم در این پژوهش تأثیرگذار بودن بارندگی در عملکرد گیاهان مذکور است. همچنین در مقایسه نتایج دو محصول گندم و جو دیم مشاهده شد که دقت و برازش برآورد عملکرد گندم دیم در همه اقلیم‌ها نسبت به جو دیم بیشتر است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کشت گندم دیم ($R^2=0.77$) و جو دیم ($R^2=0.63$) به نسبت به جو دیم ($NS=0.74$) شرایط بهتری را دارد (ضریب تبیین و ضریب نش در گندم دیم بالاتر است).

ضریب تبیین و ضریب نش در گندم دیم برای اقلیم مرطوب به نسبت سایر اقلیم‌ها از دقت بیشتری برخوردار است ($R^2=0.83$). کم‌ترین ضریب تبیین در گندم دیم ($R^2=0.71$) و جو دیم ($R^2=0.53$) برای اقلیم خیلی خشک به‌دست آمد (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین مقادیر MBE و CRM نشان دادند که در تمام اقلیم‌ها روش رگرسیون خطی چندمتغیره تمایل به بیش‌برآورد دارد.

با در نظر گرفتن مقادیر میانگین درجه حرارت هوا، میانگین تشعشع دریافتی، میانگین بارندگی و میانگین سرعت باد در دوره رشد گیاه به‌عنوان ورودی، مناسب‌ترین رابطه برای عملکرد هر محصول برای هر اقلیم به‌دست آمد و در جدول (۲) ارائه شد. با توجه به این‌که کشاورز کشت دیم را زمانی که مطمئن شود که بارندگی رخ می‌دهد انجام داده و معمولاً کشت دیم تناوب یکسال در میان دارد، بنابراین در سال‌هایی که بارندگی کم‌تر از نیاز آبی هر یک از گیاهان گندم و جو دیم بوده، در مدل‌سازی لحاظ نشد. مدلی که ارائه‌شده با فرض وقوع بارندگی در تاریخ کشت پیشنهادی مدل در هر اقلیم است. بر همین اساس به‌جز چند سال که بارندگی در زمان مقرر کاشت رخ نداده، از مطالعه حذف شدند. همچنین در این پژوهش از دیدگاه اکولوژیک (محیط‌شناسی) مقادیر میانگین عملکرد در هر اقلیم لحاظ شد که این مقدار، میانگین متوسط عملکرد کلیه ارقام مورد کاشت در هر اقلیم بود. مقادیر a_1, a_2, a_3, a_4 به‌ترتیب ضرایب میانگین بارندگی، میانگین درجه حرارت هوا، میانگین تشعشع دریافتی و میانگین سرعت باد در دوره رشد گیاه هستند و a_0 ضریب ثابت رابطه عملکرد محصول است. در نهایت پس از به‌دست آوردن ضرایب رابطه رگرسیون خطی چند متغیره، عملکرد محصول برای

Table 2. MLR equations for yield estimation of rainfed wheat and barley yield in different climates of Iran

Crop	Climate	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
Wheat	Coastal wet	3856.1	-1.015	-93.1	0.065	121.6
	Mountain	139.91	0.39	-19.5	0.16	-21
	Semi mountain	145.96	0.47	-20.8	0.28	-18.7
	Semi desert	331.15	-0.253	3.3	0.141	-44.8
	Desert	-663.1	1.21	3.35	0.39	3.89
	Coastal desert	-445.63	1.19	4.56	0.28	4.62
Barley	Coastal wet	559.3	-0.47	-227.8	-0.038	26.36
	Mountain	51.12	0.79	1.5	0.178	-13.9
	Semi mountain	19.1	0.68	1.2	0.188	-14.7
	Semi desert	648.7	-0.11	-1.5	0.064	-34.4
	Desert	-845.3	0.4	12.5	0.39	5.42
	Coastal desert	-651.34	0.38	13.67	0.28	4.44

Multiple regression equations (MLR)

$$Y = a_1R + a_2T + a_3S + a_4W + a_0$$

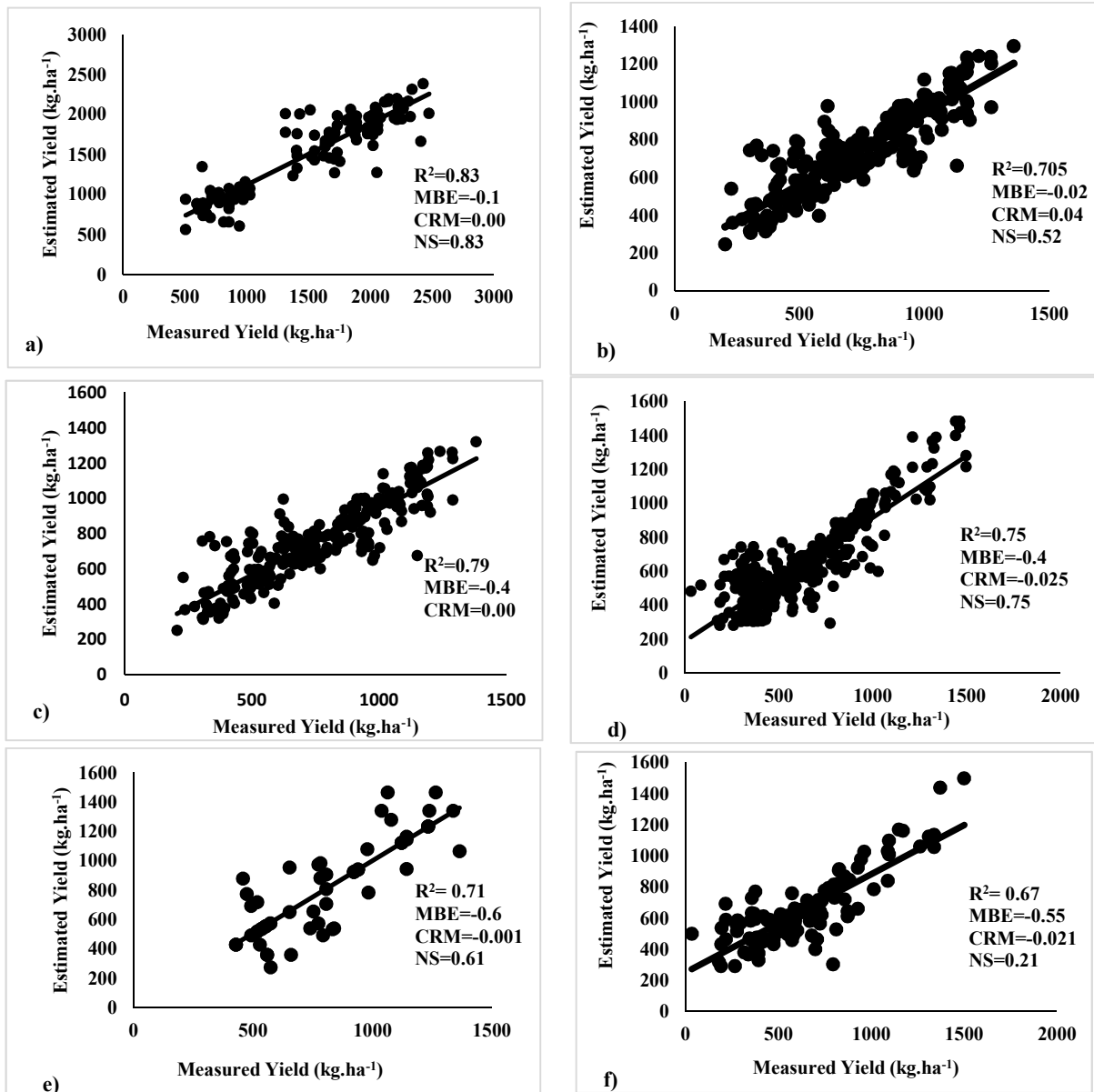


Figure 2. The yield gap trend of rainfed wheat in a) coastal wet, b) mountain, c) semi mountain, d) semi desert, e) desert and f) coastal desert climates of Iran

به گندم دیم تمایل به بیش برآورد کمتری دارد (شکل های ۲ و ۳). نتایج نشان می دهد که فشار مضاعفی به اراضی دیم وارد شده است. به عبارت دیگر مقادیر عملکرد موجود کم تر از حد توان واقعی گیاه در هر اقلیم است که می تواند ناشی از عواملی مانند عدم مدیریت مناسب در عملیات کوددهی و مقابله با علف های هرز باشد.

به طوری که نتایج نشان داد که این بیش برآوردها از مناطق مرطوب به مناطق خشک تر بیش تر می شود و مدل از دقت کمتری برخوردار می شود. مقایسه نتایج مقادیر MBE و CRM نشان می دهد گندم دیم در اقلیم های مرطوب و خشک نسبت به جو دیم تمایل به بیش برآورد کمتری دارد، ولی در اقلیم های نیمه خشک و خیلی خشک جو دیم نسبت

ارزیابی معادلات رگرسیونی چندمتغیره در تخمین عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم‌های مختلف ایران

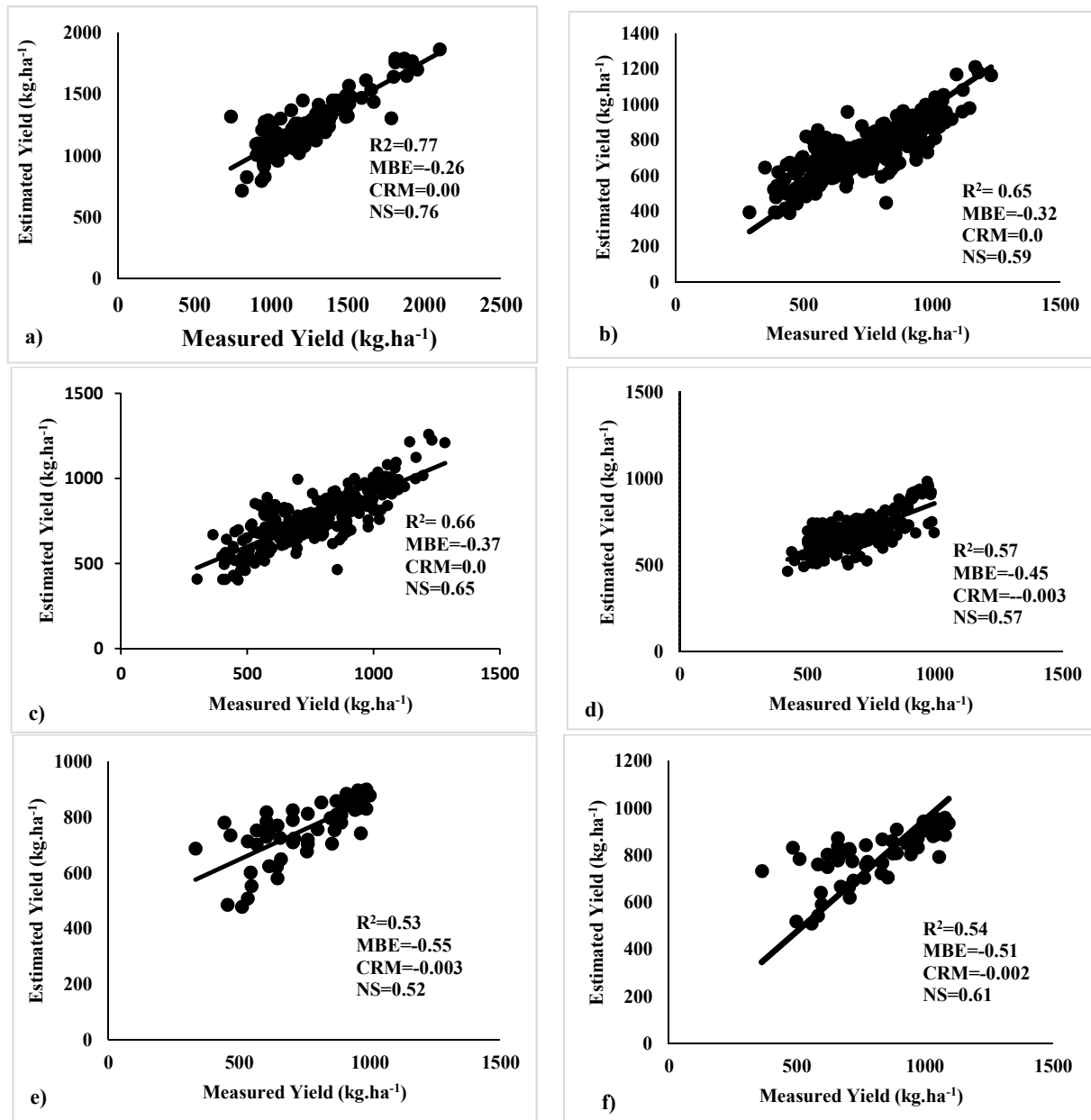


Figure 3. The yield gap trend of rainfed barley in a) coastal wet, b) mountain, c) semi mountain, d) semi desert, e) desert and f) coastal desert climates of Iran

رگرسیون چندمتغیره در تخمین عملکرد گیاهان گندم و جو دیم با استفاده از متغیرهای اقلیمی در ۴۴ ایستگاه هواشناسی در اقلیم‌های مختلف برای یک دوره ۴۰ ساله (۱۹۸۱-۲۰۲۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش پراکندگی بارش‌ها در مناطق مختلف نشان از وجود اقلیم‌های متنوع در کشور

نتیجه گیری

از آنجایی که کشاورزی یک فعالیت مرتبط با اقلیم بوده و براساس اطلاعات هواشناسی سال‌های گذشته وقوع خشکسالی در دوره رشد گیاهان زراعی به‌ویژه در دیم‌کاری به امری اجتناب‌ناپذیر است. در این مطالعه، مدل‌های

پی‌نوشت‌ها

1. Coefficient of determination
2. Mean Bias Error
3. Coefficient of Residual Mass
4. Nash-Sutcliffe efficiency coefficient
5. Over estimate

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Abeledo, L. G, Savin, R., & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, 28, 541-550.
2. Antle, J. M. (1996). Meteorological issues in assessing potential impacts of climate change on agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80, 67-85.
3. Becker, M., & Johnson, D. E. (1999). Rice yield and productivity gaps in irrigated systems of the forest zone of CoAte d'Ivoire. *Field Crops Research*, 60, 201-208.
4. Boote, K. J., & Tollenaar, M. (1994). Modeling yield potential. In: Boote, K. J., Bennett, J. M., Sinclair, T. R., Paulsen, G. M. (Eds.), *Physiology and Determination of Crop Yield*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
5. Chanasyk, D. S., Mapfumo, E., Willms, W. D., & Naeth, M. A. (2004). Quantification and simulation of soil water on grazed fescue watersheds. *Journal of Range Management*, 57(2), 169-177.
6. Chow, T. T., Long, H., Mok, H. Y., & Li, K. W. (2011). Estimation of soil temperature profile in hong kong from climatic variables. *Energy and Building Journal*, 43, 3568-3575.
7. Delbari, M., Sharifzari, S., & Mohammadi, E. (2108). Modeling daily soil temperature over diverse climate conditions in Iran-a comparison of multiple linear regression and support vector regression techniques. *Theoretical and Applied Climatology*, 131, 1-11.
8. Fischer, G., Van Velthuisen, H., & Nachtergaele, F. (2000). *Global Agroecological zones assessment: Methodology and results*. Interim Report IR-00-064. IIASA, Vienna and FAO, Rome.

دارد، به طوری که ۶۷/۵۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند مثبت در افزایش بارندگی و ۵۳/۴۸ درصد ایستگاه دارای روند منفی در کاهش بارندگی بودند. در هر یک از اقلیم‌های بیابان ساحلی و بیابانی چهار ایستگاه دارای روند منفی و سه ایستگاه دارای روند مثبت، در اقلیم نیمه‌بیابانی چهار ایستگاه دارای روند منفی و هفت ایستگاه دارای روند مثبت، در اقلیم نیمه‌کوهستانی چهار ایستگاه دارای روند منفی و دو ایستگاه دارای روند مثبت، در اقلیم کوهستانی شش ایستگاه دارای روند منفی و فقط یک ایستگاه دارای روند مثبت و در اقلیم ساحلی چهار ایستگاه دارای روند منفی و فقط یک ایستگاه دارای روند مثبت بود. براساس نتایج این پژوهش بیش‌ترین مقدار کاهش بارندگی خسارت‌هایی به اقلیم‌های مرطوب و کوهستانی وارد شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت مدل‌های رگرسیونی در اقلیم‌های مرطوب‌تر نسبت به اقلیم‌های خشک‌تر بیش‌تر است. نکته مهم در این پژوهش تأثیرگذار بودن بارندگی در عملکرد گندم و جو دیم بود. هم‌چنین، در مقایسه نتایج مدل‌های رگرسیونی برای دو محصول مذکور مشاهده شد که دقت و برازش مدل‌های رگرسیونی (ضریب تبیین و ضریب نش) در تخمین عملکرد گندم ($R^2=0.77$ و $NS=0.74$) نسبت به جو دیم ($R^2=0.63$ و $NS=0.62$) در همه اقلیم‌ها بیش‌تر است. هم‌چنین مقادیر MBE و CRM نشان دادند که در تمام اقلیم‌ها مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره تمایل به بیش‌برآورد دارند. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های رگرسیون چندمتغیره کارایی مناسبی در پیش‌بینی عملکرد گندم و جوی دیم در مناطق اقلیمی مختلف داشته و قادر به شناسایی خلأ عملکرد در مناطق مختلف اقلیمی کشور و کاهش خسارت‌های ناشی از خشکسالی بوده و با استفاده از این مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده می‌توان راهکارهایی به‌منظور سازگاری این گیاهان نسبت به تغییرات اقلیمی آینده در مناطق اقلیمی مختلف ارائه نمود.

9. Gholipoor, M. (2008). Quantifying threshold frost hardiness for overwintering survival of wheat in Iran, using simulation. *International Journal of Plant Production*, 2, 125-136.
10. Hammera, G. L., Hansenb, J. W., Phillipsb, J. G., Mjeldec, J. W., Hillc, H., Lovcec, A., & Potgietera, A. (2001). Advances in application of climate prediction in Agriculture. *Agricultural Systems*, 70, 515-553.
11. Holden, N. M., & Brereton, A. J. (2004). Definition of agroclimatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 122, 175-191.
12. Imam, Y. (2002). *Cereal farming*. Shiraz University. Shiraz, Iran. (In Persian).
13. Johnson, D. E. (1998). *Applied multivariate methods for data analysts*. Duxbury Press.
14. Kamali, M. R. (2009). World situation of Wheat in the past, present and future. *10th congress of agronomy and modification of plants*, Karaj, Iran. 23-45. (In Persian with English Abstract).
15. Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri, A., & Rezvani Moghadam, P. (2006). Analysis of yield gap of Cumin in 9 regions of Great Khorasan by modeling approach. *Agronomy Researches*, 5, 332-342. (In Persian with English Abstract).
16. Koocheki, A., Nassiri, M., Kamali, G., & Shahandeh, G. (2006). Potential impacts of climate change on agro-climatic indicators in Iran. *Arid Land Research and Management*, 20, 1-15.
17. Krause, P., Boyle, D. P., & Base, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89-97.
18. Mohammadi, E., & Delbari, M. (2015). Simulation of Water and Salt Transport in Soil Using the HYDRUS-1D Software. *Water and Soil Science*, 25(1), 67-78. (In Persian with English Abstract).
19. Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. & Shahandeh, G. (2006). Impacts of climatic change on rainfed wheat production in Iran. *Archives in Agronomy and Soil Science*, 25(1), 113-124.
20. Nicholls, N. (2000). *Impediments to the use of climate predictions*. In: Hammer, G.L., N. Nicholls, C. Mitchell. (Eds.). *Applications of Seasonal Climate Forecasting in Agricultural and Natural Ecosystems: The Australian Experience*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands.
21. Rosenzweig, C., & Parry, M. L. (1994). Potential Impact of Climate Change on World Food Supply. *Nature*, 367, 133-138.
22. Sabziparvar, A. (2008). A Simple Formula for Estimating Global Solar Radiation in Central Arid Deserts of Iran, *Journal of Renewable Energy*, 33(5), 1002-1010.
23. Sadeghi, A. R., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Khalili, D., & Zand-Parsa, S. (2002). Regional classification for dryland agriculture in southern Iran. *Journal of Arid Environments*, 50, 333-341.
24. Sharafi, S., & Ghaleni, M. M. (2021a). Calibration of empirical equations for estimating reference evapotranspiration in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(3), 1-15.
25. Sharafi, S., & Ghaleni, M. M. (2021b). Evaluation of multivariate linear regression for reference evapotranspiration modeling in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 143(3), 1409-1423.
26. Sharafi, S., & Ghaleni, M. M. (2021c). Spatial assessment of drought features over different climates and seasons across Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 145(4), 1-17.
27. Sharafi, S., & Karim, N. M. (2020). Investigating trend changes of annual mean temperature and precipitation in Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(16), 1-11.
28. Sharafi, S., Ramroudi, M., Nassiri, M., Galavi, M., & Kamali, G. A. (2017). Assessment of moisture status and crop production in different climates of Iran. *Journal of Agriculture Knowledge and Sustainable Production*, 7(1), 103-120. (In Persian with English Abstract).
29. Sharafi, S., Ramroudi, M., Nassiri, M., Galavi, M., & Kamali, G. A. (2016). Role of Early Warning Systems for Sustainable Agriculture in Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 9, 734-754.
30. Soltani, A., & Sinclair, T. R. (2012). *Modeling Physiology of Crop Development, Growth and Yield*. CABI publication.
31. Soltani, A., Robertson, M. J., Mohammad Nejad, Y., & Rahemi Karizaki, A. (2006). Modeling chickpea growth and development: Leaf production and senescence. *Field Crops Research*, 99, 14-23.
32. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., & Zeinali, A. (2012). The analysis of limited factors for wheat yield in Gorgan conditions. *Journal of Crop Production*, 4(4), 1-17. (In Persian with English Abstract).
33. Zare Feizabadi, A., Koocheki, A. R., & Nassiri, M. (2007). Investigation of plantation area, yield and cereal production in Iran and forecasting of the future. *Journal of Agronomy Researches*, 4(1), 42-69. (In Persian with English Abstract).