DOI: 10.22059/ijswr.2021.309650.668731 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۲، اردیبهشت ۱۴۰۰ (ص ۵۰۶-۴۹۷)

Estimation of Rainfed Wheat Yield Functions Using Climatic Parameters and Multivariate Regression Methods

MOEIN HADI[*1], SAEID JALILI[2], VAHID MOUNESKHAH[1], ABOLFAZL MAJNOONI HERIS[1]

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: Sep. 8, 2020- Revised: Jan. 6, 2020- Accepted: Jan. 16, 2020)

ABSTRACT

More than half of the agricultural lands in arid and semi-arid climates are rainfed. Many climatic variables affect the yield of rainfed crops, among them rainfall is the most important variable. The aim of the present study is to determine the yield functions of rainfed wheat in Tabriz, Sarab and Maragheh stations located in the east of Lake Urmia basin, considering the changes of climatic variables during different stages of rainfed wheat growth. In order to model the yield using multivariate regression method, some precipitation variables such as, number of effective precipitation events, vegetation precipitation deficit, reference precipitation and evapotranspiration deficit in rainfed conditions during six stages of rainfed wheat growth including germination; End of germination until the beginning of flowering; Flowering stage; Finishing flowering until the seeds start to fill; Seed filling stage and whole growing season were used. In general, based on the obtained results, precipitation fluctuations have the greatest effect on wheat yield. Therefore, identifying the precipitation regime and analyzing its characteristics is important for assessing yield fluctuations of rainfed crops. Among the growth stages, the fluctuation of the proposed traits in the whole growth season has a greater role in determining yield functions. Yield functions were determined using variables that had a significant correlation with yield. For this purpose, 22-year and 3-year data were used for calibration and validation, respectively. The results of the model efficiency coefficient and normalized root mean square error indicated better effeciency of Enter method in the Sarab (EF=0.55 and NRMSE=0.19) and the Moderate accuracy of Stepwise method in estimating the rainfed wheat yield in Maragheh and Tabriz. In Maragheh and Tabriz, the Stepwise method with average relative error values of 21% and 15.6%, respectively, and in Sarab, the Enter method with an average relative error of 16.5% had better results in yield fitting.

Keywords: Correlation, Enter Method, Rainfall, Stepwise Method, Yield.

*Corrosponding author's Email: moeinhadi70@gmail.com

برآورد توابع عملکرد گندم دیم با استفاده از پارامترهای اقلیمی و کاربرد روش‌های رگرسیونی چندمتغیره

معین هادی*[۱]، سعید جلیلی[۲]، وحید مونس‌خواه[۱]، ابوالفضل مجنونی هریس[۱]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۲۷)

چکیده

بیش از نیمی از اراضی کشاورزی در مناطق اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، تحت کشت دیم هستند. متغیرهای اقلیمی بسیاری بر عملکرد محصولات دیم تأثیرگذارند که متغیرهای مربوط به بارش مهم‌ترین آن‌ها هستند. هدف مطالعه حاضر، تعیین توابع عملکرد گندم دیم در ایستگاه‌های تبریز، سراب و مراغه واقع در شرق حوضه دریاچه ارومیه با در نظر گرفتن تغییرات متغیرهای اقلیمی در طول مراحل مختلف رشد گندم دیم می‌باشد. به‌منظور مدل‌سازی عملکرد با استفاده از روش رگرسیون چندمتغیره، از متغیرهای بارش، تعداد رویدادهای بارش مؤثر، کمبود بارش گیاهی، کمبود بارش مرجع و تبخیر-تعرق در شرایط دیم در طول شش مرحله رشد گندم دیم شامل جوانه‌زنی، اتمام جوانه‌زنی تا آغاز گل‌دهی، مرحله گل‌دهی، اتمام گل‌دهی تا آغاز پر شدن دانه، مرحله پر شدن دانه و کل فصل رشد استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به‌طور کلی نوسانات بارش بیش‌ترین تأثیر را بر نوسانات عملکرد دارد. لذا شناسایی رژیم بارش و آنالیز مشخصات بارش در ارزیابی نوسانات عملکرد محصولات دیم حائز اهمیت است. در بین مراحل رشد نیز نوسان صفات مورد بررسی در کل فصل رشد نقش بیش‌تری در تعیین توابع عملکرد دارد. توابع عملکرد با استفاده از متغیرهایی که همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند، تعیین شد. برای این منظور از داده‌های ۲۲ سال و ۳ سال به‌ترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد. نتایج ارزیابی ضریب کارآیی مدل و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده حاکی از کارآیی بهتر روش همزمان در برآورد عملکرد گندم دیم سراب (EF =۰/۵۵ و NRMSE =۰/۱۹) و دقت متوسط روش گام به گام در برآورد عملکرد گندم مراغه و تبریز است. در مراغه و تبریز روش گام به گام به‌ترتیب با مقادیر متوسط خطای نسبی ۲۱ درصد و ۱۵/۶ درصد و در سراب نیز روش همزمان با متوسط خطای نسبی ۱۶/۵ درصد نتایج بهتری در برازش عملکرد داشتند.

واژه‌های کلیدی: بارش، روش گام به گام، روش همزمان، عملکرد، همبستگی.

مقدمه

با توجه به ماهیت کشاورزی دیم، تنش‌های ناشی از نوسان عوامل اقلیمی نقش قابل‌توجهی در تغییرات عملکرد محصولات دیم دارند. بنابراین، شناخت معیارهای اقلیمی مؤثر بر میزان عملکرد محصول بسیار حائز اهمیت است. زیرا با تهیه مدل‌هایی برای پیش‌بینی محصول، می‌توان اقدامات و برنامه‌ریزی‌های لازم را جهت مقابله با نوسان عملکرد انجام داد. تولیدات کشاورزی همواره با احتمال خطر در زمینه نوسانات آب و هوایی و تغییرات بازارهای بین‌المللی همراه بوده است (Labus *et al.*, 2002). اگرچه این احتمال خطر هرگز به‌طور کامل حذف نمی‌شود؛ اما می‌توان با شناخت پارامترهای مختلف مؤثر در رشد گیاه و محصول و تخمین میزان عملکرد قبل از فصل برداشت، آن‌ها را به حداقل رساند. مدل‌های شبیه‌سازی محصول می‌تواند به محققین، سازمان‌های دولتی و تولیدکنندگان کمک کند تا بهترین شرایط را برای مدیریت محصولات خود در این زمینه، با توجه به شرایط آب و هوایی، ارزیابی کنند (Battisti *et al.*, 2017). همه‌ساله در نقاط مختلف جهان، بخش قابل‌توجهی از اراضی کشاورزی به کشت گندم به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک، اختصاص می‌یابد. دراین‌بین با توجه به محدودیت آب در دسترس بخش کشاورزی و نیز سازگاری گندم در برابر تنش‌ها، بخش عظیمی از این اراضی تحت کشت به‌صورت دیم هستند. بنابراین پیش‌بینی و مدل‌سازی عملکرد با توجه به تأثیر عوامل اقلیمی و هیدرولوژیکی موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است. Landau *et al.* (2000) از متغیرهای آب و هوایی به‌منظور مدل‌سازی عملکرد گندم زمستانه در منطقه بریتانیا استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که بارندگی در زمان قبل از گل‌دهی و دوره‌های گل‌دهی و پر شدن دانه در بهار، تأثیر

* نویسنده مسئول: moeinhadi70@gmail.com

منفی بر عملکرد گندم دارد. Quiring & Papakryiakou (2003) با بهره‌گیری از ۴ شاخص خشک‌سالی کشاورزی به پیش‌بینی محصول گندم در غرب کانادا پرداختند. ایشان با ایجاد مجموعه‌ای از روابط رگرسیونی خطی بین تولید و مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی گزارش کردند که شاخص Z (مشتق شده از شاخص پالمر)، مناسب‌ترین شاخص به‌منظور برآورد عملکرد گندم در غرب کانادا می‌باشد. Hosseini *et al.* (2007) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیونی چند متغیره، به پیش‌بینی عملکرد گندم در دشت قروه پرداخته و گزارش کردند که مقدار و نحوه پراکنش بارش و میانگین دمای بیشینه روزانه در ماه‌های انتهایی رشد به‌منظور پیش‌بینی میزان تولید اهمیت ویژه‌ای دارند. Zare abyaneh (2013) با استفاده از ده پارامتر هواشناسی و هفت شاخص خشک‌سالی در قالب سه ساختار اطلاعاتی در ورودی مدل‌های رگرسیونی چند متغیره، به پیش‌بینی عملکرد محصولات دیم در دو منطقه بیرجند و مشهد پرداخت. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از برتری مدل چند متغیره با ساختار اطلاعاتی همه عوامل هواشناسی و شاخص‌های خشک‌سالی بود. Sabziparvar *et al.* (2013) بهترین شاخص‌ها و متغیرهای آگروکلیمایی مؤثر در تولید گندم دیم و آبی را برای ۷ منطقه استان همدان تعیین نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده شاخص‌های کمبود بارش مرجع و کمبود بارش گیاهی همبستگی قوی‌تری با عملکرد گندم در مقایسه با سایر شاخص‌ها داشتند. در پژوهشی دیگر، Shokouhi & Sanaei-Nejad (2016) با بررسی تأثیر دوره‌های بارندگی و شاخص SPI بر عملکرد جو دیم، گزارش کردند که تنها یک دوره خاص بارندگی در طی دوره رشد بر عملکرد محصول تأثیرگذار نبوده و برای توجیه تغییرات عملکرد نسبت به بارندگی، بایستی مقدار بارندگی در حدفاصل بین ششم اسفند تا شانزدهم اردیبهشت‌ماه و نیز شرایط تأمین رطوبتی اوایل کاشت را هم‌زمان در نظر گرفت. Mam-karimi (2017) باهدف ارزیابی توابع عملکرد گندم دیم در آذربایجان غربی با استفاده از نهاده‌های آب، از روش رگرسیون استفاده کرد. نتایج نشان داد که معیارهای مجموع بارش سالانه و مجموع تبخیر-تعرق سالانه، سهم بیش‌تری در چند متغیره مدل-های نهایی داشتند.

Naserin & Saeed-Mousavi (2017) نیز به‌منظور تعیین مدل تولید اقلیمی عملکرد گندم دیم در شمال استان خوزستان، از روش رگرسیون خطی استفاده کرده و گزارش نمودند که مدل-های محلی نسبت به مدل منطقه‌ای به داده‌های کمتری نیاز دارند. همچنین این توابع با دقت بیش‌تری نسبت به تابع منطقه‌ای عملکرد گندم دیم را برآورد می‌کنند. در مطالعه‌ای دیگر، Mousavi-Baygi *et al.* (2016) با ارزیابی شاخص‌های اقلیمی محدودکننده عملکرد گندم دیم در منطقه شمال شرقی ایران گزارش کردند که الگوی زمان‌بندی بارش، تبخیر- تعرق واقعی و تبخیر- تعرق گیاه عوامل محدودکننده مؤثر در عملکرد گندم دیم هستند و ایجاد تعادل بین سامانه‌های تأمین آب و تقاضا در این زمینه ضروری است.

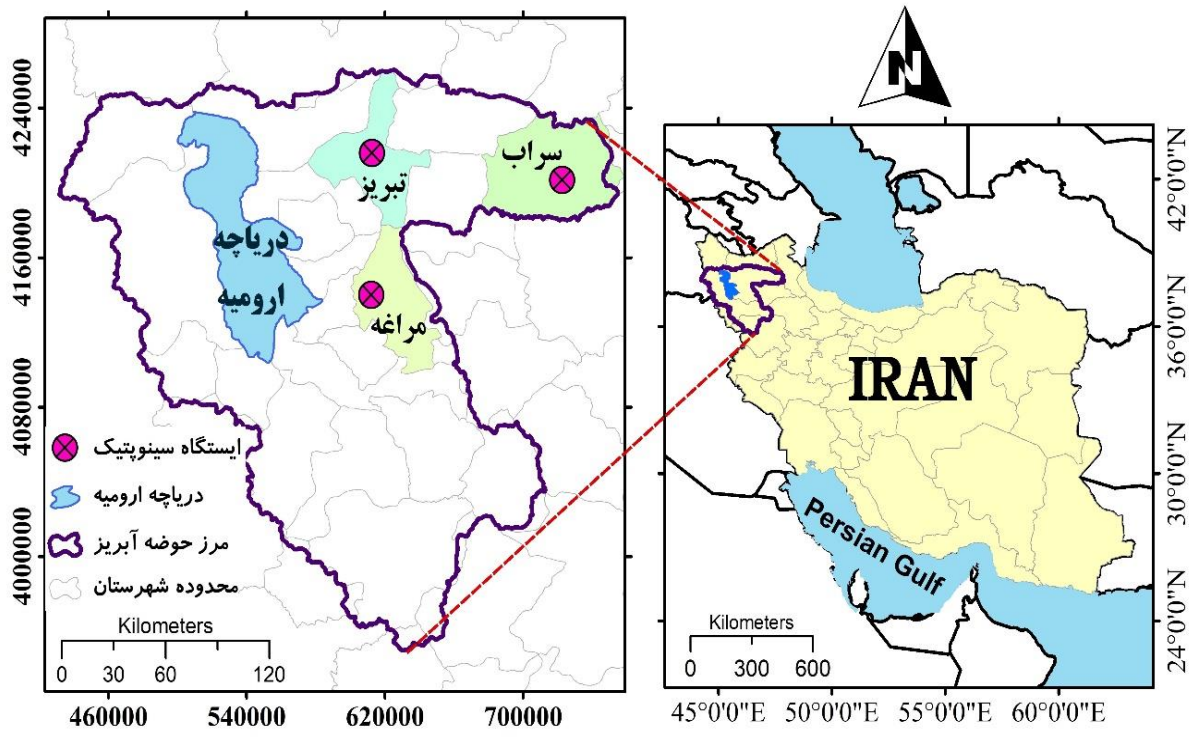
شناخت روابط بین مقدار عملکرد محصول و پارامترهای اقلیمی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد و تعیین توابع تولید، ضروری می‌باشد. در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، عملکرد محصولات دیم به‌شدت تحت تأثیر نوسان متغیرهای اقلیمی مخصوصاً متغیرهای مرتبط با بارش قرار می‌گیرد. لذا در پژوهش حاضر، تعیین توابع عملکرد به‌منظور برآورد عملکرد گندم دیم ایستگاه‌های منتخب در شرق حوضه دریاچه ارومیه با توجه به تأثیر متغیرهای اقلیمی در مراحل مختلف فنولوژیکی رشد گندم دیم موردتوجه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه و داده‌های مورد استفاده

تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در شرق حوضه دریاچه ارومیه شامل تبریز، سراب و مراغه انجام گرفت. ملاک انتخاب ایستگاه‌ها، وجود داده-های پیوسته و بلندمدت (حداقل ۲۵ ساله) بود. در شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی مورد استفاده برای انجام پژوهش شامل دمای کمینه، دمای متوسط، دمای بیشینه، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی کمینه، رطوبت نسبی متوسط، رطوبت نسبی بیشینه، سرعت باد، و بارش بود که مقادیر آن‌ها از سازمان هواشناسی اخذ شد و داده‌های عملکرد گندم دیم نیز برای مدت ۲۵ سال مورد مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی اخذ گردید. در جدول (۱)، برخی از خصوصیات فیزیکی خاک اراضی کشاورزی در مناطق مورد مطالعه ارائه شده است.

تاریخ کشت گندم دیم به زمان آغاز بارش‌های مؤثر بهاره بستگی دارد. به‌طور کلی گندم در استان آذربایجان شرقی در مهر ماه کشت می‌شود. در پژوهش حاضر روز ۱۰ اکتبر (۱۸ مهرماه) به‌عنوان تاریخ کشت تعیین شده و مبنای محاسبات قرار گرفت. تاریخ برداشت در هر سال نیز با توجه به شرایط دمایی هر سال و با استفاده از روش واحدهای حرارتی تعیین شد. لازم به ذکر است رقم مرسوم گندم دیم برای کشت در منطقه مورد مطالعه، رقم سرداری است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی بافت غالب مناطق مورد مطالعه (Fakheri-Fard *et al.*, 2018)

منطقه	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	گنجایش نگهداری خاک
مراغه	لوم	۵۰/۲	۳۶	۱۳/۸	۰/۰۸
سراب	لوم رسی	۳۰	۳۹	۳۱	۰/۱۴
تبریز	لوم شنی	۶۵	۲۰	۱۵	۰/۱۴

متغیرهای اقلیمی

در مطالعه حاضر، به‌منظور تعیین توابع عملکرد محصول گندم دیم در شرق حوضه دریاچه ارومیه، از پنج متغیر اقلیمی شامل مقدار بارش (P)، تعداد رویدادهای بارش مؤثر (NPe)، کمبود بارش گیاهی (CPD)، کمبود بارش مرجع (RPD) و تبخیر-تعرق گیاه در شرایط دیم (ETadj) استفاده شد. برای ارزیابی نقش هریک از این متغیرها در میزان عملکرد، مقادیر این شاخص‌ها در طول شش مرحله شامل ۱- جوانه‌زنی، ۲- اتمام جوانه‌زنی تا آغاز گل‌دهی، ۳- مرحله گل‌دهی، ۴- اتمام گل‌دهی تا آغاز پر شدن دانه، ۵- مرحله پر شدن دانه و ۶- کل فصل رشد تعیین گردید. شایان ذکر است که طول هریک از مراحل مذکور، با استفاده از روش واحدهای حرارتی درجه-روز-رشد تعیین گردید (Hundal *et al.*, 1997). روش واحدهای حرارتی دقت بالایی در تعیین طول مراحل مختلف رشد محصولات زراعی داشته و در پژوهش‌های بسیاری نتایج دقیقی را حاصل کرده است (Fateh *et al.*, 2016).

با توجه به روند ثبت داده‌های بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی، رویدادهای بسیار ناچیز بارش (کوچکتر از ۱ میلی‌متر) نیز ثبت می‌شوند. این در حالی است که از نقطه نظر کشاورزی، بارش‌های این‌چنینی عملاً نقشی در تأمین نیاز آبی گیاه نخواهند داشت. لذا در مطالعه حاضر، فقط رویدادهای بارشی که به میزان پنج میلی‌متر یا بیشتر در دو روز متوالی ثبت شده باشد به‌عنوان رویدادهای بارش مؤثر مد نظر قرار خواهد گرفت (Kamali *et al.*, 2008). به‌شرطی که رویداد بارش در یک روز کمتر از ۲/۵ میلی‌متر نباشد. لکن در روزهای بارانی که مقدار بارش روز قبل از آن بیش از ۲/۵ میلی‌متر باشد؛ اگر در آن روز بارش بزرگتر از ۲/۵ ثبت شود، مجدداً یک رویداد بارش مؤثر خواهد بود.

مقدار تبخیر-تعرق گیاه در شرایط دیم با استفاده از رابطه ۱ مطابق با راهنمای نشریه فائو ۵۶ برآورد گردید (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_{C\ adj} = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه $ET_{C\ adj}$ تبخیر-تعرق گیاه در شرایط دیم (میلی‌متر بر روز)، K_s ضریب تنش آبی (بدون بعد)، K_c ضریب گیاهی (بدون بعد)، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر

روز) می‌باشد. محاسبه ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد گندم مطابق با دستورالعمل نشریه فائو ۵۶ انجام شد (Allen *et al*., 1998). ضریب تنش آبی نیز به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$K_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1-P)TAW} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن TAW کل آب در دسترس در ناحیه ریشه (میلی‌متر)، D_r مقدار تخلیه از ناحیه ریشه (میلی‌متر)، RAW مقدار آب سهل‌الوصول (میلی‌متر) و P تابع توان تبخیرکنندگی اتمسفر است که وابسته به تبخیر-تعرق می‌باشد. در مواقعی که میزان تخلیه از ناحیه رسیشه کمتر یا مساوی آب سهل‌الوصول باشد، ضریب تنش معادل ۱ (بدون تنش) در نظر گرفته می‌شود. برای اصلاح P، رابطه تقریبی که در نشریه فائو ۵۶ ارائه شده به شکل زیر است (Allen *et al*., 1998):

$$P = P_{table} + 0.04\,(5 - ET_c) \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن P_{table} برای گندم معادل ۰/۵۵ و ET_C بر حسب میلی‌متر بر روز می‌باشد.

تبخیر-تعرق گیاه مرجع نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد:

$$ET_o = \frac{۰/۴۰۸\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{۹۰۰}{T+۲۷۳} u_۲ (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(۱ + ۰/۳۴\,u_۲)} \quad \text{(رابطه ۴)}$$

که در آن Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G شار گرما به داخل خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ ضریب رطوبتی (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (درجه سانتی‌گراد)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار از حالت اشباع در ارتفاع ۲ متری (کیلوپاسکال) و U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) می‌باشد.

مقادیر کمبود بارش مرجع و کمبود بارش گیاهی به‌ترتیب معرف میزان نقصان بارش نسبت به مقادیر تبخیر-تعرق مرجع و تبخیر-تعرق گیاه می‌باشند و در هر مرحله رشد (i) با استفاده از روابط ۵ و ۶ حاصل می‌گردد (De-Pauw., 2002):

$$RPD_i = P_i - ET_{o_I} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

$$CPD_i = P_i - ET_{c_i} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

مدل‌سازی چندمتغیره عملکرد

به‌منظور تعیین توابع عملکرد، محاسبات آماری بر روی صفات موردنظر و برازش تابع عملکرد در نرم‌افزار SPSS.StatisticsV.20 صورت گرفت. به‌منظور بررسی میزان و ارتباط متغیرها، تجزیه و تحلیل ضرایب همبستگی با روش پیرسون در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد در این نرم‌افزار صورت گرفت. سپس با روش همبستگی خطی همزمان (Enter) و گام به گام (Stepwise) توابع عملکرد و میزان همبستگی آن‌ها استخراج شد. سطح معنی‌داری (ضریب p) توابع به‌دست آمده ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. در روش همزمان، کلیه متغیرهای مستقل به‌طور همزمان وارد مدل می‌شوند تا تأثیر کلیه متغیرهای مورد بررسی بر متغیر وابسته مشخص گردد. در روش گام به گام متغیرها یک به یک وارد مدل می‌شوند. یعنی ابتدا متغیری که بیش‌ترین همبستگی را با متغیر وابسته دارد انتخاب می‌شود. دومین متغیری که وارد تحلیل می‌شود متغیری است که پس از تفکیک متغیر مقدم بر آن موجب بیش‌ترین افزایش در مقدار ضریب تبیین می‌شود. در این روش ورود متغیرها به مدل را یک به یک و تا زمانی ادامه می‌دهیم که معنی‌داری متغیر به ۰/۹۵ برسد.

به‌منظور ارزیابی کارآیی توابع به‌دست آمده در برآورد عملکرد، مقادیر عملکرد محاسباتی و واقعی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور مقادیر ۲۲ و ۳ سال از داده‌ها به ترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد. مقادیر عملکرد به‌دست آمده از برازش توابع منتخب محاسبه شده و با مقادیر عملکرد واقعی مقایسه شد. همچنین برای ارزیابی دقت توابع از شاخص‌های درصد خطای نسبی، میانگین انحراف خطا، ضریب کارآیی مدل و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده استفاده شد.

$$E_{rel} = \frac{|y_a - y_s|}{|y_a|} \times 100 \quad \text{(رابطه ۷)}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum(y_s - y_a)^2}{\sum(y_a - \bar{y}_a)^2} \quad \text{(رابطه ۸)}$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum \frac{(y_s - y_a)^2}{n}}}{\bar{y}_a} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

که در آن E_{rel} درصد خطای نسبی، EF ضریب کارآیی مدل (بی‌بعد)، NRMSE جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (بی‌بعد) و y_s،y_a و $\bar{y}_a$ به‌ترتیب عملکرد واقعی، عملکرد برازش داده شده و متوسط مقادیر مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار) و n تعداد مشاهدات است.

هرچه مقادیر E_{rel} و EF به‌ترتیب به مقادیر صفر و یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده خطای کمتر و کارایی بهتر مدل خواهد بود.در مورد شاخص NRMSE نیز، مقادیر زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است (Singh *et al*., 2008).

نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی اثر نوسانات متغیرهای اقلیمی در طول مراحل مختلف فنولوژیکی رشد بر عملکرد گندم دیم، ضرایب همبستگی ساده پیرسون بین متغیرها و عملکرد تعیین گردید. برای مدل‌سازی عملکرد بر اساس متغیرهای اقلیمی، صرفاً متغیرهایی که همبستگی

معنی‌داری با عملکرد داشتند مورد استفاده قرار گرفت. ضرایب همبستگی معنی‌دار بین صفات مورد مطالعه با عملکرد گندم دیم در سه ایستگاه مورد مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- ضرایب همبستگی معنی‌دار بین صفات مورد مطالعه با عملکرد گندم دیم

شهر	صفات									
مراغه	P1	NPe1	CPD1	ETadj2	P4	NPe4	CPD4	RPD4	ETadj4	NPe6
	۰/۴۶۲*	۰/۴۵۲*	۰/۴۲۹*	-۰/۴۱۱*	۰/۷۸۱**	۰/۶۷۹**	۰/۴۶۱*	۰/۵۲۵**	۰/۴۰۲*	۰/۴۳۵*
سراب	P2	NPe2	CPD2	RPD2	CPD4	P5	P6	NPe6	CPD6	RPD6
	۰/۶۹۹**	۰/۵۷۸**	۰/۶۷**	۰/۶۸۲**	۰/۴۱۱*	-۰/۴۲۹*	۰/۷۸۲**	۰/۶۳۲**	۰/۷۷۴**	۰/۷۶۲**
تبریز	P2	P6	NPe6	CPD6	RPD6	-	-	-	-	-
	۰/۴۰۱*	۰/۶۰۸**	۰/۴۶۹*	۰/۴۴۸*	۰/۴۵۴*	-	-	-	-	-

**** و * به ترتیب نشان‌دهنده همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشد.**

بر اساس نتایج به‌دست آمده و در بین مراحل رشد، در ایستگاه مراغه مرحله چهارم (اتمام گل‌دهی تا آغاز پر شدن دانه)، در ایستگاه سراب مراحل دوم (اتمام جوانه‌زنی تا آغاز گل‌دهی) و ششم (کل فصل رشد) و در ایستگاه تبریز مرحله ششم (کل فصل رشد)، مهم‌ترین مراحل فنولوژیک در مدل‌سازی عملکرد هستند (جدول ۲). همچنین در بین متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه نیز در ایستگاه مراغه، تعداد رویداد بارش مؤثر، در ایستگاه سراب متغیرهای بارش و کمبود بارش گیاهی و در ایستگاه تبریز نیز بارش، مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی در مدل‌سازی عملکرد هستند. بنابراین می‌توان اذعان داشت متغیرهای اقلیمی مؤثر در نوسانات عملکرد برای هر منطقه متفاوت است و به‌منظور ارزیابی توان هیدرولوژیکی هر منطقه به‌منظور توسعه کشت دیم، لازم است مطالعات منطقه‌ای صورت پذیرد. نتایج به‌دست آمده نشان داد بیش‌ترین مقدار همبستگی بین صفات مورد مطالعه با عملکرد در شهرستان مراغه مربوط به بارش مرحله چهارم (اتمام گل‌دهی تا آغاز پر شدن دانه)، و در ایستگاه‌های سراب و تبریز، بارش کل فصل رشد می‌باشد که همگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار هستند. بنابراین انتظار می‌رود نوسانات بارش بیش‌ترین تأثیر را بر نوسانات عملکرد داشته باشد. از این‌رو شناسایی رژیم بارش هر منطقه و آنالیز مشخصات بارش در ارزیابی نوسانات عملکرد و مدل‌سازی عملکرد محصولات دیم حائز اهمیت خواهد بود. در این راستا، نتایج مطالعه Sohrabie-Mollayousef *et al.* (2012) نشان داد شاخص زمان-بارش، اثر و تفاوت بین بارش‌های نوبتی را بهتر نشان می‌دهد. ایشان همچنین گزارش کردند بر اساس حداقل تعداد بارش در منطقه همدان، بارش‌های صورت گرفته در دو فصل پاییز و زمستان قابل اعتمادتر بوده و اطلاع از وضعیت و تأثیر بارش‌های نوبتی در این فصول کاربردی‌تر می‌باشد. Bannayan *et al.* (2017) نیز با ارزیابی رابطه بارش تجمعی و عملکرد گندم در اقلیم نیمه‌خشک مشهد گزارش کردند شاخص غیریکنواختی بارش و میزان بارندگی در دوره بحرانی رشد نسبت به کل دوره رشد نقش مهم‌تری در تعیین عملکرد گیاه دارد. مقایسه نتایج حاصل از مطالعه حاضر با یافته‌های سایر پژوهشگران نشان می‌دهد که عوامل مؤثر در نوسانات عملکرد با توجه به شرایط اقلیمی و طول دوره رشد محصول در هر منطقه متفاوت خواهد بود. Bannayan *et al.* (2010) نیز طی مطالعه‌ای گزارش کردند که تولید گندم دیم کاملاً به آب و هوای محلی بستگی دارد.

مقادیر متوسط هریک از شاخص‌های مورد مطالعه در طول شش مرحله رشد محاسبه و نتایج در جدول (۳) ارائه گردید. بر این اساس، بیش‌ترین مقدار متوسط عملکرد گندم دیم به‌میزان ۱۱۰۳ کیلوگرم بر هکتار مربوط به مراغه می‌باشد که دارای بیش-ترین مقدار بارش و تعداد رویداد بارش مؤثر در مراحل دوم و ششم رشد می‌باشد. در نقطه مقابل، کم‌ترین عملکرد متوسط نیز به‌میزان ۷۸۵ کیلوگرم بر هکتار در سراب می‌باشد که بیش‌ترین مقادیر کمبود بارش گیاهی، کمبود بارش مرجع و تبخیر-تعرق گیاهی در شرایط دیم و کم‌ترین مقادیر بارش و تعداد رویداد بارش مؤثر را در طول مرحله ششم (کل فصل رشد) داشته است (جدول ۳). البته شایان ذکر است دلیل این مسأله تا حدود زیادی به شرایط اقلیمی و آب و هوایی سراب مربوط می‌شود که با توجه به دمای پایین‌تر سراب، فصل رشد گندم در این منطقه طولانی‌تر برآورد شده است. متوسط دما در طول فصل رشد گندم در سراب حدود ۷/۵ درجه سانتی‌گراد است که در مقایسه با تبریز و مراغه بیش از ۲ درجه سانی‌گراد کمتر است.

نتایج نشان داد میزان بارش و نیز تعداد رویداد بارش مؤثر در مرحله پر شدن دانه‌ها در هر سه شهر مورد مطالعه بسیار ناچیز است. بر اساس مطالعه Ghivi (1997) در ایران مقدار بارش ایده‌آل در مرحله رسیدن دانه، ۵۵ تا ۸۰ میلی‌متر برآورد شده است. Hadi *et al.* (2017) نیز در پژوهشی گزارش کردند مقدار بارش

خرداد ماه دشت تبریز (مقارن با مرحله پر شدن دانه) کفایت لازم برای تأمین حداقل نیاز گندم را نداشته و انجام آبیاری تکمیلی را برای جلوگیری از افت چشمگیر عملکرد توصیه نمودند. بنابراین به‌نظر می‌رسد مقدار ناچیز بارش مرحله پر شدن دانه‌ها یکی از دلایل اصلی عملکرد پایین گندم دیم در منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین ناچیز بودن مقدار بارش در این مرحله سبب شده است که تأثیر آن در مدل‌سازی عملکرد مشهود نباشد. Mouneskhah & Majnooni-Heris (2017) گزارش کردند که بیش‌ترین ریسک اقلیمی تولید گندم دیم در دشت تبریز، در دهه‌های انتهایی فصل رشد حادث می‌گردد که با توجه به مقارن بودن با مرحله حساس به تنش پر شدن دانه‌ها، از طریق کاهش وزن هزار دانه باعث افت قابل توجه عملکرد می‌گردد. این در حالی است که انجام یک‌نوبت آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه و قبل از وقوع تنش، عملکرد را به‌میزان ۲۱۷۰ کیلوگرم در هکتار افزایش داد.

جدول ۳- مقادیر متوسط شاخص‌های مورد بررسی در طول شش مرحله رشد گندم دیم

شهر	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	مرحله	طول مرحله (روز)	P (mm)	NPe	CPD (mm)	RPD (mm)	ETadj (mm)
مراغه	۱۱۰۳	۱	۱۱/۸	۶/۳	۰/۴	-۲۸/۲	-۷/۵	۸/۳
		۲	۱۹۲/۷	۲۳۱/۱	۱۸/۱	-۱۰۴/۳	-۵۸/۲	۱۳۳/۷
		۳	۱۲	۱۴/۸	۰/۹	-۴۰/۹	-۴۹/۲	۹/۵
		۴	۳۱/۴	۱۵/۳	۱/۲	-۱۶۳	-۱۷۵/۵	۲۰/۸
		۵	۲۱/۸	۲/۴	۰/۲	-۱۵۴/۴	-۷۹/۴	۲/۹
		۶	۲۶۹/۸	۲۶۹/۹	۲۰/۸	-۴۹۰/۸	-۳۶۹/۸	۱۷۵/۲
سراب	۷۸۵	۱	۱۷/۸	۱۰/۹	۰/۸	-۲۷	-۴/۳	۱۰
		۲	۲۲۷/۷	۱۹۶/۸	۱۵/۸	-۲۴۸/۷	-۲۲۱/۷	۱۷۹/۷
		۳	۱۲/۴	۵/۳	۰/۳	-۵۸/۱	-۶۷/۶	۱۵/۱
		۴	۲۹/۵	۱۳	۱	-۱۵۵/۲	-۱۶۱/۸	۳۴/۵
		۵	۲۲/۹	۵/۵	۰/۴	-۱۲۰	-۵۷/۹	۱۰/۶
		۶	۳۱۰/۲	۲۳۱/۵	۱۸/۴	-۶۰۹	-۵۱۳/۴	۲۴۹/۸
تبریز	۹۶۸	۱	۱۱/۹	۶/۹	۰/۳	-۲۷/۴	-۶/۸	۸/۳
		۲	۱۹۶/۱	۱۷۷/۵	۱۴/۶	-۱۹۳/۱	-۱۴۵/۹	۱۳۵/۹
		۳	۱۲	۲۱/۵	۱/۹	-۳۵/۱	-۴۳/۶	۹
		۴	۲۹/۸	۲۰/۸	۱/۶	-۱۵۷/۱	-۱۶۹/۹	۱۹/۲
		۵	۲۲	۵/۳	۰/۴	-۱۵۶/۳	-۷۹/۳	۲/۹
		۶	۲۷۱/۸	۲۳۲	۱۸/۸	-۵۶۹	-۴۴۵/۲	۱۷۵/۳

توابع عملکرد

با توجه به مقادیر همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد، توابع عملکرد با استفاده از شاخص‌هایی که همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند تعیین گردید. در واقع برای تعیین توابع عملکرد از نتایج جدول (۲) استفاده شده است. در جداول (۴ و ۵)، به‌ترتیب توابع عملکرد به‌دست آمده از روش‌های همزمان و گام به گام، ارائه شده است. لازم به ذکر است صفات مورد بررسی به‌عنوان متغیرهای مستقل معادله و عملکرد گندم دیم به‌عنوان متغیر وابسته در تعیین معادله مد نظر قرار گرفتند. مقایسه ضرایب تبیین معادلات به‌دست آمده نشان داد به‌طور کلی دقت روش همزمان در برآورد توابع عملکرد نسبت به روش گام به گام بیش‌تر است. این امر با توجه به وابستگی توابع عملکرد به تعداد بیش‌تری از متغیرها در روش همزمان در مقایسه با روش گام به گام قابل توجیه است. لذا استفاده از روش همزمان به‌منظور ارزیابی سهم عوامل اقلیمی و برازش عملکرد محصول توصیه می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده، دقت توابع عملکرد به‌دست آمده در مراغه و سراب قابل‌قبول است. این در حالی است که ضریب تبیین تابع عملکرد حاصل شده برای تبریز (۰/۴۷ برای روش همزمان و ۰/۴۱ برای روش گام به گام) نشان دهنده دقت متوسط تابع عملکرد می‌باشد. همچنین، ضرایب معنی‌داری توابع عملکرد حاکی دقت بالای توابع به‌دست آمده با استفاده از هر دو روش همزمان و گام به گام در برآورد عملکرد در سطح ۹۵ درصد ($p \leq ۰/۰۵$) در همه مناطق مورد بررسی (به‌جز تابع عملکرد حاصل از روش همزمان در تبریز) می‌باشد. البته باید در نظر داشت ممکن است با توجه به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، اثر برخی از عوامل و متغیرهای تأثیرگذار بر عملکرد در تابع حاصله در نظر گرفته نشود. به‌عنوان مثال کم بودن میزان بارش و

نیز رویدادهای بارش مؤثر در مرحله پر شدن دانه‌ها قطعا تأثیر قابل‌توجهی بر افت عملکرد دارد. اما با توجه به این‌که این کمبود به‌طور پیوسته و در اکثر سال‌ها اتفاق می‌افتد اثر آن بر عملکرد در تابع به‌دست آمده مشهود نیست.

جدول ۴- ضرایب پارامترهای مستقل توابع عملکرد گندم دیم به روش همزمان (Enter)

شهر	صفات									ضریب ثابت	R^2	P
مراغه	P1	NPe1	CPD1	ETadj2	P4	NPe4	CPD4	RPD4	ETadj4	NPe6	۹۳۴۰/۷۱	۰/۸۱	۰/۰۱۲
	-۱۲۳/۶۳	۸۳۵/۸۴	۴۲/۲۲	-۵۹/۶۴	۳۸/۷۱	-۹۲/۳۹	-۲۶/۰۷	۱۵/۰۱	-۱۳۰/۳۱	۴۵/۲۴			
سراب	P2	NPe2	CPD2	RPD2	CPD4	P5	P6	NPe6	CPD6	RPD6	۹۷۳/۵۸	۰/۸	۰/۰۱۱
	-۷/۴۳	-۷	۳/۲۲	-۱/۹۵	-۴/۲۴	-۵/۸۸	۱۰/۵۹	-۴/۴۴	۲/۵۶	۰/۱۶			
تبریز	P2	P6	NPe6	CPD6	RPD6	-	-	-	-	-	۲۶۳/۹۹	۰/۴۷	۰/۰۶
	-۲/۱۹	۴/۹۲	۶/۵۱	-۳/۹۷	۳/۴۹	-	-	-	-	-			

جدول ۵- ضرایب پارامترهای مستقل توابع عملکرد گندم دیم به روش گام به گام (Stepwise)

شهر	شماره مدل	صفات					ضریب ثابت	R^2	P
		NPe1	P4	P6	CPD6	NPe6			
مراغه	۱	-	۱۴/۶۹	-	-	-	۸۳۲/۶۴	۰/۶۱	0.00
	۲	-	۱۲/۸۶	-	-	۲۰/۶۸	۴۱۷/۹۹	۰/۷۵	0.00
سراب	۱	-	-	-	۳/۵۴	-	۲۵۸۷/۵۹	۰/۶۸	0.00
تبریز	۱	-	-	۲/۸۵	-	-	۲۵۵/۲۸	۰/۴۱	۰/۰۰۱

همچنین مقادیر خطای نسبی، میانگین انحراف خطا و ضریب کارآیی مدل حاصل از توابع برازش داده شده نسبت به عملکرد واقعی برای روش‌های همزمان و گام به گام به‌ترتیب در جداول (۶ و ۷) آمده است. برای این منظور مقادیر ۲۲ و ۳ سال از داده‌ها به ترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد. در این جدول‌ها، مقادیر متوسط عملکرد واقعی و عملکرد برازش داده شده در ۳ سال انتهایی بازه زمانی مورد مطالعه که برای صحت-سنجی مورد استفاده قرار گرفت، ارائه شده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده نشان داد در مراغه و تبریز روش گام به گام به‌ترتیب با مقادیر متوسط خطای نسبی ۲۱ درصد و ۱۵/۶ درصد در مقایسه با روش همزمان دقت بیش‌تری در برآورد عملکرد دارند. در سراب نیز روش همزمان با متوسط خطای نسبی ۱۶/۵ درصد در مقایسه با روش گام به گام نتایج بهتری در برازش عملکرد داشت. همچنین ارزیابی نتایج به‌دست آمده از مقادیر ضریب کارآیی مدل و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نشان داد استفاده از روش همزمان فقط در سراب دقت و کارآیی قابل‌قبولی دارد (EF =۰/۵۵ و NRMSE =۰/۱۹). در شهرهای تبریز و مراغه نیز مقادیر جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده حاکی از دقت متوسط مدل به‌دست آمده از روش گام به گام در برآورد عملکرد گندم دیم است. مدل به‌دست آمده برای سراب نیز علی‌رغم این‌که ضریب کارآیی مطلوبی دارد؛ اما با توجه به مقدار NRMSE، دقت لازم را در برآورد عملکرد ندارد. بنابراین استفاده از روش همزمان برای برآورد عملکرد گندم دیم سراب و روش گام به گام برای برآورد عملکرد گندم دیم مراغه و تبریز توصیه می‌شود.

جدول ۶- ارزیابی دقت توابع برازش داده شده با استفاده از روش همزمان

منطقه مورد مطالعه	عملکرد واقعی (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد برازش داده شده (کیلوگرم بر هکتار)	E_{rel} (درصد)	EF (بی‌بعد)	NRMSE (بی‌بعد)
مراغه	۱۶۱۹	۱۱۸۳	۳۷/۲	-۵/۴۸	۰/۶۳
سراب	۶۷۳	۶۶۱	۱۶/۵	۰/۵۵	۰/۱۹
تبریز	۱۳۸۰	۱۰۰۹	۲۷/۷	-۴۳/۹	۰/۲۷

جدول ۷- ارزیابی دقت توابع برازش داده شده با استفاده از روش گام به گام

منطقه مورد مطالعه	عملکرد واقعی (کیلوگرم بر هکتار)	عملکرد برازش داده شده (کیلوگرم بر هکتار)	E_{rel} (درصد)	EF (بی‌بعد)	NRMSE (بی‌بعد)
مراغه (مدل۱)	۱۶۱۹	۱۲۴۰	۲۱	۰/۰۲	۰/۲۸
مراغه (مدل۲)	۱۶۱۹	۱۱۴۰	۲۸	-۰/۷۶	۰/۳۲
سراب	۶۷۳	۵۴۳	۲۸/۳	۰/۸۷	۰/۳۸
تبریز	۱۳۸۰	۹۷۹	۱۵/۶	-۵۰/۸۹	۰/۲۹

نتیجه‌گیری

با توجه به تفاوت متغیرهای اقلیمی مؤثر در نوسانات عملکرد برای هر منطقه، جهت ارزیابی شرایط برای توسعه کشت محصولات دیم مانند گندم، لازم است مطالعات منطقه‌ای صورت پذیرد. در این مطالعه تعیین توابع عملکرد با استفاده از پارامترهای هواشناسی و کاربرد رگرسیون چندمتغیره صورت پذیرفت. بر اساس نتایج به‌دست آمده، نوسانات بارش بیش‌ترین تأثیر را بر نوسانات عملکرد دارد. همچنین، میزان بارش و نیز تعداد رویداد بارش مؤثر در مرحله پر شدن دانه‌ها در هر سه شهر مورد مطالعه بسیار ناچیز است که این مسأله یکی از دلایل اصلی عملکرد پایین گندم دیم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. تعیین توابع عملکرد محصول گندم دیم با استفاده از شاخص‌هایی که همبستگی معنی‌داری با عملکرد داشتند، صورت پذیرفت. ضریب معنی‌داری توابع عملکرد حاصل شده نشان داد پارامترهای اقلیمی مورد استفاده با دقت بالایی توانایی برآورد میزان عملکرد را دارند. همچنین نتایج ارزیابی دقت توابع به‌دست آمده نیز نشان داد در مراغه و تبریز روش گام به گام و در سراب روش همزمان، نتایج بهتری در برازش عملکرد داشتند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. In: Irrigation and Drainage Paper No. 56. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, Rome, Italy.

Bannayan, M., Asadi, S., Salehi, H., & Koozegaran, S. (2017). Evaluating the relationship between cumulative rainfall and yield of wheat and barley using a evenness index in the semi-arid region of Mashhad. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 4(11), 636- 646. (In Farsi)

Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi-Lotfabadi, S. & Mohammadian, A. (2010). Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2), 105–114.

Battisti, R., Sentelhas, P. & Boote, k. (2017). Inter-comparison of performance of soybean crop simulation modelsand their ensemble in southern Brazil. *Field Crops Research*, 200, 28-37.

De-Pauw, E. (2002). An Agroecological Exploration of the Arabian Peninsula. ICARDA, Aleppo, Syria, 77 pp.

Fakheri-Fard, A., Majnooni-Heris, A., Ahmadzade, H., Isazade, M. & Mousavi, M.M. (2018). *Soil studies of Ajichai basin*, 141pp.

Fateh, S., Rasouli, A.A., Sari-Saraf, B., & Kamali, G.A. (2016). Study on GDD for wheat growing season period in iran. *Climate Research*, 27, 1-9. (In Farsi)

Ghivi, J. (1997). Qualitative assessment of land suitability for crops. *Soil and Water Research Institute*. Issue 1015. (In Farsi)

Hadi, M. Majnooni-Heris, A. & Delirhasannia, R. (2017). Assessing rainfed wheat cultivation risk and suitable time for supplemental irrigation in tabriz plain. *Water and Soil Science*, 27(2), 307-320. (In Farsi)

Hosseini, S.M.T., Siosemarde, A., Fathi, P. & Siosemarde, M. (2007). Application of artificial neural network (ANN) and multiple regressions for estimating assessing the performance of dry farming wheat yield in Ghorveh region, Kurdistan Province. Agriculture research , 7(1), 41-54.(In Farsi)

Hundal, S.S., Singh ,R & Dhaliva, L.K. (1997). Agro-climatic indices for predicting phonology of wheat (Triticum-aestivum) in Punjab. *Agriculture Science*, 67, 265- 268.

Kamali, G.A., Sadaghiani-Poor, A., & Sedaghatkerdar, A. (2008). The climatic zoning of dryland wheat in Eastern Azerbaijan. *Water and Soil*, 22(2), 467-483. (In Farsi).

Labus, M. P., Nielsen, G., Alawrence, R.L., Engeld, R. & Long, S., (2002). Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), 4169-4180.

Landau, S., Mitchell, R.A.C., Barnett V., Colls, J.H.,

Craigon, J. & Payne R.W. (2000). A parsimonious, multiple regression model of wheat yield response to environment; *Agricultural and Forest Meteorology*, (101), 151-161.

Mam-karimi, B. (2017). *Evaluating crop yield functions of rain-fed wheat in West Azarbaijan using water inputs*. Master's thesis, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. (In Farsi)

Mouneskhah, V. & Majnooni-Heris, A. (2017). Effect of supplemental irrigation on water requirement satisfaction index of rainfed wheat in the Tabriz plain semi-arid climate. *Iranian Journal of irrigation and Drainage*, 11(6), 1143-1151. (In Farsi)

Mousavi-Baygi, M., Bannayan, M., Ashraf, B. & Asadi-Oskuei, E. (2016). Assessment of climatic indices limiting rainfed wheat yield. *Ecological Indicators*, 62, 298–305.

Naserin, A. & Saeed-Mousavi, S.M. (2017). Determining Climatic Model of Rain-fed Wheat Yield at North of Khouzestan Province. *Irrigation and Water Engineering*, 8(1), 125-138. (In Farsi)

Quiring, S.M., & Papakryiakou, T.N. (2003). An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 118(1–2), 49–62.

Sabziparvar, A.A., Torkaman, M. & Maryanaji, Z. (2013). Investigating the Effect of Agro-climatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance (Case study: Hamedan Province). *Water and Science*, 26(6),1554-1567. (In Farsi)

Shokouhi, M. & Sanaei-Nejad, S.H. (2016). Effect of precipitation period and SPI index as an indicator of moisture supply on rainfed Barley Crop Yield (Case Study: Tabriz County). *Water and Soil*, 30(1), 210-221. (In Farsi).

Singh A. K., Tripathy R., and Chopra U. K. (2008). Evaluation of CERESWheat and CropSystmodels for water-Nitrogen interactions in Wheat crop. Agricultural Water Management, 95: 776-786.

Sohrabie-Mollayousef, S., Fakheri-Fard, A. & BozorgHaddad, O. (2012). Assessment the effect of intermittent rainfall of autumn and winter on annual dry farming yield by using the time-rain indicator (RTI). *Water and Science*, 26(1), 75-84. (In Farsi)

Zare-abyaneh, H. (2013). Evaluating roles of drought and climatic factors on variability of four dry farming yields in mashhad and birjand. *Water and Soil Science*, 23(1), 39-56. (In Farsi).