

Developing an Algorithm for Selecting the Most Suitable Crops based on Climatic Conditions (Case Study: Soumar Plain in Kermanshah Province)

NILOUFAR YARAHMADI¹, EBRAHIM AMIRI TOKALDANY^{1*}, AHMAD MAKUP²

1. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

(Received: Feb. 29, 2020- Revised: May. 11, 2020- Accepted: May. 16, 2020)

ABSTRACT

Because of the key role of the agricultural sector in achievement of food security, increasing climatic variations due to global change and the dependence of agricultural yields to climatic conditions, it is essential to study the long-term relationship between climatic conditions and agricultural yields in order to coordinate agricultural activities with climate change trend. In this study, a screener algorithm considering the climatic conditions of the region has been developed to rank the most suitable agricultural products with the climatic conditions of Soumar plain in Kermanshah province. For this purpose, the sensitivity of the defined agroecosystem to climatic conditions of the region was calculated using the Shannon-Wiener index. Then, using Multiple Linear Regression method and SPSS software, regression models were developed between climatic data and crop yield data. In the next step, the accuracy of the developed models was confirmed considering the conditions of using linear regression for all models. Afterward, the weight of effective climatic parameters was determined using pairwise comparison methods. According to the results, the minimum monthly temperature parameter with weight of 0.169 and the average monthly wind speed parameter with weight of 0.032 were considered the most and the least effective climatic parameters, respectively. Finally, crops ranking in the study area was completed using TOPSIS method and calculating Ci index which shows the score of each crop. According to the results, bean, barley and canola with the Ci of 0.601, 0.537 and 0.564 and tobacco, tomato and fodder corn with the Ci of 0.376, 0.513 and 0.518 show the most and the least compatibility with the climate conditions of the region, respectively.

Keywords: Agrobiodiversity, Crop Screening, Ranking Crops, Regression Model, Topsis Method.

ارائه یک الگوریتم برای انتخاب منطبق‌ترین محصولات کشاورزی بر حسب شرایط اقلیمی (مطالعه موردی: دشت سومار استان کرمانشاه)

نیلوفر یاراحمدی^۱، ابراهیم امیری تکلدانی^{۱*}، احمد ماکویی^۲

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
 ۲. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۲/۲۷)

چکیده

با توجه به نقش اساسی بخش کشاورزی در تامین امنیت غذایی، افزایش روزافزون تغییرات آب و هوایی به دلیل تغییر اقلیم جهانی و وابستگی میزان عملکرد محصولات کشاورزی به شرایط اقلیمی، بررسی رابطه بلندمدت شرایط اقلیمی و عملکرد محصولات کشاورزی در راستای هماهنگ‌سازی عملیات زراعی با روند تغییرات اقلیمی، ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق، برای رتبه‌بندی منطبق‌ترین محصولات کشاورزی با شرایط اقلیمی دشت سومار در استان کرمانشاه، یک الگوریتم غربال‌گر با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی منطقه ارائه شده است. بدین منظور ابتدا با استفاده از شاخص شانون-وینر، حساسیت بوم نظام زراعی مدنظر نسبت به تغییرات اقلیمی سنجیده شد. سپس، با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه و با کاربرد نرم افزار SPSS، مدل‌های رگرسیونی بین داده‌های اقلیمی و عملکرد محصولات تشکیل شد و پس از بررسی شروط استفاده از رگرسیون خطی در مورد تمام مدل‌ها، صحت مدل‌های ساخته شده، مورد تأیید قرار گرفت. در ادامه، وزن پارامترهای اقلیمی موثر با استفاده از روش مقایسات زوجی، محاسبه شد که بر طبق نظر خبرگان، پارامتر دمای حداقل ماهانه با وزن ۰/۱۶۹ موثرترین و پارامتر متوسط سرعت باد ماهانه با وزن ۰/۰۳۲ کم‌اثرترین پارامترهای اقلیمی شناخته شدند. در نهایت رتبه‌بندی منطبق‌ترین محصولات با شرایط اقلیمی دشت سومار در استان کرمانشاه، با استفاده از روش تاپسیس و محاسبه میزان شاخص شباهت که نشان‌دهنده امتیاز هر محصول است، به دست آمد. مطابق نتایج حاصله، محصولات لوبیا، جو، کلزا با شاخص‌های شباهت ۰/۶۰۱، ۰/۵۷۳ و ۰/۵۶۴ بیش‌ترین تطابق و تنباکو، گوجه فرنگی و ذرت علوفه‌ای با شاخص‌های شباهت ۰/۳۷۶، ۰/۵۱۳ و ۰/۵۱۸ کم‌ترین تطابق را با شرایط اقلیمی محدوده طرح دارند.

واژه‌های کلیدی: تنوع زیستی کشاورزی، رتبه‌بندی محصولات زراعی، روش تاپسیس، غربالگری گیاهان، مدل رگرسیونی.

مقدمه

و اقلیم‌شناسی، تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه تاثیر شرایط اقلیمی بر محصولات کشاورزی انجام داده‌اند. به‌عنوان مثال: Kokic et al. (2005) اثرات درازمدت تغییرپذیری‌های آب و هوایی بر عملکرد محصولات زراعی استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. آنان اصلاح مدیریت آبیاری، ایجاد فناوری‌های نو و استفاده از رقم‌های مقاوم به خشکی را از جمله راهکارهای رویارویی با تغییرات طولانی‌مدت اقلیمی دانستند (Kokic et al., 2005). Finger & Schmid (2008) با به‌کارگیری روش تلفیقی که از داده‌های شبیه‌سازی شده زیست‌محیطی در مدل اقتصادی استفاده می‌کند، به تجزیه و تحلیل تأثیر آب و هوا بر تولید و قیمت محصولات ذرت و گندم زمستانه در کشور سوئیس پرداختند. نتایج نشان داد، فعالیت کشاورزان و عملکرد محصولات به تغییرپذیری‌های اقلیمی و قیمت محصولات حساس است (Finger & Schmid, 2008). Reidsma et al. (2009) به بررسی

یکی از اهداف مد نظر برنامه‌ریزان توسعه کشور، توجه ویژه به بخش کشاورزی و همگام با آن، افزایش تولیدات کشاورزی است تا این بخش بتواند ضمن کمک به رشد دیگر بخش‌های اقتصادی، تامین نیازهای غذایی جمعیت و در صورت تولید انبوه، صادرات محصولات کشاورزی را مدنظر داشته باشد (Mahmoodi & Rasoolzadeh, 2016). یکی از راهکارهای اساسی برای توسعه کشاورزی استفاده بهینه از اراضی، متناسب با شرایط اقلیمی منطقه است. تولیدات کشاورزی همیشه با خطر نوسانات آب و هوا همراه بوده است. گرچه این احتمال خطر، هرگز به‌طور کامل حذف نمی‌شود، اما می‌توان با شناخت پارامترهای مختلف اقلیمی موثر در رشد گیاه، مناسب‌ترین گونه‌های گیاهی را از نظر تطابق با شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر انتخاب کرد (Labus et al., 2002). در سال‌های اخیر دانشمندان و متخصصان علوم کشاورزی

خواهد داشت (Koocheki *et al.*, 2015). بدون تردید بروز این تغییرات قابل توجه اقلیمی، پی‌آمدهایی را بر تولید محصولات کشاورزی کشور به دنبال دارد. با در نظر گرفتن نکات فوق، تهیه الگوریتمی به منظور انتخاب منطبق‌ترین محصول با شرایط اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد. لازم به ذکر است به دلیل تعدد گیاهان قابل کشت در هر منطقه و تاثیرگذاری عوامل متعدد به غیر از عوامل اقلیمی از جمله عوامل اقتصادی، اجتماعی، زیست-محیطی و سیاسی بر انتخاب گیاهان مناسب‌تر در الگوی کشت، ابتدا لازم است یک غربالگری از محصولات قابل کشت در هر منطقه انجام و سپس نسبت به انتخاب گیاهان در الگوی کشت با در نظر گرفتن کلیه عوامل گفته شده در بالا، اقدام شود. هدف از این تحقیق، ارائه یک الگوریتم به منظور غربالگری و انتخاب منطبق‌ترین محصولات کشاورزی با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌باشد. بدین منظور، الگوریتم انتخاب منطبق‌ترین محصول با شرایط اقلیمی با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی چندگانه^۱ و تاپسیس^۲ طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

کلیات

پژوهش حاضر بر اساس هدف، کاربردی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، توصیفی (غیر آزمایشی) می‌باشد. روش انجام تحقیق، بر اساس الگوریتم ارائه شده در شکل (۱) است. مطابق این الگوریتم، پس از جمع‌آوری داده‌های اقلیمی و عملکرد محصولات کشاورزی، با استفاده از مفهوم تنوع زیستی کشاورزی^۳، حساس بودن بوم نظام زراعی^۴ مورد بررسی نسبت به شرایط اقلیمی، سنجیده شد. پس از اطمینان از حساسیت بوم نظام نسبت به شرایط اقلیمی، با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه، مدل‌های رگرسیونی رابطه بین عملکرد محصول و پارامترهای اقلیمی ساخته شده و صحت مدل‌های ساخته شده مورد بررسی قرار گرفت. در انتها با استفاده از روش تاپسیس، رتبه‌بندی منطبق‌ترین محصولات با شرایط اقلیمی محدوده طرح، بدست آمد.

جامعه مورد مطالعه

مطالعه موردی در این پژوهش، اراضی دشت سومار در استان کرمانشاه را در برمی‌گیرد. این اراضی بین طول‌های شرقی ۵۵۰۴۰۰ متر تا ۵۶۹۶۱۲ متر و عرض‌های شمالی ۳۷۴۲۸۰۰ تا ۳۷۶۲۸۰۰ متر محدود شده است. از لحاظ موقعیت محلی، این منطقه در جنوب غربی شهر کرمانشاه، در نزدیکی مرز ایران و

اثرگذاری تنوع و تغییر اقلیم بر عملکرد منطقه‌ای محصول ذرت با استفاده از مدل فرآیند-محور در اروپا پرداختند. نتایج نشان داد، عملکرد بالقوه با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد که بر خلاف شبیه‌سازی‌های مدل بود و در نتیجه پاسخ‌های مدل با واقعیت هم‌خوانی ندارد. با در نظر گرفتن اثرگذاری‌های مدیریتی، تفاوت بین عملکرد مشاهده و شبیه‌سازی شده، به‌وسیله آبیاری و سطح زیرکشت ذرت توضیح داده شدند. نکته شایان توجه در نتایج این تحقیق، وابسته بودن تاثیر عامل‌ها، به شرایط منطقه‌ای بود (Chen *et al.*, 2013). (Reidsma *et al.*, 2009). به بررسی تأثیر اقتصادی تغییرپذیری‌های اقلیم بر عملکرد ذرت و سویا در چین، با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی داده‌های ترکیبی (پانل) مکانی پرداختند. نتایج نشان داد، رابطه‌های غیرخطی و نامتقارن بین عملکرد ذرت و سویا و متغیرهای آب و هوایی وجود دارد و بررسی شرایط اقلیمی به کاهش درآمدهای کشاورزان منجر شده است (Chen *et al.*, 2013). در ایران نیز تحقیقات متعددی در خصوص تأثیر اقلیم در بخش کشاورزی صورت گرفته و مدل‌های متعدد پیش‌بینی عملکرد و تحلیل حساسیت گیاهان نسبت به شرایط آب و هوایی، در مناطق مختلف کشور طراحی شده است (به‌عنوان مثال: Tatari *et al.*, 2009؛ Tavakoli *et al.*, 2014؛ Koocheki *et al.*, 2016؛ Rasooli *et al.*, 2016؛ Keshavarz, 2018؛ Nassabian & Sadr Alashrafi, 2004).

با توجه به تأثیرپذیری غیرقابل انکار گیاهان زراعی از تغییرات اقلیمی، شناخت ویژگی‌های اقلیمی در هر منطقه، امکان انتخاب نوع گیاه مناسب، تنظیم برنامه کشت و کار و برداشت محصول توسط برنامه‌ریزان و کشاورزان آن منطقه را فراهم می‌سازد. گیاهان زراعی بهترین رشد و تولید را در مکان‌هایی دارند که شرایط اقلیمی نیازهای رشدی آن‌ها را به بهترین نحو تامین کنند، بنابراین، آگاهی از چگونگی تناسب و انطباق فعالیت‌های کشاورزی هر منطقه با شرایط اقلیمی آن، لازمه هر گونه فعالیت کشاورزی است. (Kamali *et al.*, 2008). تحقیقات بسیاری در خصوص رابطه شرایط اقلیمی و عملکرد محصولات کشاورزی و پیشنهاد استراتژی‌های کشت مطابق با شرایط اقلیمی منطقه، در نقاط مختلف دنیا، صورت گرفته است (به‌عنوان مثال: Mertz *et al.*, 2009؛ Seo, 2013؛ Bryan *et al.*, 2013؛ Seshadri *et al.*, 2016؛ Bouroncle *et al.*, 2017).

در ایران بر اثر پدیده تغییر اقلیم، میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور تا سال ۲۰۵۰ بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی-گراد افزایش و میانگین بارش سالانه بین ۷ تا ۱۴ درصد کاهش

نام و Ln لگاریتم طبیعی می‌باشد. مقدار P_i از تقسیم کردن سطح زیر کشت هر محصول کشاورزی به سطح زیر کشت کل محصولات کشاورزی به دست می‌آید (Javadzadeh & Saljooghianpour, 2018؛ Goldani et al., 2017؛ Ghalegolab Behbahani et al., 2013؛ Koocheki et al., 2013). مقدار شاخص شانون-وینر با افزایش تعداد گونه‌های جامعه زیاد می‌شود و بطور نظری به مقادیر بالایی نیز ممکن است برسد، اما در عمل مقدار آن از حدود ۵ تجاوز نمی‌کند. هرچه شاخص شانون-وینر بزرگ‌تر باشد، برتری گرایبی بین گونه‌های بیشتری تقسیم شده و از حساسیت بوم نظام زراعی، نسبت به تغییرات محیطی کاسته می‌شود (Ghorbani, 2016).

رگرسیون خطی چندگانه یکی از روش‌های مرسوم در تحلیل چند متغیره است. بر اساس تحلیل رگرسیونی، یک رابطه خطی بین متغیر پاسخ^۲ با یک یا چند متغیر توصیفی^۳ برقرار می‌شود (Balan et al., 1995). به منظور تجزیه و تحلیل و تایید مدل رگرسیونی، مراحل زیر طی می‌شود: (۱) شناسایی متغیرها و جمع‌آوری داده‌ها، (۲) تشکیل توابع تولید اقلیمی، (۳) انجام آزمون‌های معناداری و (۴) بررسی شروط مدل رگرسیون خطی. این پژوهش از روش رگرسیون خطی چندگانه پس رونده برای ساخت مدل‌های رگرسیونی استفاده شد. مزیت این روش در آن است که طی گام‌های مختلف، متغیرهای کم‌اثرتر، یکی پس از دیگری از معادله خارج شده و این مراحل تا زمانی ادامه می‌یابد که خطای آزمون معناداری به ۵ درصد برسد (Safari Shali & Getabi, 2015).

روش تاپسیس، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه است که مسئله مورد نظر را در یک ماتریس $m \times n$ شاخص (معیار) و m گزینه) مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این تکنیک، هر مسئله به صورت یک سیستم هندسی شامل m نقطه در یک فضای n بعدی در نظر گرفته می‌شود و در آن دو مفهوم "حل ایده‌آل" و "شباهت به حل ایده‌آل" استفاده می‌شود. حل ایده‌آل مثبت، آن حلی است که در هر معیار بهترین باشد، که عموماً در عمل وجود نداشته و سعی بر آن است که گزینه برتر انتخابی، به آن راه حل نزدیک باشد. به منظور اندازه‌گیری شباهت یک گزینه به حل ایده‌آل مثبت، فاصله آن گزینه از حل ایده‌آل مثبت و حل ایده‌آل منفی اندازه‌گیری می‌شود. سپس گزینه‌ها بر اساس نسبت فاصله از حل ایده‌آل منفی به مجموع فاصله از حل های ایده‌آل مثبت و منفی (محاسبه شاخص شباهت)، ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شوند. مراحل حل مسئله به کمک تکنیک تاپسیس،

عراق واقع شده است. اقلیم این منطقه با استفاده از طبقه‌بندی های رایج در مطالعات هواشناسی، بیابانی گرم تا معتدل تعیین شده است. متوسط سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل در محدوده دشت سومار ۱۷۷۰ میلی‌متر و تغییرات درجه حرارت متوسط در این حوزه، از ۵/۲ تا ۲۸/۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. رودخانه کنگیر به‌عنوان زهکش طبیعی این منطقه به‌عنوان مهم-ترین منبع تامین مصارف کشاورزی اراضی دشت سومار، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این اراضی از طریق شق نهر توسط بند انحرافی و احداث کانال انتقال و بر اساس بهره‌برداری از رژیم طبیعی رودخانه، تحت کشت قرار می‌گیرند.



شکل ۱- الگوریتم انتخاب منطبق ترین محصول با شرایط اقلیمی

روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها

تنوع زیستی کشاورزی جزئی از تنوع زیستی بوده و بیانگر تنوع در زمین‌های زراعی می‌باشد (Brookfield & Stoking, 1999). شاخص شانون-وینر به‌عنوان یکی از کاربردی‌ترین شاخص‌های غنای گونه‌ای^۱ برای ارزیابی تنوع زیستی شناخته شده است (Magurran, 1988؛ Barnes et al., 1997؛ Meffe & Carroll, 1997؛ Smale et al., 2003؛ Thrupp, 1998؛ 1998) و در این تحقیق، با توجه به خصوصیت بارز این شاخص که حساسیت نسبت به تنوع گونه‌ها می‌باشد، به‌عنوان شاخص بررسی تنوع زیستی کشاورزی انتخاب شده است. فرمول محاسبه این شاخص به شرح رابطه (۱) می‌باشد:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \times \ln(P_i) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در رابطه (۱)، H شاخص شانون-وینر، P_i فراوانی نسبی گونه

باز الکترونیکی به شناسه ایمیل مسئولان سازمان جهاد کشاورزی شهرستان سرپل ذهاب جمع‌آوری گردید. سوالات پرسشنامه در خصوص کاشت یا عدم کاشت یک محصول، سال‌های کشت و سطح زیر کشت در هر سال در منطقه، طراحی شده و با آگاهی و رضایت کامل مشارکت‌کنندگان پاسخ داده شدند. بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، متوسط مقدار شاخص شانون وینر در محدوده طرح، برابر ۱/۶۹ محاسبه شد.

محصولاتی که برای رقابت انتخاب شدند بر اساس وجود سابقه کشت در اقلیم‌های مشابه منطقه مورد بررسی در استان کرمانشاه، برگزیده شدند (لازم به ذکر است محدوده مورد مطالعه از نظر منابع آبی، پتانسیل مناسبی برای کشت ترکیبات مختلف محصولات کشاورزی را داراست). اطلاعات مربوط به این محصولات به شرح جدول (۱) و با استفاده از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی استخراج شدند.

شامل ۸ گام به شرح زیر می‌باشد: (۱) تشکیل ماتریس تصمیم (A_{ij}) بر اساس n شاخص (معیار) و m گزینه (۲) استانداردسازی داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد شده (نرمالیزه) (R_{ij}) (۳) تعیین وزن هر یک از معیارها (۴) تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون (V_{ij}) (۵) محاسبه حل ایده‌آل مثبت (A^+) و ایده‌آل منفی (A^-) (۶) محاسبه اندازه فاصله گزینه نام بر اساس قاعده اقلیدسی از حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی (۷) محاسبه شاخص شباهت با راه حل ایده‌آل مثبت و دوری از راه حل ایده‌آل منفی از طریق تعیین ضریب نزدیکی نسبی گزینه نام (C_i) به راه حل ایده‌آل (۸) رتبه‌بندی آلترناتیوها بر اساس مقدار C_i . (Fallsolyman *et al.*, 2014).

ابزار جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های لازم برای محاسبه شاخص شانون وینر در بوم نظام زراعی منطقه مورد نظر (دشت سومار) از طریق ارسال پرسشنامه

جدول ۱- گروه‌های عمده محصولات کشاورزی آبی

غلات	حبوبات	محصولات صنعتی	سبزیجات	محصولات جالبیزی	نباتات علوفه‌ای
گندم	نخود	پنبه	سیب زمینی	خربزه	یونجه
جو	لوبیا	توتون و تنباکو	پیاز	هندوانه	شدر
شلتوک	عدس	چغندر قند	گوجه فرنگی	خیار	ذرت علوفه‌ای
ذرت دانه‌ای		سویا			
		کلزا			
		کنجد			
		آفتابگردان روغنی			
تعداد	۴	۳	۷	۳	۳

رگرسیون برای این محصولات وجود نداشت و مقایسه بین ۲۰ محصول کشاورزی آبی، انجام گرفت.

نتایج و بحث

بر اساس الگوریتم ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها، ابتدا به بررسی حساسیت بوم نظام مورد نظر (دشت سومار) نسبت به شرایط اقلیمی پرداخته شد. مطابق نتایج برخی تحقیقات (مثلاً Stocking, 2001)، تاثیر شرایط اقلیمی بر تنوع زیستی معمولاً مهم‌تر از سایر عوامل محیطی است. بنابراین بر اساس مقدار شاخص شانون وینر (که برای منطقه مورد نظر برابر با ۱/۶۹ محاسبه شده است)، می‌توان نتیجه گرفت که بوم نظام زراعی تعریف شده، نسبت به تغییرات اقلیمی حساس است. در ادامه، برای ساخت مدل‌های رگرسیونی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و رابطه بین عوامل اقلیمی (به‌عنوان متغیر مستقل) با عملکرد ۲۰ محصول کشاورزی آبی (به‌عنوان متغیر وابسته) از طریق روش رگرسیون خطی چندگانه پس‌رونده مورد مطالعه قرار گرفت. به

داده‌های لازم برای تشکیل مدل‌های رگرسیونی، داده‌های اقلیمی و داده‌های مربوط به عملکرد محصولات می‌باشند. داده‌های اقلیمی ماهانه ایستگاه سینوپتیک سرپل ذهاب (به‌عنوان ایستگاه هواشناسی معرف طرح) شامل: مقادیر ماهانه و فصلی ۹ پارامتر: مجموع بارش پاییزه (mm)، مجموع بارش زمستانه (mm)، مجموع بارش بهار (mm)، دمای حداقل ماهانه (°C)، دمای حداکثر ماهانه (°C)، دمای متوسط ماهانه (°C)، متوسط رطوبت نسبی ماهانه (%، متوسط سرعت باد ماهانه (m/s) و متوسط تبخیر و تعرق مرجع ماهانه (mm/day) در فاصله سال‌های (۱۳۹۷-۱۳۶۵) از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. داده‌های مربوط به عملکرد ۲۳ محصول کشاورزی آبی در فاصله سال‌های زراعی ۶۲-۱۳۶۱ تا ۹۶-۱۳۹۵ از بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی جمع‌آوری گردید. با توجه به برداشت آمار هواشناسی از سال ۱۳۶۵، مقادیر عملکرد محصولات کشاورزی از سال ۱۳۶۵ ملاک عمل قرار گرفت. لازم به ذکر است با توجه به تعداد سال‌های محدود کشت محصولات سویا، کنجد و آفتابگردان، امکان تشکیل معادله

عنوان مثال در جدول (۲) خلاصه نتایج آماری روابط رگرسیونی ساخته شده و مدل منتخب برای محصول جو، ارائه شده است.

جدول ۲- خلاصه نتایج آماری روابط رگرسیونی ساخته شده برای محصول جو

مقدار آماره دوربین واتسون	ضریب تعیین تعدیل شده	ضریب تعیین	ضریب همبستگی	مدل
	۰/۴۰۱	۰/۵۸۷	۰/۷۶۶	۱
	۰/۴۲۹	۰/۵۸۷	۰/۷۶۶	۲
	۰/۴۵۲	۰/۵۸۵	۰/۷۶۵	۳
	۰/۴۴۸	۰/۵۶۲	۰/۷۵۰	۴
۱/۹۱۳	۰/۴۱۹	۰/۵۱۹	۰/۷۲۱	۵

متغیرهای پیش‌بین مدل ۱: تبخیر و تعرق مرجع، بارش بهاره، بارش پاییزه، بارش زمستانه، سرعت باد، دمای حداقل، رطوبت نسبی، دمای حداکثر، دمای متوسط
 متغیرهای پیش‌بین مدل ۲: تبخیر و تعرق مرجع، بارش بهاره، بارش پاییزه، بارش زمستانه، سرعت باد، دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط
 متغیرهای پیش‌بین مدل ۳: تبخیر و تعرق مرجع، بارش بهاره، بارش پاییزه، سرعت باد، دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط
 متغیرهای پیش‌بین مدل ۴: تبخیر و تعرق مرجع، بارش بهاره، بارش پاییزه، دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط
 متغیرهای پیش‌بین مدل ۵: تبخیر و تعرق مرجع، بارش بهاره، دمای حداقل، دمای حداکثر، دمای متوسط

معناداری این آزمون برای تمامی متغیرهای وابسته بیشتر از ۰/۰۵ است و فرض مبنی بر نرمال بودن توزیع تمامی متغیرهای وابسته، پذیرفته است.

در ادامه معنادار بودن مدل‌های ساخته شده، از طریق آزمون‌های معنادار بودن خط رگرسیون و معنادار بودن ضرایب تک تک متغیرهای مستقل، مورد بررسی قرار گرفت. برای آزمون معنادار بودن معادله خط رگرسیون از آزمون آنالیز واریانس (آماره F) و برای آزمون معنادار بودن ضرایب تک تک متغیرهای مستقل از توزیع تی استودینت (آماره t) استفاده شد. در صورتی که سطح اطمینان تعیین شده آماره F، کوچک‌تر از مقدار بحرانی آن در جدول توزیع فیشر باشد، فرض صفر (معنادار نبودن معادله رگرسیون) پذیرفته و در صورتی که بزرگ‌تر باشد، فرض صفر، رد و معنادار بودن رگرسیون تأیید می‌شود. همچنین، در صورتی که در سطح اطمینان تعیین شده، میزان آماره t به‌دست آمده از آزمون، کوچک‌تر از میزان بحرانی آن در جدول توزیع تی استیودنت شود، ضرایب بی‌معنی تشخیص داده می‌شوند (Rencher & Schaalje, 2008). در جدول (۴)، ضرایب مدل‌های نهایی انتخاب شده برای ۲۰ محصول کشاورزی به‌همراه، سطوح معناداری مدل رگرسیونی و سطوح معناداری ضرایب رگرسیون برای هر مدل، ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر آزمون کولموگروف-اسمیرنوف برای متغیرهای وابسته

نام محصول	سطح معناداری	نام محصول	سطح معناداری
گندم	۰/۲۰۰	کلزا	۰/۰۵۵
جو	۰/۱۲۹	سیب زمینی	۰/۱۱۷
شلتوک	۰/۲۰۰	پیاز	۰/۲۰۰
ذرت دانه‌ای	۰/۲۰۰	گوجه فرنگی	۰/۲۰۰
نخود	۰/۲۰۰	خریزه	۰/۲۰۰
لوبیا	۰/۲۰۰	هندوانه	۰/۰۵۲
عدس	۰/۲۰۰	خیار	۰/۱۵۱
پنبه	۰/۰۹۶	یونجه	۰/۲۰۰
توتون	۰/۰۷۲	شبدر	۰/۱۱۴
وتنباکو	۰/۲۰۰	ذرت علوفه‌ای	۰/۲۰۰
چغندر قند	۰/۲۰۰		

سپس، برای بررسی شروط استفاده از رگرسیون خطی شامل: نرمال بودن توزیع متغیر وابسته، عدم وجود همبستگی بین خطاهای مدل، عدم وجود هم‌خطی و نرمال بودن توزیع خطاها (Montgomery et al., 2012) در مدل‌های رگرسیونی ساخته شده، به شرح زیر اقدام شد:

بررسی استقلال مشاهدات (استقلال مقادیر باقی‌مانده یا خطاها) از یکدیگر با استفاده از آزمون واتسون^۲، انجام شد. مقدار این آماره در بازه بین ۰ تا ۴ در نوسان است و مقدار بهینه آن، ۲ می‌باشد. پس از محاسبه آماره، جهت تصمیم‌گیری درباره استقلال خطاها ابتدا مقادیر حدود پایین و بالای آماره دوربین واتسن (به ترتیب DI و DU) با توجه به تعداد مشاهدات (n) و تعداد ضرایب مدل رگرسیونی به استثنای عرض از مبدأ، از طریق جدول مقادیر بحرانی آزمون دوربین واتسون به‌دست آمد. سپس، بازه قابل قبول این آماره، بر اساس نمودار شکل (۲) محاسبه شد. قرار داشتن آماره محاسباتی در بازه قابل قبول موجب تأیید فرض استقلال خطاها است (Habibi, 2016).

برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرهای وابسته، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد. در این آزمون اگر سطح معناداری بیشتر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر مبنی بر نرمال بودن داده‌ها، تأیید می‌شود (Massey Jr, 1951). در جدول (۳)، آماره مربوط به این آزمون ارائه شده است. مطابق جدول (۳)، سطح

جدول ۳- ضرایب مدل‌های نهایی انتخاب شده، سطوح معنی‌داری مدل رگرسیونی و ضرایب رگرسیونی

بارش پاییزه	بارش زمستانه	بارش بهاره	مقدار حداقل	مقدار حداکثر	مقدار متوسط	رطوبت نسبی	سرعت باد	تجهیز و ترمیم مرجع	سطح معناداری مدل	
۰	-۰/۳۶۹	۰	۳/۷۳۷	۱۰/۸۷۴	-۱۵/۹۸۴	۰	۰	۱/۸۹۰	۰/۰۰۱	گندم
-	۰/۰۱۶	-	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	-	-	۰/۰۰۸	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰/۳۳۹	۴/۹۰۴	۱۱/۷۰۵	-۱۸/۲۸۹	۰	۰	۲/۲۲۴	۰/۰۰۲	جو
-	-	۰/۰۳۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-	-	۰/۰۰۵	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۴۵۰	۰	۰/۰۴۱	شلتوک
-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۴۱	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۵/۹۷۵	۱۲/۰۹۸	-۲۰/۱۸۰	۰	۰	۲/۴۹۱	۰/۰۰۰	ذرت دانه‌ای
-	-	-	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-	-	۰/۰۰۰	-	سطح معناداری
۰	-۰/۴۱۶	۰	۰	۰	۰/۴۱۵	۰	۰	۰	۰/۰۱۲	نخود
-	۰/۰۱۹	-	-	-	۰/۰۱۹	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰/۴۴۷	۰	۰	۲/۱۵۳	۱/۹۷۲	۰	۰	۰/۰۳۸	لوبیا
-	-	۰/۰۴۲	-	-	۰/۰۰۷	۰/۰۱۶	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۸۱۱	۰	۰/۰۱۱	عدس
-	-	-	-	-	-	-	۰/۰۳۰	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۰	-۱/۹۶۰	۰	۰	۰	۲/۱۵۰	۰/۰۴۸	پنبه
-	-	-	-	۰/۰۲۷	-	-	-	۰/۰۱۷	-	سطح معناداری ضرایب
۰/۶۶۳	۰	-۰/۵۷۲	۲/۸۷۰	۰	۰	-۱/۷۶۲	۰	-۳/۹۷۳	۰/۰۰۴	توتون و تنباکو
۰/۰۱۴	-	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	-	-	۰/۰۰۸	-	۰/۰۰۱	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۴۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۰	چغندر قند
-	۰/۰۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰/۴۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵۰	کلزا
-	-	۰/۰۵۰	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۴۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۶۲۲	۱/۸۰۳	۰/۰۰۴	سیب زمینی
-	۰/۰۰۶	-	-	-	-	-	۰/۰۳۸۰	۰/۰۲۱	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۰	-۱/۸۷۷	۰	۰	۰	۲/۴۹۵	۰/۰۰۴	پیاز
-	-	-	-	۰/۰۰۵	-	-	-	۰/۰۰۲	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۵۴۳	-۰/۳۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۱	گوجه فرنگی
-	۰/۰۰۲	۰/۰۳۳	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	۰	۰	۰	-۰/۶۳۱	۰	۰	۰	۰/۰۱۲	خریزه
-	-	-	-	-	۰/۰۱۲	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۴۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۲	هندوانه
-	۰/۰۱۳	-	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۳۹۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱۱	خیار
-	۰/۰۴۲	-	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۴۸۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۳۷۶	۰/۰۰۵	یونجه
-	۰/۰۰۵	-	-	-	-	-	-	۰/۰۲۵	-	سطح معناداری ضرایب
۰	-۰/۴۰۷	-۰/۳۶۹	۰	۰	-۸/۷۶۶	۰	۰	۰	۰/۰۲۸	شیدر
-	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	-	-	۰/۰۴۹	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب
۰	۰	-۰/۵۴۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۵۰	ذرت علوفه‌ای
-	-	۰/۰۱۵	-	-	-	-	-	-	-	سطح معناداری ضرایب

خود همبستگی منفی	نمی توان نتیجه گیری	عدم خود همبستگی	نمی توان نتیجه گیری	خود همبستگی مثبت
(رد فرض H0)	کرد	(فرض H0 تایید می شود)	کرد	(رد فرض H0)
4	4-DI	2	4-DU	0

شکل ۲- تعیین بازه قابل قبول آماره دوربین واتسن (ماخذ: Habibi, 2016)

جهت شناسایی هم‌خطی، از شاخص میزان تحمل^۱ استفاده شد. مقدار این شاخص بین صفر و یک تغییر می‌کند. مقدار نزدیک به یک به این معنی است که در یک متغیر مستقل بخش کوچکی از پراکندگی آن توسط سایر متغیرهای مستقل توجیه می‌شود.

در جدول (۵)، مقادیر آماره محاسبه شده برای کلیه محصولات و بازه قابل قبول ارائه شده است. مطابق جدول (۵)، فرض عدم وجود خود همبستگی بین جملات خطا، برای کلیه معادلات رگرسیونی تایید می‌شود.

نیفتاده است. لازم بذکر است که در میان شاخص‌های محاسباتی، مقادیر کمتر از ۰/۱ نیز مشاهده می‌شود که این امر، ناشی از طبیعت وابسته به هم پارامترهای اقلیمی می‌باشد.

جهت بررسی توزیع خطاها، مقادیر باقی‌مانده استاندارد شده^۱ برای تمامی مدل‌های رگرسیونی نهایی محصولات، با استفاده از نرم افزار SPSS، رسم و با نمودار توزیع نرمال مقایسه گردید. در بررسی توزیع خطاها، هر چه توزیع باقیمانده به توزیع نرمال نزدیک‌تر باشد، مدل بهتری برآزش شده است (Montgomery et al., 2012). در شکل‌های (۳) تا (۶) به‌عنوان نمونه مقایسه مقادیر باقی‌مانده استاندارد شده با مقادیر توزیع نرمال برای گیاهان گندم، جو، پیاز و گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. همچنین در جدول (۷)، پارامترهای آماری باقیمانده استاندارد شده در مدل‌های رگرسیونی، ارائه شده است.

مقدار نزدیک به صفر به این معنی است که یک متغیر تقریباً ترکیب خطی از سایر متغیرهای مستقل است و داده‌ها دارای رابطه خطی مشترک چندگانه هستند. مقدار صفر این شاخص برای یک متغیر مستقل، نشان‌دهنده وجود "هم‌خطی کامل" در مدل رگرسیونی است که موجب نقض فرض‌های کلاسیک مدل رگرسیون می‌شود (Montgomery et al., 2012). مقدار شاخص میزان تحمل برای ضرایب متغیرهای مستقل تمامی مدل‌های رگرسیونی نهایی محصولات، با استفاده از نرم افزار SPSS، به شرح جدول (۶) محاسبه شد.

مطابق جدول (۶)، مقدار شاخص میزان تحمل، برای هیچ یک از متغیرهای پیشگو، صفر نشده است و این بدان معنی است که "هم‌خطی کامل" که موجب نقض فرض‌های کلاسیک مدل رگرسیون می‌شود، در هیچیک از مدل‌های رگرسیون اتفاق

جدول ۵- بررسی استقلال خطاها در مدل‌های رگرسیونی

نام محصول	مقدار آماره دوربین و اتسون	بازه قابل قبول	نام محصول	مقدار آماره دوربین و اتسون	بازه قابل قبول
گندم	۱/۹۱۰	۱/۸۳-۲/۱۷	کلزا	۲/۳۳۶	۱/۴۰-۲/۶۰
جو	۱/۹۱۳	۱/۸۳-۲/۱۷	سیب زمینی	۱/۹۴۹	۱/۶۵-۲/۳۵
شلوک	۱/۵۲۷	۱/۴۳-۲/۵۷	پیاز	۱/۷۴۹	۱/۵۷-۲/۴۳
ذرت دانهای	۱/۹۷۳	۱/۷۴-۲/۲۶	گوجه فرنگی	۱/۵۷۲	۱/۵۶-۲/۴۴
نخود	۱/۹۳۴	۱/۵۷-۲/۴۳	خربزه	۱/۹۶۳	۱/۳۷-۲/۶۳
لوبیا	۱/۷۹۷	۱/۶۵-۲/۳۵	هندوانه	۱/۶۲۴	۱/۴۸-۲/۵۲
عدس	۲/۴۵۳	۱/۵۴-۲/۴۶	خیار	۱/۴۸۹	۱/۴۹-۲/۵۱
پنبه	۱/۵۵۵	۱/۵۳-۲/۴۷	یونجه	۱/۵۷۸	۱/۵۷-۲/۴۳
توتون و تنباکو	۲/۳۵۷	۱/۴۹-۲/۵۱	شدر	۲/۰۹۰	۱/۶۵-۲/۳۵
چغندر قند	۱/۵۸۲	۱/۵۰-۲/۵۰	ذرت علوفه‌ای	۱/۵۶۱	۱/۴۲-۲/۵۸

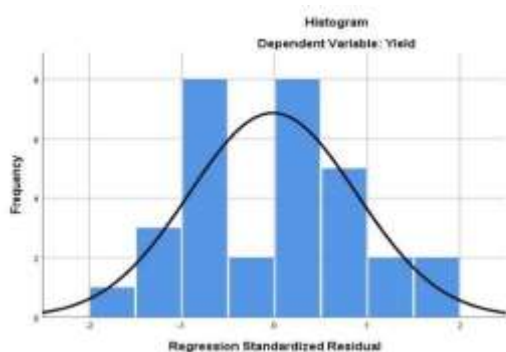
مطلق حداکثر میانگین اختلاف بین باقیمانده و مقادیر واقعی تنها برابر ۰/۱۶۵ (محصول ذرت علوفه‌ای) می‌باشد، که نشان‌دهنده توزیع نزدیک به نرمال مقادیر خطاهاست. بدین ترتیب، با توجه به توزیع نرمال یا نزدیک به نرمال مقادیر خطاها برای تمامی محصولات، منعی برای استفاده از روش رگرسیون خطی وجود ندارد.

با توجه به جدول (۷)، مشخص شد که توزیع باقی‌مانده‌ها، در تمامی مدل‌ها به توزیع نرمال نزدیک بوده و یا بر آن منطبق است. بدین ترتیب که برای چهار محصول گندم، عدس، پنبه و توتون و تنباکو، میانگین اختلاف بین باقی‌مانده و مقادیر واقعی برابر صفر بوده و این بدان معناست که توزیع مقادیر خطا کاملاً از توزیع نرمال تبعیت می‌کند. در مورد سایر محصولات نیز قدر

جدول ۶- بررسی هم خطی در مدل‌های رگرسیونی

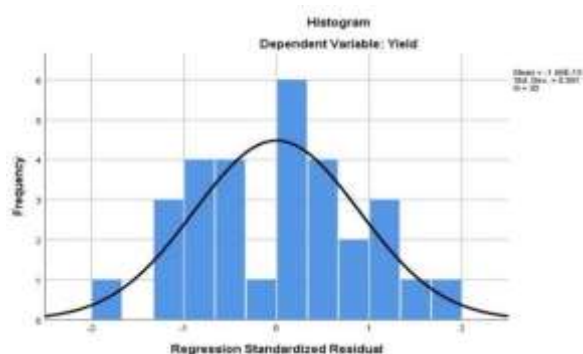
نام محصول	متغیر مستقل	شاخص میزان تحمل	نام محصول	متغیر مستقل	شاخص میزان تحمل
گندم	مجموع بارش زمستانه	۰/۸۲۷	توتون و تنباکو	مجموع بارش پاییزه	۰/۳۹۱
	دمای حداقل ماهانه	۰/۰۰۸		مجموع بارش بهاره	۰/۵۸۶
	دمای حداکثر ماهانه	۰/۰۰۲		دمای حداقل ماهانه	۰/۰۴۰
	دمای متوسط ماهانه	۰/۰۰۱		رطوبت نسبی ماهانه	۰/۰۷۲
جو	تبخیر و تعرق مرجع	۰/۰۳۹	سیب زمینی	تبخیر و تعرق مرجع	۰/۰۴۳
	مجموع بارش بهاره	۰/۸۴۴		مجموع بارش زمستانه	۱/۰۰۰
	دمای حداقل ماهانه	۰/۰۰۹		مجموع بارش بهاره	۱/۰۰۰
	دمای حداکثر ماهانه	۰/۰۰۲		مجموع بارش زمستانه	۰/۹۱۸
	دمای متوسط ماهانه	۰/۰۰۱		سرعت باد ماهانه	۰/۳۷۷

۰/۰۴۱	تبخیر و تعرق مرجع		۰/۰۳۹	تبخیر و تعرق مرجع	
۰/۰۵۸	دمای حداکثر ماهانه	پیاز	۱/۰۰۰	سرعت باد ماهانه	شلتوک
۰/۰۴۱	تبخیر و تعرق مرجع		۰/۰۰۸	دمای حداقل ماهانه	
۱/۰۰۰	مجموع بارش زمستانه	گوجه فرنگی	۰/۰۰۲	دمای حداکثر ماهانه	ذرت دانه‌ای
۱/۰۰۰	مجموع بارش بهاره		۰/۰۰۱	دمای متوسط ماهانه	
۱/۰۰۰	دمای متوسط ماهانه	خریزه	۰/۰۴۱	تبخیر و تعرق مرجع	
۱/۰۰۰	مجموع بارش زمستانه	هندوانه	۰/۹۶۵	مجموع بارش زمستانه	نخود
۱/۰۰۰	مجموع بارش زمستانه	خیار	۰/۹۶۵	دمای متوسط ماهانه	
۰/۹۸۳	مجموع بارش زمستانه	یونجه	۰/۶۵۸	مجموع بارش بهاره	
۰/۹۸۳	تبخیر و تعرق مرجع		۰/۰۵۴	دمای متوسط ماهانه	لوبیا
۰/۹۱۹	مجموع بارش زمستانه		۰/۰۴۹	رطوبت نسبی ماهانه	
۰/۶۹۷۴	مجموع بارش بهاره	شیدر	۱/۰۰۰	رطوبت نسبی ماهانه	عدس
۰/۰۰۱	دمای متوسط ماهانه		۰/۰۶۹	دمای حداکثر ماهانه	پنبه
۱/۰۰۰	مجموع بارش بهاره	ذرت علوفه‌ای	۰/۰۶۹	تبخیر و تعرق مرجع	



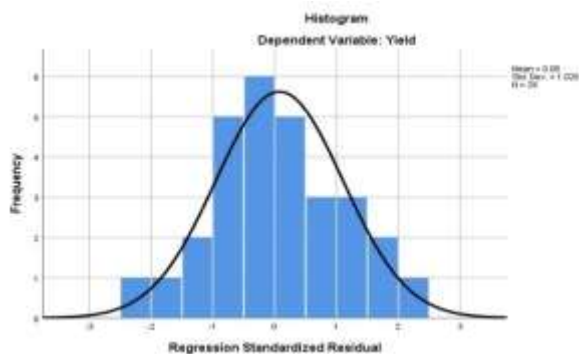
شکل ۴- مقایسه مقادیر باقیمانده استاندارد شده با توزیع نرمال محصول

جو



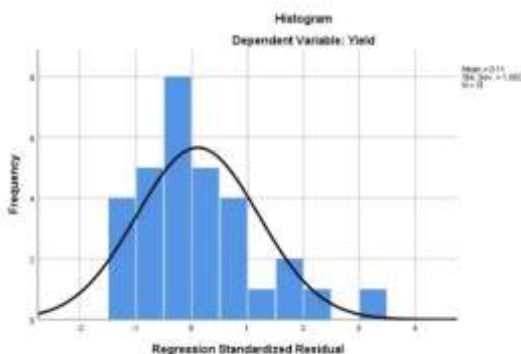
شکل ۳- مقایسه مقادیر باقی مانده استاندارد شده با توزیع نرمال محصول

گندم



شکل ۶- مقایسه مقادیر باقیمانده استاندارد شده با توزیع نرمال محصول

گوجه فرنگی



شکل ۵- مقایسه مقادیر باقیمانده استاندارد شده با توزیع نرمال محصول

پیاز

جدول ۷- پارامترهای آماری باقیمانده استاندارد شده در مدل‌های رگرسیونی

نام محصول	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
گندم	-۱/۷۰۷	۱/۷۱۴	۰/۰۰۰	۰/۸۹۱
جو	-۱/۹۸۵	۱/۶۸۱	-۰/۰۱۹	۰/۹۰۱
شلتوک	-۱/۸۸۳	۲/۰۲۳	۰/۰۳۰	۰/۹۶۲
ذرت دانه‌ای	-۱/۱۹۸	۱/۸۰۸	۰/۰۵۰	۰/۹۳۲
نخود	-۲/۰۲۴	۱/۹۶۶	۰/۰۵۹	۱/۰۰۴
لوبیا	-۲/۵۲۷	۱/۸۲۴	۰/۰۵۸	۰/۹۵۹
عدس	-۱/۶۳۶	۱/۳۱۵	۰/۰۰۰	۰/۸۸۹
پنبه	-۲/۳۹۱	۱/۹۳۳	۰/۰۰۰	۰/۹۳۹

۰/۷۳۹	۰/۰۰۰	۱/۴۹۸	-۱/۳۰۲	توتون و تنباکو
۱/۰۷۱	۰/۰۸۳	۲/۷۲۱	-۱/۳۶۵	چغندر قند
۰/۹۴۳	-۰/۰۰۱	۲/۲۲۵	-۱/۲۹۹	کلزا
۱/۲۰۷	۰/۱۴۲	۴/۳۹۹	-۱/۷۲۹	سیب زمینی
۱/۰۹۲	۰/۱۰۸	۳/۳۳۸	-۱/۲۹۳	پیاز
۱/۰۲۹	۰/۰۷۶	۲/۱۹۹	-۲/۰۵۴	گوجه فرنگی
۱/۰۵۵	۰/۱۲۴	۱/۹۸۳	-۱/۸۶۰	خربزه
۱/۰۸۴	۰/۰۹۹	۲/۸۶۱	-۱/۵۴۲	هندوانه
۰/۹۱۵	۰/۰۱۷	۱/۹۷۴	-۱/۸۱۹	خیار
۱/۰۲۷	۰/۰۷۱	۲/۴۱۴	-۱/۳۴۹	یونجه
۰/۹۴۳	۰/۰۵۴	۲/۳۹۹	-۱/۶۲۷	شدر
۱/۱۷۰	۰/۱۶۵	۳/۴۵۵	-۱/۸۸۵	ذرت علوفه‌ای

پارامترهای اقلیمی برای هر محصول بر اساس مدل رگرسیونی آن محصول و طبق رابطه (۲)، تعیین شد: (رابطه ۲)

ضریب تعیین \times ضریب رگرسیون استاندارد (بتا) متغیرهای پیشگو = مقدار ارزش تعدیل شده مدل

داده‌های حاصل (مقادیر ارزش حاصل) از رابطه (۲)، درحقیقت ارزیابی هر گزینه (محصول) نسبت به هر معیار (پارامتر اقلیمی) است و درایه‌های ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهند. سپس وزن پارامترهای اقلیمی موثر، با استفاده از روش مقایسات زوجی، محاسبه شد (شکل ۷). بدین منظور، ماتریس مقایسه‌ای معیارهای اصلی نسبت به یکدیگر با استفاده از میانگین هندسی نظرات کارشناسان برای مقایسه دوجه‌دویی مؤلفه‌ها و تشکیل ماتریس مقایسه دوجه‌دویی مؤلفه‌های اصلی، به‌دست آمد. در روش مقایسات زوجی، اهمیت نسبی مقادیر بر مبنای مقیاس ۹-۱ تعیین می‌شود، به‌طوری‌که عدد ۹ نشان‌دهنده ارجحیت کامل و عدد ۱ نشان‌دهنده ارجحیت مساوی معیارها است. برای اطمینان از صحت مقایسات زوجی، نرخ سازگاری (CR) محاسبه شد. مقدار CR کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده قابل قبول بودن مقایسات زوجی انجام شده است. طریقه محاسبه نرخ سازگاری وزن‌های به‌دست آمده در روابط (۱) و (۲) آمده است (Isalou et al., 2014):

$$CR = \frac{C.I.}{R.I.} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در رابطه (۳)، $C.I.$ شاخص سازگاری ماتریس مقایسه زوجی است که با استفاده از بزرگ‌ترین مقدار بردار ویژه (λ_{max}) و بعد ماتریس (n) بر اساس رابطه (۴) برآورد می‌گردد و عدد $I.R.$ نیز بر اساس بعد ماتریس از جدول (۹) به‌دست می‌آید.

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۴})$$

مقدار CR محاسبه شده برابر ۰/۰۱ به‌دست آمد، که نشان دهنده سازگار بودن نظرات خبرگان است ($0/01 < 0/1$).

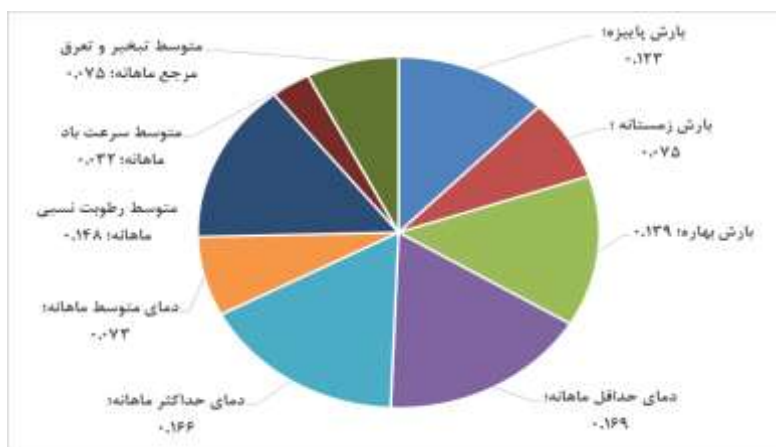
در جدول (۸) مدل‌های رگرسیونی ساخته شده و تأیید شده برای تمامی محصولات، به‌همراه ضریب تعیین تعدیل شده^۱ هر مدل، ارائه شده است.

در جدول (۸)، P_{au} بارش پاییزه، P_w بارش زمستانه، P_s بارش بهاره، T_{min} دمای حداقل ماهانه، T_{max} دمای حداکثر ماهانه، T_{mean} دمای متوسط ماهانه، RH_{mean} متوسط رطوبت نسبی ماهانه، W_{mean} متوسط سرعت باد ماهانه و ET_0 متوسط تبخیر و تعرق مرجع ماهانه، می‌باشد. آنچه در جدول (۸) حائز اهمیت است، مقادیر ضرایب تعیین تعدیل شده روابط رگرسیونی است که نشان می‌دهد تغییرات عوامل اقلیمی در محصولات مورد بررسی، به‌طور متوسط حدود ۳۲ درصد از تغییرات مربوط به عملکرد محصولات را توجیه می‌نماید. این امر با توجه به آنکه محصولات زراعی مورد بررسی در این پژوهش، محصولات آبی می‌باشند و همچنین با در نظر گرفتن سهم سایر نهاده‌ها از قبیل کود، سم، بذر، نیروی کار و ... بر عملکرد محصول، کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. نکته مهم دیگر تأثیر منفی بارش زمستانه بر عملکرد محصولات است. بررسی آمار مقدار بارندگی در ماه‌های زمستان در منطقه، حاکی از وقوع بارش‌های با حجم زیاد می‌باشد که همین امر می‌تواند باعث فرسایش زمین شده و بر عملکرد گیاهان تأثیر منفی داشته باشد. فرسایش‌پذیری بیشتر خاک در نقاط مختلف جهان، به‌دلیل افزایش میزان رواناب ناشی از وقوع بارندگی‌های سنگین (که خود ناشی از پدیده تغییر اقلیم است)، در تحقیقات بسیاری از محققان مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است (Anaya-Romero et al., 2009; Angulo-Martínez et al., 2015; Borrelli et al., 2016; Muñoz-Rojas et al., 2017). در ادامه برای رتبه‌بندی منطبق‌ترین محصولات با شرایط اقلیمی محدوده طرح با استفاده از روش تاپسیس، مقدار ارزش

^۱ Adjusted R²

جدول ۸- مدل‌های رگرسیونی محصولات به‌همراه ضریب تعیین تعدیل شده هر مدل

نام محصول	مدل رگرسیونی	ضریب تعیین تعدیل شده
گندم	$Yeild = 5.989 - 0.369P_w + 3.737T_{min} + 10.874T_{max} - 15.984T_{mean} + 1.890ET_0$	۰/۵۲۲
جو	$Yeild = -1.137 + 0.339P_s + 4.904T_{min} + 11.705T_{max} - 18.289T_{mean} + 2.224ET_0$	۰/۴۱۹
شلتوک	$Yeild = 3.495 - 0.450W_{mean}$	۰/۱۶۰
ذرت دانه‌ای	$Yeild = 9.234 + 5.975T_{min} + 12.098T_{max} - 20.180T_{mean} + 2.491ET_0$	۰/۵۷۷
نخود	$Yeild = 2.697 - 0.416P_w + 0.415T_{mean}$	۰/۲۲۸
لوبیا	$Yeild = -3.927 + 0.447P_s + 2.153T_{mean} + 1.972RH_{mean}$	۰/۳۳۱
عدس	$Yeild = 9.565 - 0.811W_{mean}$	۰/۳۱۲
پنبه	$Yeild = 1.778 - 1.960T_{max} + 2.150ET_0$	۰/۲۴۵
توتون و تنباکو	$Yeild = 1.729 + 0.663P_{au} - 0.572P_s + 2.870T_{min} - 1.762RH_{mean} - 3.973ET_0$	۰/۸۳۷
چغندر قند	$Yeild = 81.670 - 0.423P_w$	۰/۱۵۰
کلرا	$Yeild = 1.112 + 0.468P_s$	۰/۱۷۰
سیب زمینی	$Yeild = 77.412 - 0.471P_w - 0.622W_{mean} + 1.803ET_0$	۰/۳۵۷
پیاز	$Yeild = 113.773 - 1.877T_{max} + 2.495ET_0$	۰/۳۶۵
گوجه فرنگی	$Yeild = 137.971 - 0.543P_w - 0.347P_s$	۰/۳۶۶
خربزه	$Yeild = 25.805 - 0.631T_{mean}$	۰/۳۵۲
هندوانه	$Yeild = 90.673 - 0.450P_w$	۰/۳۴۲
خیار	$Yeild = 45.820 - 0.391P_w$	۰/۱۴۱
یونجه	$Yeild = 17.184 - 0.485P_w + 0.376ET_0$	۰/۲۸۰
شدر	$Yeild = 12.424 - 0.407P_w - 0.369P_s - 8.766T_{mean}$	۰/۲۶۲
ذرت علوفه‌ای	$Yeild = 64.182 - 0.546P_s$	۰/۲۶۲



شکل ۷- وزن معیارهای اصلی

جدول ۹- میانگین I.R برای ماتریس‌های با اندازه‌های مختلف (ماخذ: Isalou et al., 2014)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

در جدول (۱۱)، رتبه‌بندی محصولات کشاورزی آبی برای کشت در محدوده مورد مطالعه بر اساس میزان انطباق با شرایط اقلیمی منطقه، ارائه شده است.

پس از تعیین وزن و محاسبه ماتریس‌های نرمالیزه (R_{ij}) و بی‌مقیاس موزون (V_{ij}) و مقادیر راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی، فاصله اقلیدسی و شاخص شباهت، به شرح جدول (۱۰) محاسبه شد.

جدول ۱۰- فاصله اقلیدسی محصولات از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی و شاخص شباهت

نام محصول	فاصله اقلیدسی از ایده‌آل مثبت	فاصله اقلیدسی از ایده‌آل منفی	شاخص شباهت	نام محصول	فاصله اقلیدسی از ایده‌آل مثبت	فاصله اقلیدسی از ایده‌آل منفی	شاخص شباهت
گندم	۰/۱۸۱	۰/۲۱۸	۰/۵۴۷	کلزا	۰/۱۸۵	۰/۲۳۹	۰/۵۶۴
جو	۰/۱۷۶	۰/۲۳۶	۰/۵۷۳	سیب زمینی	۰/۱۹۳	۰/۲۲۶	۰/۵۳۹
شلتوک	۰/۱۸۷	۰/۲۲۹	۰/۵۵۰	پیاز	۰/۲۰۱	۰/۲۲۷	۰/۵۳۱
ذرت دانه‌ای	۰/۲۰۷	۰/۲۲۵	۰/۵۲۲	گوجه فرنگی	۰/۲۰۰	۰/۲۱۱	۰/۵۱۳
نخود	۰/۱۸۹	۰/۲۲۶	۰/۵۴۵	خریزه	۰/۱۸۸	۰/۲۲۸	۰/۵۴۸
لوبیا	۰/۱۸۰	۰/۲۷۱	۰/۶۰۱	هندوانه	۰/۱۸۹	۰/۲۲۶	۰/۵۴۵
عدس	۰/۱۸۷	۰/۲۲۹	۰/۵۵۱	خیار	۰/۱۸۸	۰/۲۲۷	۰/۵۴۷
پنبه	۰/۱۹۶	۰/۲۲۷	۰/۵۳۷	یونجه	۰/۱۹۰	۰/۲۲۶	۰/۵۴۲
توتون و تنباکو	۰/۲۷۹	۰/۱۶۸	۰/۳۷۶	شیدر	۰/۱۹۵	۰/۲۱۲	۰/۵۲۱
چغندر قند	۰/۱۸۸	۰/۲۲۷	۰/۵۴۶	ذرت علوفه‌ای	۰/۱۹۸	۰/۲۱۲	۰/۵۱۸

جدول ۱۱- رتبه‌بندی محصولات کشاورزی آبی برای کشت در محدوده مورد مطالعه (دشت سومار)

رتبه	شاخص شباهت	نام محصول	رتبه	شاخص شباهت	نام محصول
۱	۰/۶۰۱	لوبیا	۱۱	۰/۵۴۵	هندوانه
۲	۰/۵۷۳	جو	۱۲	۰/۵۴۲	یونجه
۳	۰/۵۶۴	کلزا	۱۳	۰/۵۳۹	سیب زمینی
۴	۰/۵۵۱	عدس	۱۴	۰/۵۳۷	پنبه
۵	۰/۵۵۰	شلتوک	۱۵	۰/۵۳۱	پیاز
۶	۰/۵۴۸	خریزه	۱۶	۰/۵۲۲	ذرت دانه‌ای
۷	۰/۵۴۷	خیار	۱۷	۰/۵۲۱	شیدر
۸	۰/۵۴۷	گندم	۱۸	۰/۵۱۸	ذرت علوفه‌ای
۹	۰/۵۴۶	چغندر قند	۱۹	۰/۵۱۳	گوجه فرنگی
۱۰	۰/۵۴۵	نخود	۲۰	۰/۳۷۶	توتون و تنباکو

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی از جمله پدیده‌هایی است که دنیای کنونی از جمله ایران شاهد وقوع آن است. با توجه به رابطه مستقیم بین متغیرهای اقلیمی (دما و بارش) و تبخیر و تعرق گیاهی، تغییر اقلیم تاثیر مستقیمی بر نیاز آبی محصولات کشاورزی (دیم و غیر دیم) دارد. از تغییر الگوی کشت به عنوان یکی از راهکارهای تطبیق بدون هزینه در مقابله و کاهش زیان ناشی از تغییر اقلیم یاد می‌شود. عملیات زراعی در بسیاری از مناطق بایستی تغییر یابد. کشاورزان باید به این سطح از درک برسند که متوجه شوند باید نوع کشت، عملیات زراعی و ارقام کاشته شده تغییر یابند. این پژوهش در راستای ارائه یک راهکار برای انتخاب محصولات کشاورزی متناسب با شرایط اقلیمی، انجام شد.

در این تحقیق با ترکیب روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و تاپسیس، به طراحی یک الگوریتم برای انتخاب منطبق

مطابق جدول (۱۱) و بر اساس نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی در این تحقیق، محصولات لوبیا، جو، کلزا با شاخص های شباهت ۰/۶۰۱، ۰/۵۷۳ و ۰/۵۶۴ بیشترین تطابق و تنباکو، گوجه فرنگی و ذرت علوفه‌ای با شاخص‌های شباهت ۰/۳۷۶، ۰/۵۱۳ و ۰/۵۱۸ کمترین تطابق را با شرایط اقلیمی دشت سومار دارند. آنچه در جدول (۱۱) حائز اهمیت است، فاصله زیاد شاخص شباهت محصول توتون و تنباکو با سایر محصولات است ($C_i=0/376$)، این امر نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی دشت سومار برای کاشت این محصول اصلاً مناسب نیست. همچنین مقادیر شاخص شباهت برای محصولات عدس، شلتوک، خربزه، خیار، گندم، چغندر قند، نخود و هندوانه (رتبه‌های ۴ تا ۱۱) بسیار به یکدیگر نزدیک است و همین مسئله نشان‌دهنده تاثیر تقریباً یکسان شرایط اقلیمی منطقه بر محصولات مذکور است.

کشاورزی نیز مورد استفاده قرار گیرد. لذا ضرورت دارد اثرگذاری های پارامترهای اقلیمی در عملکرد محصولات راهبردی کشور برای مناطق و یا استان‌ها به‌طور جداگانه بررسی شود تا به این وسیله بتوان بهترین الگوی کشت را برای مناطق مختلف به‌دست آورد، البته به این منظور لازم است متخصصان زراعت، اقلیم شناسی و اقتصاددانان همکاری و رابطه نزدیکی با یکدیگر داشته باشند. همچنین، ارائه اطلاعات و مشاوره در مورد وضعیت آب و هوا برای کشاورزان در مرکزهای ترویج و خدمات کشاورزی می‌تواند باعث ارتقاء شناخت کشاورزان نسبت به میزان تاثیر پارامترهای اقلیمی بر عملکرد محصول شده و نقش مهمی در تصمیم‌گیری‌های آنان برای انتخاب محصولات سازگار با این شرایط آب و هوایی، ایفا کند.

REFERENCES

- Anaya-Romero, M., Abd-Elmabod, S. K., Muñoz-Rojas, M., Castellano, G., Ceacero, C. J., Alvarez, S., & De la Rosa, D. (2015). Evaluating soil threats under climate change scenarios in the Andalusia Region, Southern Spain. *Land Degradation & Development*, 26(5), 441-449.
- Angulo-Martínez, M., López-Vicente, M., Vicente Serrano, S. M., & Beguería, S. (2009). Mapping rainfall erosivity at a regional scale: a comparison of interpolation methods in the Ebro Basin (NE Spain).
- Balan, B., Mohaghegh, S., & Ameri, S. (1995). State-of-the-art in permeability determination from well log data: Part 1-A comparative study, model development. In *SPE Eastern Regional Meeting*. Society of Petroleum Engineers.
- Barnes, B. V., Zak, D. R., Denton, S. R., & Spurr, S. H. (1998). *Forest Ecology*. John Wiley & Sons. INC, Newyork.
- Borrelli, P., Diodato, N., & Panagos, P. (2016). Rainfall erosivity in Italy: a national scale spatio-temporal assessment. *International Journal of Digital Earth*, 9(9), 835-850.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A., & Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change*, 141(1), 123-137.
- Brookfield, H., & Stocking, M. (1999). Agrodiversity: definition, description and design. *Global environmental change*, 9(2), 77-80.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S., & Herrero, M. (2013). Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants. *Journal of environmental management*, 114, 26-35.
- Chen, S., Chen, X., & Xu, J. (2013). Impacts of climate change on corn and soybean yields in China. *Agricultural and Applied Economics Association 2013 AAEA and CAES joint Annual Meeting*, Washington, DC. 120-145.
- Fallsolyman, M., Hajipour, M., & Sadeghi, H. (2014). Performance comparison of multi index decision making (TOPSIS-AHP) for suitable site selection cultivation planting of pistachio in Mokhtaran plain of Birjand in GIS environment. *Journal of Geographical sciences*, 13(31), 133-155. (In Farsi)
- Finger, R. & Schmid, S. (2008) Modeling agricultural production risk and the adaptation to climate change. *Journsl of Agricultural Finance Review*, 12: 2541.
- Ghalegolab Behbahani, A., Khoshbakht, K., Tabrizi L., Davari, A., & Vaisi, H. (2013). A comparative assessment of agrobiodiversity indices in farms, gardens and home gardens (case study of jajrood basin). *Journal of Agroecology*, 5(2), 161-168. (In Farsi)
- Ghorbani, R. (2016). *General Ecology* (3^{ed} Ed.). Mashhad: Jahad daneshgahi. (In Farsi)
- Goldani, M., Bannayan, M. & Naderi M.R. (2017). Stratification of Isfahan province regarding crop plants biodiversity during 2003-2012. *Journal of Plan Research*, 30(1), 155-172. (In Farsi)
- Habibi, A. (2016). *Applied education of SPSS software* (4th Ed.). Pars Modir. (In Farsi)
- Isalou, A., Ebrahimzadeh, H., & Shahmoradi, B. (2014). Feasibility study of old inefficient urban area interference using analytical network process model: the case study of district 6 of Qom. *Journal of Geography and Development*, 12(34), 57-68. (In Farsi)
- Javadzadeh, M., & Saljooghianpour, M. (2018). Biodiversity of agronomical crops in Sistan and Balouchestan Province, Iran. *Agroecology Journal*, 14(2), 31-50. (In Farsi)
- Kamali, G.H., Sadaghianpour, A., Sedaghat Kerdar, A., & Asgari, A. (2008). The climatic zoning of

ترین محصولات کشاورزی با شرایط اقلیمی پرداخته و کاربرد آن در دشت سومار (استان کرمانشاه)، نشان داده شد (مطابق نتایج حاصل از این پژوهش، محصولات لوبیا، جو، کلزا بیش‌ترین تطابق را با شرایط اقلیمی محدوده طرح دارند). پیش‌شرط استفاده از الگوریتم طراحی شده، حساس بودن بوم نظام زراعی مورد بررسی نسبت به شرایط اقلیمی است و استفاده از آن، مستلزم در اختیار داشتن داده‌های اقلیمی و داده‌های مربوط به عملکرد محصولات در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این تحقیق از آن جهت مهم است که تعیین الگوی کشتی که با شرایط اقلیمی منطقه سازگار باشد، می‌تواند باعث افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش درآمد کشاورزان شود. به‌علاوه، الگوریتم ارائه شده در این تحقیق می‌تواند در انتخاب الگوی کشت مناسب برای اراضی جدید

- dryland wheat in Eastern Azarbaijan. *Journal of Water and Soil*, 22(2), 467-483. (In Farsi)
- Keshavarz, M. (2018). Addressing compatibility of the farm management strategies with climate changes: The casestudy of Fars prvince. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, 14(2), 107-123. (In Farsi)
- Kokic, P. Heaney, A. Pechey, L. Crimp, S. and Fisher, B. (2005). Predicting the impacts on agriculture: a case study Australian commodities. *Journal of climate change*, 12: 123-140.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hassanzadeh Aval, F., Mansoori, H., Amiri, S.R., Zarghani, H., & Karimian, M. (2013). Agrobiodiversity of vegetable crops in agroecosystems in Iran. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4(2), 1-12. (In Farsi)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Jafari, L. (2015). Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13 (4): 651-664. (In Farsi)
- Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M., Sharifi, H.R., Zand, E., & kamali, Gh.A. (2001). A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO₂ concentration in Mashhad conditions. *Journal of Desert*, 6(2), 117-127. (In Farsi)
- Labus, M. P., Nielsen, G. A., Lawrence, R. L., Engel, R., & Long, D. S. (2002). Wheat yield estimates using multi-temporal NDVI satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23(20), 4169-4180.
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton university press.
- Mahmoodi, A., & Rasoolzadeh, N. (2016). Determining investment priorities in agriculture sector in Qazvin province using hierarchical analysis method. *Journal of Agricultural Economics Researches*, 8(2), 1-16. (In Farsi)
- Massey Jr, F. J. (1951). The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American statistical Association*, 46(253), 68-78.
- Meffe, G., & Carroll, R. (1997). *Principles of Conservation Biology* 2nd Edition Sunderland. MA Sinauer Associates.
- Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A., & Diouf, A. (2009). Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental management*, 43(5), 804-816.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to linear regression analysis* (Vol. 821). John Wiley & Sons.
- Muñoz-Rojas, M., Pereira, P., Brevik, E. C., Cerdà, A., & Jordán, A. (2017). Soil Mapping and Processes Models for Sustainable Land Management Applied to Modern Challenges. In *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management* (pp. 151-190). Elsevier.
- Nassabian, Sh., & Sadr Alashrafi, M. (2004). Study of the effects of rainfall and temperature on strategic agronomy crops. *Journal of Agricultural Sciences*, 10(1), 35-50. (In Farsi)
- Rasooli, S.J., Nasiri Mahalati, M., Naseri Yazdi, M.T., & Ghorbani, R. (2016). Determining prediction model of canola yields based on agrometeorological and climatic parameters in Mashhad region of Iran. *Journal of Soil and Water and Soil*, 30(4), 1322-1333. (In Farsi)
- Reidsma, P., Lansink, A. O., & Ewert, F. (2009). Economic impacts of climatic variability and subsidies on European agriculture and observed adaptation strategies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(1), 35.
- Rencher, A. C., & Schaalje, G. B. (2008). *Linear models in statistics*. John Wiley & Sons.
- Safari Shali, R., & Getabi, K. (2015). *Comprehensive guide to using SPSS in survey research (quantitative data analysis)* (6th Ed.). Tehran: Loyeh. (In Farsi)
- Seo, S. N. (2013). An essay on the impact of climate change on US agriculture: weather fluctuations, climatic shifts, and adaptation strategies. *Climatic Change*, 121(2), 115-124.
- Seshadri, S., Hariharan, P., Chhatre, A., & Devalkar, S. (2016). Crop Diversification to Reduce Exposure to Climatic Changes: Associated Risks and Mitigation Strategies. *ISB Insight*.
- Smale, M., Meng, E., Brennan, J. P., & Hu, R. (2003). Determinants of spatial diversity in modern wheat: examples from Australia and China. *Agricultural Economics*, 28(1), 13-26.
- Stocking, M. (2001). Agrodiversity: a positive means of addressing land degradation and sustainable rural livelihoods. In *Land degradation* (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.
- Tatari, M., Koochekian, A., & Nasiri Mahalati, M. (2009). Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 7(2), 357-365. (In Farsi)
- Tavakoli, A., Liaghat, A., & Alizadeh, A. (2014). Determination of effective parameters on climate production functions for rainfed barley and sensitive analysis at cold and semicold regions of Lorestan province. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 3(2), 57-72. (In Farsi)
- Thrupp, L. A. (1998). Cultivating diversity: agrobiodiversity and food security. World Resources Institute.