



## اندازه‌گیری ریسک آتی عملکرد محصولات زراعی با استفاده از روش CVaR در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود

رضا حیدری کمال‌آبادی<sup>1</sup> - سید علی حسینی یکانی<sup>2\*</sup> - سید مجتبی مجاوریان<sup>3</sup> - علیرضا نیکویی<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 1396/04/14

تاریخ پذیرش: 1396/06/26

### چکیده

مدیریت ریسک نوین به دنبال انتخاب بهترین تکنیک‌ها برای حداقل کردن خطرات و پیامدهای ناشی از فرآیند تصمیم‌گیری است. همچنین تعیین ماهیت ریسک عملکرد محصولات زراعی نیز می‌تواند اطلاعات مفیدی در زمینه چگونگی مدیریت ریسک بخش کشاورزی فراهم نماید. لذا این مطالعه تلاش می‌کند تا روش جدیدی برای محاسبه ریسک عملکرد محصولات زراعی ناشی از تغییرات اقلیم را با استفاده از معیار CVaR در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود ارائه نماید. روش مطالعه شامل سه مرحله است: 1) تولید سناریوهای محتمل دما و بارش با استفاده از مدل‌های AOGCM؛ 2) تولید سناریوهای عملکرد محصولات زراعی منتخب؛ و 3) اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات کشاورزی با استفاده از دو معیار VaR و CVaR. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل لارس می‌تواند به خوبی تغییرات پارمترهای اقلیمی را شبیه‌سازی کند و الگوی ترکیبی ANN-PSO نیز دارای توانایی بالایی در پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی منتخب شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود است. علاوه بر این، نتایج محاسبه دو معیار VaR و CVaR در سطح اطمینان 95 درصد و در دوره آتی (1396-1426) نشان داد که مقادیر این دو معیار برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه به ترتیب برابر (۴۲۴۰، ۴۲۰۵)، (۴۰۶۲، ۴۰۵۷)، (۴۹۰۶۱، ۴۸۴۸۰) و (۱۰۸۷۵، ۱۰۷۴۳) کیلوگرم در هکتار است. همچنین مقایسه مقادیر این دو معیار با دوره گذشته (94-1362) نیز نشان داد که برای تمام محصولات منتخب، معیارهای VaR و CVaR در دوره آتی بزرگتر از دوره گذشته است. در نهایت استفاده از روش جدید برای محاسبه ریسک ناشی از تغییرات اقلیم در بخش کشاورزی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ارزش در معرض خطر، الگوی ANN-PSO، مدیریت ریسک، مدل‌های AOGCM

### مقدمه

دنبال انتخاب بهترین تکنیک‌ها برای حداقل‌سازی خطرات و پیامدهای ناشی از فرآیند تصمیم‌گیری است و این انتخاب، یکی از مراحل مهم فرآیند تصمیم‌گیری به شمار می‌رود (33 و 41). وجود نااطمینانی و تردید در میزان تولید کشاورزان، بر اهمیت و ضرورت علم مدیریت ریسک در بخش کشاورزی افزوده است. کشاورزان نیز به جای حداکثرسازی بازده یا اقتصادی عمل کردن، به طور معمول به دنبال حداقل کردن ریسک‌ها هستند. در واقع غفلت از مدیریت ریسک به معنای بی‌توجهی به فرصت‌هایی است که می‌تواند بخش کشاورزی را از هدف‌های توسعه دور کرده و زمینه ایجاد اختلال در فعالیت‌های کشاورزی و یا توقف آن‌ها را فراهم سازد. بنابراین ضرورت دارد که در اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌ها، مدیریت ریسک بخش کشاورزی به دقت لحاظ شود (40، 11 و 42).

تصمیم‌گیری کشاورزان در محیط ریسکی صورت می‌گیرد. نتایج فعالیت‌های کشاورزی به خاطر تأثیر عوامل متعدد با عدم قطعیت

مدیریت ریسک فرآیند شناسایی، ارزیابی، اقدامات کنترلی و بخصوص اصلاح ریسک‌های بالقوه‌ای است که موجب خسارت یا عدم تغییر وضع موجود می‌شود. مدیریت ریسک بر مبنای اصول مفهومی معتبر استوار است و بخش مهمی از فرآیند تصمیم‌گیری را تشکیل می‌دهد. بنابراین این علم در سال‌های اخیر جایگاه منحصر به فردی در ادبیات علمی یافته است. در حقیقت مدیریت ریسک نوین به

1 و 2 - به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیاران گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(\*) نویسنده مسئول: (Email: hosseiniyekani@gmail.com)

4- استادیار، بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

DOI: 10.22067/jead2.v31i3.65125

این بخش به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارد، به طوری که طی دو دهه اخیر، افزایش دما و کمبود بارندگی، بخش کشاورزی و ذخایر منابع آبی را با بحران مواجه ساخته است (13).

در زمینه ماهیت و اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات زراعی مطالعاتی صورت گرفته است. در برخی از مطالعات از روش اقتصادسنجی بهره گرفته شده است. برای نمونه پیش‌بهار و همکاران (27) آثار تغییرات اقلیمی بر عملکرد ذرت دانه‌ای در ایران را با استفاده از اقتصادسنجی فضایی و داده‌های پنلی در دوره 91-1370 در سه اقلیم سرد، معتدل و گرم مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر سه اقلیم، تغییرات اقلیمی به اندازه‌ای بوده است که به عنوان ریسک سیستماتیک شناسایی شود. همچنین بر اساس یافته‌های این تحقیق، کمبود بارش و افزایش دما از عوامل مؤثر بر عملکرد ذرت محسوب می‌شود. صبحی و همکاران (34) در مطالعه خود با استفاده از مدل خودرگرسیو با وقفه گسترده، اثر ریسک عملکرد بر واکنش عرضه غلات را طی دوره 85-1369 مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که ریسک عملکرد اثر منفی و معنی‌داری بر تابع بلندمدت واکنش عرضه گندم، جو و ذرت دارد و کشش این تابع نسبت به ریسک عملکرد در بلندمدت برای این سه محصول به ترتیب برابر 5/92، 4/98 و 6/09 می‌باشد. تهامی‌پور و سلامی (40) نیز در مطالعه خود به تعیین مناطق هم‌ریسک عملکرد سب‌زمینی از لحاظ ریسک سرمازدگی با استفاده از اقتصادسنجی فضایی پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که فقط در مورد کشت پایزه سب‌زمینی ریسک عملکرد ماهیت سیستماتیک دارد و شدت همبستگی فضایی بین مناطق هم‌ریسک تعیین شده متفاوت بوده و از 0/37 تا 0/72 در نوسان می‌باشد. در برخی از مطالعات نیز سناریوبندی سطوح ریسک‌پذیری مورد توجه قرار گرفته است. برای نمونه در مطالعه دلقندی و همکاران (9) با سناریوبندی میزان ریسک، به ارزیابی تأثیرات ریسک تغییر اقلیم بر عملکرد و فنولوژی رشد گندم در شهرستان اهواز پرداخته شده است. در این مطالعه نتایج مقایسه عملکرد گندم در شرایط تغییر اقلیم با دوره مینا نشان داد که با قبول ریسک 0/1، عملکرد در دوره‌های آتی 2015-2025 و 2070-2100 نسبت به دوره مینا به ترتیب 4 و 15 درصد کاهش می‌یابد. در پژوهشی با بهره‌گیری از نه مدل گردش جو عمومی (AOGCM)، روستایی و همکاران (32) به ارزیابی ریسک عملکرد زیست توده گیاه ذرت تحت تأثیر تغییر اقلیم طی دوره 2010-2039 پرداختند. آن‌ها در سه سطح ریسک 25، 50 و 75 درصد با استفاده از مدل AquaCrop به شبیه‌سازی زیست توده پرداختند و نتایج نشان داد که در سطح ریسک 50 درصد، مقدار زیست توده کاهش می‌یابد. در برخی دیگر از مطالعات ریسک محصولات زراعی با استفاده از مفهوم تابع تولید مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال در مطالعه قهرمان‌زاده و همکاران (11)، اثر متغیرهای اقلیمی بر ریسک عملکرد محصولات

همراه بوده و کشاورزان کنترلی روی آن ندارند. در چنین شرایطی یکی از اهداف کشاورزان پرهیز از ریسک است (3). رید و همکاران (29) بیان می‌کنند که کشاورزان با استفاده از تجارب گذشته راهبردهایی را به کار می‌گیرند که توانایی آن‌ها را برای مدیریت ریسک‌های آینده ارتقاء می‌دهد.

ریسک‌های سیستماتیک و آب و هوایی بزرگترین و مهم‌ترین ریسک در سیستم کشاورزی است و بخش کشاورزی نیز به دلیل تعاملات گسترده با محیط، بیشترین تأثیر را از پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد (11 و 39). تغییر در پارامترهای اقلیمی از جمله دما و بارندگی، از یک طرف عملکرد محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از طرف دیگر، پیامدهای اقتصادی بر تجارت، عرضه و قیمت محصولات کشاورزی به دنبال دارد (43). تغییرات اقلیم به دلیل پرنوسان بودن و غیر قابل پیش‌بینی بودن، ریسک تغییرات اقلیم را بوجود می‌آورد. ریسک تغییرات اقلیم با تغییرات بلندمدت دما و بارش و افزایش نوسانات در تغییرات آب و هوایی مشخص می‌شود و اثر متقابل آنها، رفتار پیچیده‌ای را روی بخش کشاورزی می‌گذارد (21). از اینرو آمادگی برای مقابله با اثرات این پدیده می‌تواند نقش مؤثری در کاهش زیان‌های احتمالی این پدیده داشته باشد. با توجه به شواهد علمی، ریسک‌های همراه با تغییرات اقلیمی دارای نوسان بالایی می‌باشند و فرآیند تصمیم‌گیری کشاورزان به خاطر شرایط اقتصادی و آب و هوایی نامطمئن خیلی پیچیده‌تر می‌شود (5 و 8).

یکی از آثار مربوط به پدیده تغییر اقلیم، آسیب‌هایی است که در بخش کشاورزی ایجاد می‌کند. وابستگی محصولات زراعی به تغییر اقلیم باعث می‌شود تا این عامل نقش تعیین‌کننده‌ای در بروز خسارت محصولات زراعی داشته باشند. از آنجا که حساسیت محصولات زراعی و آستانه تحمل آن‌ها در مقابل تغییرات دما و رطوبت در دوره‌های رشد متفاوت است، لذا تغییرات نامطلوب متغیرهای اقلیمی می‌تواند اثرات نامطلوبی بر عملکرد این محصولات بگذارد. در مجموع تغییرات اقلیم علاوه بر عملکرد محصولات کشاورزی بر ریسک عملکرد محصولات نیز اثر می‌گذارد. بنابراین تعیین ماهیت ریسک عملکرد محصولات زراعی می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای تعیین چگونگی مدیریت ریسک محصولات زراعی فراهم نماید (40 و 16).

حوضه زاینده‌رود به دلیل واقع شدن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و توزیع نامناسب بارندگی‌ها در آن از اهمیت خاصی برخوردار است (46). سیمای اقلیمی این حوضه، نمونه‌های مختلف آب و هوایی از فراخشک تا بسیار مرطوب را در بر می‌گیرد. میانگین سالانه دمای هوا از حدود 17 درجه سانتیگراد در نواحی پست کویری تا کمتر از 5 درجه سانتیگراد در ارتفاعات متغیر است. همچنین میانگین سالانه بارندگی در حوضه سد زاینده‌رود از حدود 50 میلی‌متر در مناطق کویری جنوب شرقی تا 1500 میلی‌متر در ارتفاعات کوه‌رنگ در غرب حوضه متغیر است (4). به همین دلیل، کشاورزی

1) مطالعه حاضر جهت اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات زراعی ناشی از تغییرات اقلیم از روش ارزش در معرض خطر به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری ریسک استفاده می‌نماید. (2) به طور معمول در محاسبه معیار ارزش در معرض خطر، از یک توزیع احتمال مشهور مانند توزیع نرمال، داده‌های تاریخی یا شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود، در حالی که هدف پژوهش حاضر محاسبه معیار ارزش در معرض خطر، بر اساس سناریوهای پیش‌بینی‌شده‌ای از عملکرد محصولات زراعی است. (3) جهت ایجاد سناریوهای آتی عملکرد محصولات زراعی، از الگوی ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم ازدحام ذرات<sup>1</sup> (PSO) استفاده می‌شود که تاکنون از آن برای پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی استفاده نشده است.

### مواد و روش‌ها

همان‌طور که عنوان شد، هدف از انجام این مطالعه، اندازه‌گیری ریسک محصولات زراعی در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود با استفاده از معیار ارزش در معرض خطر شرطی، سناریوهای تولید عملکرد محصولات زراعی حاصل از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (AOGCM) و الگوی ترکیبی شبکه عصبی با الگوریتم ازدحام ذرات در طی سال‌های 1396 الی 1426 می‌باشد. در این مطالعه حداقل کردن این ریسک‌ها، با استفاده از حداقل‌سازی معیار ارزش در معرض خطر شرطی صورت می‌گیرد. جهت حداقل‌سازی ارزش در معرض خطر مربوط به عملکرد محصولات زراعی، نیاز به داشتن تابع توزیع احتمال است. به طور معمول روش‌های محاسبه ارزش در معرض خطر شامل روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک است. در روش‌های ناپارامتریک، توزیع احتمال بر اساس داده‌های تاریخی یا روش مونت-کارلو شبیه‌سازی شده و در روش‌های پارامتریک لازم است توزیع احتمال مشهوری (از قبیل توزیع نرمال) برای متغیر تحت بررسی در نظر گرفته شود (36). در این مطالعه، توزیع احتمال مناسب برای حداقل‌سازی CVaR، از طریق استخراج سناریوهای محتمل برای عملکرد محصولات زراعی صورت می‌گیرد. این توزیع احتمال، بر اساس سناریوهای پیش‌بینی‌شده‌ای استخراج می‌شود که در آن عملکرد پیش‌بینی می‌گردد. شکل (1)، نمایی از خلاصه مدل مفهومی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

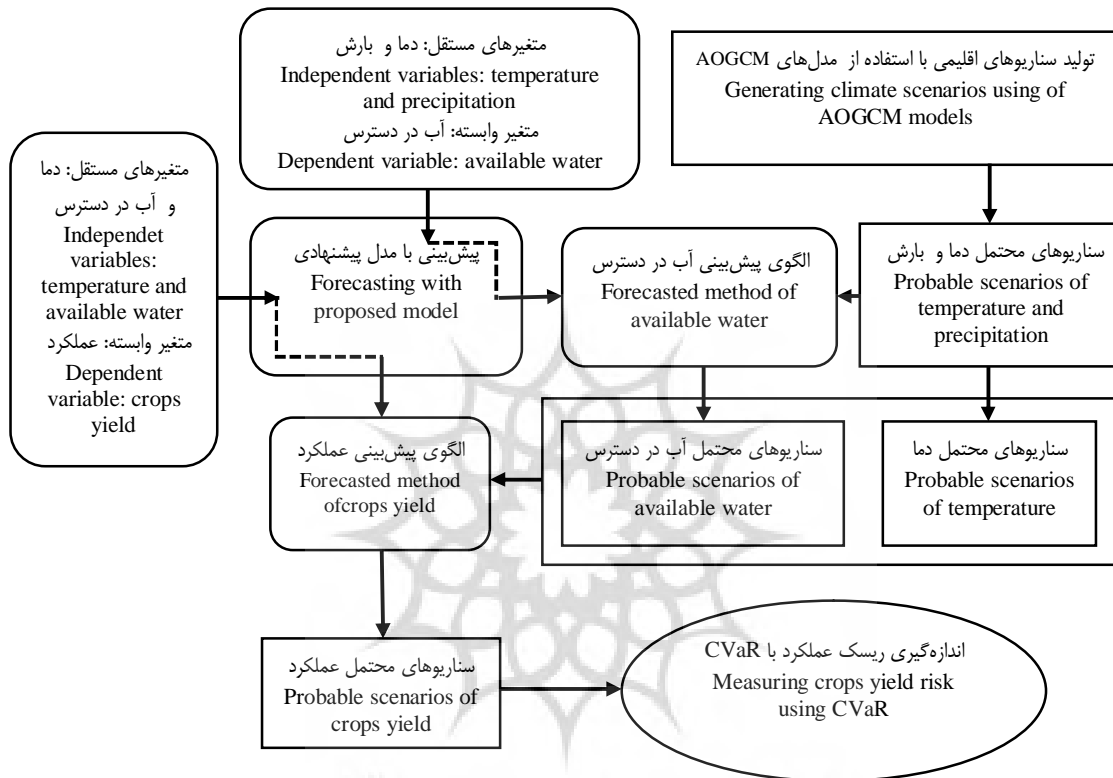
بر اساس شکل (1)، اندازه‌گیری ریسک عملکرد با استفاده از معیار ارزش در معرض خطر بر اساس «سناریوهای محتمل عملکرد در دوره آتی» است که خود از ورود «سناریوهای محتمل دما» و «سناریوهای محتمل آب در دسترس» به بهترین الگوی تخمین زده شده توسط

گندم و ذرت در استان قزوین با استفاده از تابع تولید تصادفی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین حداکثر دما و سرعت باد در دوره رشد اثر مثبتی بر ریسک عملکرد گندم داشته و هر دو نهاده افزایش‌دهنده ریسک می‌باشند. همچنین حداکثر و حداقل دمای دوره رشد و بارندگی تجمعی اثر معنی‌داری بر عملکرد ذرت دارند، ضمن اینکه متغیر حداکثر دما و بارندگی تجمعی نیز کاهنده ریسک می‌باشند. اثر تغییرات اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصولات کشاورزی با استفاده از توابع تولید برای محصولات برنج کره جنوبی (17 و 18)، بادام زمینی بلغارستان (22)، ذرت، سویا و گندم کانادا (6) و نیز گندم پاکستان (2) مورد بررسی قرار گرفته است.

بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه اثرات اقتصادی تغییرات اقلیم نشان می‌دهد که تغییرات اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی و ریسک آن اثر قابل توجهی دارد. علاوه بر این، نتایج این مطالعات بیانگر آن است که جهت اندازه‌گیری ریسک تغییرات اقلیم از روش‌هایی مانند اقتصادسنجی، سناریوبندی، استفاده از توابع تولید تصادفی و مقادیر آستانه‌ای پارامترهای اقلیمی مانند حداکثر و حداقل دما استفاده شده است. در حالی که به نظر می‌رسد استفاده از این روش‌ها نمی‌تواند مفهوم اقتصادی ریسک ناشی از تغییرات اقلیم را اندازه‌گیری نماید. همچنین در زمینه اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات زراعی ناشی از تغییرات اقلیم با استفاده از معیار ارزش در معرض خطر مبتنی بر تولید سناریوهای عملکرد حاصل از خروجی مدل‌های جو گردش عمومی (AOGCM)، تاکنون مطالعه‌ای در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود صورت نگرفته است.

گرچه تاکنون مطالعات مختلفی در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی در ایران انجام شده است ولی در اکثر این تحقیقات عمدتاً بر شاخص‌های اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر ریسک عملکرد محصولات کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است (20). علاوه بر این، در اکثر آن‌ها عدم قطعیت‌های مربوط به تغییر در پارامترهای اقلیمی نادیده گرفته شده است. این امر می‌تواند نتایج غیر کاربردی و غیر منطقی را بدنبال داشته باشد. ضعفی که در تمامی پژوهش‌های مذکور دیده می‌شود عدم دخالت عدم قطعیت‌های ناشی از مدل‌های گردش عمومی جو بوده که از مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در مطالعات اقلیمی به حساب می‌آیند (31). همچنین به نظر می‌رسد مطالعه‌ای تاکنون به بررسی حداقل‌سازی ریسک عملکرد محصولات زراعی ناشی از تغییرات اقلیم، با استفاده از ابزارهای نوین مدیریت ریسک از جمله ارزش در معرض خطر در حوضه زاینده‌رود انجام نشده باشد. بنابراین هدف مطالعه حاضر اندازه‌گیری ریسک محصولات زراعی در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود در طی سال‌های 1396 الی 1426 می‌باشد. در واقع نوآوری‌های این مطالعه را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

الگوی پیشنهادی (به عنوان وردی‌های مدل) بدست می‌آید.



شکل 1- مدل مفهومی مورد استفاده در مطالعه حاضر (یافته‌های محققان)  
 Figure 1- The used concept model in this study (researchers results)

«روش‌های کوچک‌مقیاس کردن» ارائه شده است (23). همچنین یکی از معروف‌ترین الگوهای مولد داده‌های تصادفی هوا که کوچک مقیاس کردن خروجی‌های مدل AOGCM در آن انجام می‌شود، الگوی LARS-WG است که برای تولید داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (37).

از طرف دیگر، در تمامی مراحل مختلفی که در آن شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های AOGCM صورت می‌گیرد، منابع عدم قطعیت مختلفی وجود دارد. بنابراین بحث عدم قطعیت در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نقش پررنگی خواهد داشت. بسیاری از تحقیقات نیز جهت لحاظ نمودن عدم قطعیت، در نظر گرفتن تعداد حداکثری مدل‌های اقلیمی آینده را مورد استفاده قرار داده‌اند (24) و (15). در این مطالعه نیز جهت لحاظ نمودن عدم قطعیت از تمامی خروجی‌های مدل‌های AOGCM معرفی شده توسط IPCC و هر سه سناریوهای انتشار A2، B1 و A1B استفاده می‌شود (38). با

سناریوهای محتمل دما نیز حاصل خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (AOGCM) است و «سناریوهای محتمل موجودی آب در دسترس» نیز از وارد کردن «سناریوهای دما و بارش دوره آتی» در الگوی پیش‌بینی آب در دسترس بدست می‌آید. «سناریوهای بارش دوره آتی» نیز (همانند سناریوهای محتمل دما) حاصل خروجی مدل‌های AOGCM است. بنابراین روش مطالعه شامل مراحل ذیل است.

1) تولید سناریوهای محتمل دما و بارش با استفاده از مدل‌های AOGCM:

امروزه، یکی از بهترین ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو است (44). اما مشکل عمده در استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آن‌ها، نسبت به منطقه مورد بررسی است. برای رفع این مشکل روش‌های گوناگونی تحت عنوان

بهینه‌ساز شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف از این الگوریتم کمینه کردن تابع هزینه است (1).

در این مطالعه برای پیش‌بینی موجودی آب در دسترس، متغیر مستقل شامل دما و بارش باران است. برای عملکرد نیز متغیرهای مستقل شامل «موجودی آب در دسترس»، «درجه روز-رشد»، «کمبود فشار بخار در طول فصل رشد» بوده و این متغیرها بر اساس داده‌های دما و بارش قابل محاسبه هستند (31). از آنجا که متغیر آب در دسترس به عنوان یکی از ورودی‌های عملکرد است، لازم است ابتدا این متغیر با استفاده از الگوی ترکیبی تخمین زنده شود. متغیر درجه روز-رشد (GDD) مجموع دما در طول دوره رشد را اندازه‌گیری می‌کند و به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$GDD = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{T_h - T_l}{2} - T_b \right] \quad (2)$$

در این رابطه  $T_h$  حداکثر دمای روزانه،  $T_l$  حداقل دمای روزانه،  $T_b$  دمای پایه (حداقل دمایی که گیاه قابلیت رشد دارد می‌باشد. متغیر کمبود فشار بخار (VPD) نیز نشان‌دهنده اختلاف بین مقدار آبی است که هوا می‌تواند در نقطه اشباع نگه دارد و مقدار آبی که هوا در حال حاضر نگه می‌دارد. کمبود فشار بخار، با رطوبت نسبی و تغییر درجه حرارت روزانه مرتبط است. در حقیقت با پوشیدگی ابر کمتر و تابش خورشیدی بیشتر این متغیر موجب افزایش عملکرد می‌شود. این معیار برای کل فصل رشد به صورت رابطه (3) محاسبه می‌شود.

$$VPD = 0.6107 \left[ e^{\frac{12.269 \times T_h}{273.3 + T_h}} - e^{\frac{12.269 \times T_l}{273.3 + T_l}} \right] \quad (3)$$

رابطه (3) نشان می‌دهد که VPD به صورت نمایی با دما مرتبط است. بنابراین افزایش یکنواخت دمای حدکثر و دمای حداقل تا حدود زیادی VPD را افزایش می‌دهد (31).  
(3) اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات کشاورزی با استفاده از معیار VaR و CvaR:

در حال حاضر یکی از برجسته‌ترین شاخص‌های اندازه‌گیری ریسک نامطلوب، معیار ارزش در معرض خطر (VaR)<sup>3</sup> است که حداکثر میزان زیان انتظاری یک متغیر را برای یک دوره زمانی و سطح اطمینان مشخص اندازه‌گیری می‌کند (14 و 7). این معیار دارای نواقص و مشکلاتی از قبیل غیر محذب بودن، عدم کارایی در توزیع‌های گسسته، پیچیدگی و فقدان خواص محاسباتی مطلوب ریاضی است. به همین جهت معیار ارزش در معرض خطر شرطی (CVaR) معرفی شد که علاوه بر داشتن ارتباط بسیار نزدیک با معیار VaR، دارای کارایی و مزیت‌های بیشتری نیز نسبت به آن است. در واقع شاخص CVaR نشان‌دهنده بیشترین زیان مورد انتظار در صورت

نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوهای انتشار، در مجموع 44 سناریو محتمل ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر برای دوره 1396-1426 در منطقه مورد مطالعه (شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود) می‌توان 44 سناریو دما و بارش را استخراج نمود.  
(2) سناریوهای عملکرد محصولات زراعی و موجودی آب در دسترس در دوره آتی:

تولید سناریوهای عملکرد و موجودی آب در دسترس با استفاده از الگوی ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) صورت می‌گیرد. شبکه عصبی پرسپترون چندلایه اولین بار توسط روزنبلات (1958) مطرح شد. این نوع شبکه یکی از الگوهای غیرخطی است که دارای انعطاف‌پذیری بالایی برای الگوسازی طیف وسیعی از مسائل غیرخطی است. مهم‌ترین مزیت این مدل‌ها در مقایسه با سایر الگوهای غیرخطی این است که این نوع شبکه‌های عصبی تخمین زنده‌های جامع بوده و می‌توانند طیف وسیعی از توابع را با درجه دقت بالا تقریب بزنند (26). پرسپترون چندلایه یک ترکیب استاندارد از ورودی‌ها، واحدهای عصبی خطی و خروجی‌ها می‌باشد. لایه‌های پردازش لایه ورودی همگی خطی هستند ولی در لایه مخفی از نرون‌ها با تابع تانژانت سیگموئید، هایپربولیک یا هر تابع غیر خطی و پیوسته مشتق‌پذیر دیگری می‌توان استفاده کرد (25). الگوریتم ازدحام ذرات نیز یکی از مهم‌ترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند است که توسط جیمز کندی و راسل سی ابرهاردت در سال 1995 معرفی شد. این الگوریتم با الهام از رفتار اجتماعی حیواناتی چون ماهی‌ها و پرندگان که در گروه‌هایی کوچک و بزرگ کنار هم زندگی می‌کنند، طراحی شده است (12). الگوریتم PSO با تعدادی پاسخ اولیه (ذرات) شروع به کار می‌کند و با حرکت دادن این پاسخ‌ها در طی تکرارهای متوالی، به دنبال یافتن جواب بهینه برای مسأله است. در هر تکرار دو مقدار GBest (مکان بهترین مقدار شایستگی که هر ذره در طول حرکت خود، به آن رسیده است) و PBest (مکان بهترین ذره در جمعیت فعلی) مشخص می‌شوند. پس از یافتن مقادیر، سرعت حرکت ذرات از رابطه و نیز مکان بعدی هر ذره از رابطه محاسبه می‌شود.

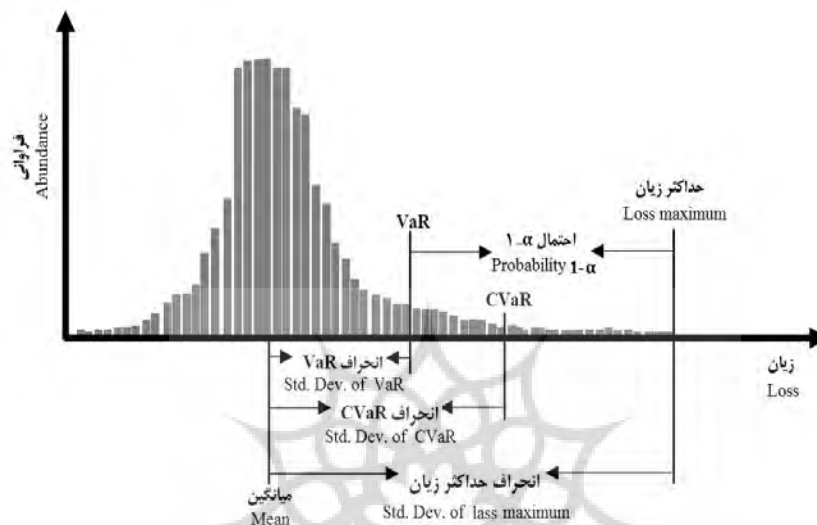
$$V_i^{t+1} = w \times V_i^t + c_1 r_1 \times (Pbest_i - x_i^t) + c_2 r_2 \times (Gbest_i - x_i^t) \quad (1)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + V_i^{t+1}$$

در این روابط مقادیر  $\Gamma_1$  و  $\Gamma_2$ ، عددی تصادفی بین صفر و یک هستند و ضرایب  $C_1$  و  $C_2$  هم که ضرایب یادگیری نامیده می‌شوند (28). نحوه ترکیب شبکه عصبی با الگوریتم ازدحام ذرات به این صورت است که به جای آموزش شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر گرادیان، از الگوریتم تکاملی ازدحام ذرات استفاده می‌شود. به بیان دیگر الگوریتم‌های تکاملی به عنوان الگوریتم

داده شده است (35).

بروز شرایط بد با احتمال معین است (19 و 10). تفاوت دو معیار ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی در شکل (2) نشان



شکل 2- موقعیت ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی (35)  
Figure 2- The position of Value at Risk and Conditional Value at Risk (35)

ایران، شرکت آب منطقه‌ای اصفهان و سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان اخذ شده است. به طور معمول داده‌های سری زمانی که برای استفاده در شبکه‌های عصبی به کار می‌رود، به دو بخش داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش تقسیم‌بندی می‌شوند. در این مطالعه داده‌های لازم برای پیش‌بینی به دو بخش تقسیم شد، 80 درصد داده‌ها برای آموزش و 20 درصد داده‌های انتهایی دوره نیز برای ارزیابی قدرت پیش‌بینی در نظر گرفته شد. در مطالعه حاضر جهت پیاده‌سازی الگوی ترکیبی PSO از نرم‌افزار MATLAB2013 استفاده شد. همچنین جهت ارزیابی قدرت پیش‌بینی الگوی مورد نظر از شاخص‌های RMSE، MAPE و MAE استفاده شد که فرمول‌های مربوطه در ذیل آمده است (45).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100 \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m |y_i - \hat{y}_i| \quad (6)$$

### نتایج و بحث

همان‌طور که عنوان شد، برای انجام این تحقیق لازم است سه

محاسبه معیار ارزش در معرض خطر به صورت پارامتری و ناپارامتری انجام می‌شود. به طور معمول در مدل‌های پارامتری از روش واریانس-کواریانس استفاده می‌شود و نکته مهم در این روش، استفاده از تابع توزیع مناسب برای تغییرات متغیر مورد بررسی است. اما در روش‌های ناپارامتری، لازم به در نظر گرفتن توزیع خاصی برای متغیر تحت بررسی نیست. یکی از روش‌های ناپارامتری برای محاسبه ارزش در معرض خطر، روش «شبیه‌سازی تاریخی» است. مزیت این روش این است که نیازمند لحاظ نمودن هیچ‌گونه فرضی در مورد توزیع داده‌ها نیست و با وجود زمان‌بر بودن و داشتن محاسبات بیشتر، انعطاف‌پذیری بیشتری داشته و اغلب محاسبات دقیق‌تری ارائه می‌نماید. در این روش، ارزش در معرض خطر به عنوان چارک یا صدکی از توزیع تجربی بازده‌های تاریخی برآورد می‌شود (30 و 36). در مطالعه حاضر نیز (با توجه به نرمال نبودن توزیع سناریوهای عملکرد محصولات زراعی) از رویکرد مشابه شبیه‌سازی تاریخی استفاده می‌شود.

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل آمار روزانه دما و بارش و ساعت آفتابی، آمار سالانه آب‌های در دسترس (شامل آب‌های سطحی شبکه‌های زاینده‌رود و آب‌های زیرزمینی) و عملکرد سالانه محصولات کشاورزی (محصولات جو، گندم، ذرت علوفه‌ای و یونجه به عنوان محصولات عمده حوزه کشاورزی زاینده‌رود) است که به ترتیب از سازمان‌های هواشناسی کل کشور، سازمان منابع آب

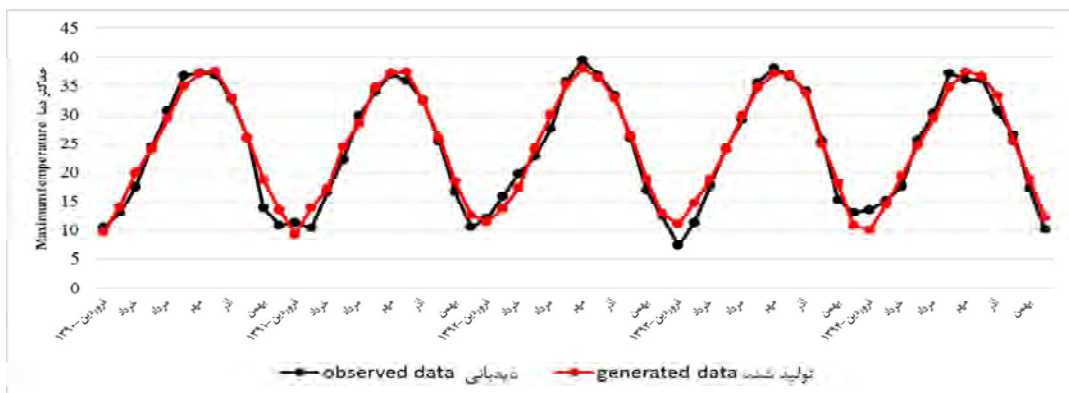
مدل لارس در نظر گرفته شد. جهت مقایسه خروجی‌های الگو با داده‌های دیده‌بانی شده از نمودارهای مقایسه‌ای استفاده گردید. به عنوان نمونه شکل‌های (3)، (4) و (5)، مقادیر حداکثر دما، حداقل دما و بارش برای داده‌های دیده‌بانی شده و تولید شده برای سناریو A1B مدل HADCM3، مربوط به ایستگاه اصفهان را نشان می‌دهد.

با توجه به این شکل‌های 3، 4 و 5 ملاحظه می‌شود که الگو به خوبی توانسته است به ترتیب تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش را طی ماه‌های مختلف شبیه‌سازی کند. مقادیر معیار ارزشیابی RMSE برای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش به ترتیب برابر 1/49، 1/77 و 14/25 می‌باشد.

مرحله سوم اجرای الگوی لارس شامل ایجاد داده‌های هواشناسی برای دوره آتی است. پس از بررسی نتایج مرحله ارزیابی و اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی، در ادامه کار ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو و تولید داده مصنوعی برای دوره 1396-1426 با استفاده از سناریوهای A1B، B1 و A2 تأیید شده توسط IPCC، اجرا شده و بدین ترتیب مقادیر روزانه پارامترهای مذکور برای دوره آتی تولید شد.

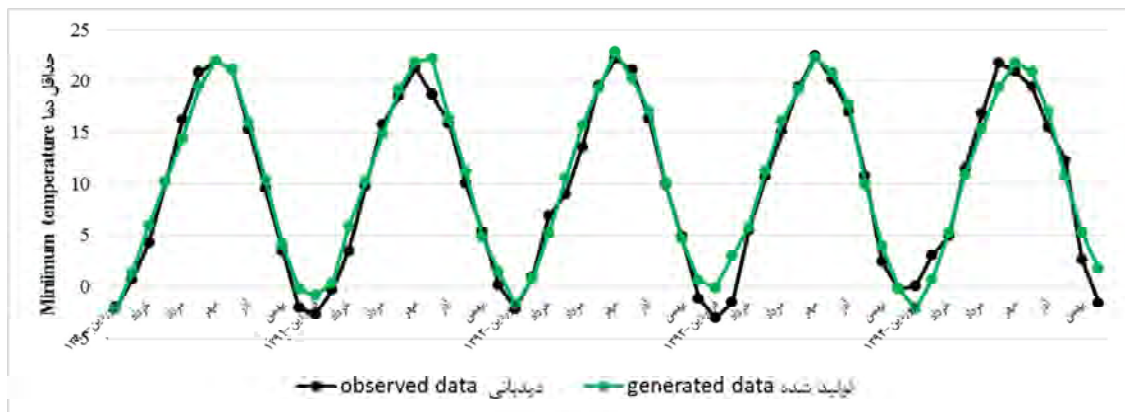
از آنجا که نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ترجیحی بین عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی تغییرات اقلیم وجود ندارد و جهت پوشش عدم قطعیت این مدل‌ها لازم است از تمام مدل‌ها و سناریوهای مربوط به آن‌ها استفاده شود، بنابراین در این مطالعه از تمام مدل‌های الگوی LARS-WG 5.5 استفاده شد. از اینرو، در هر از ایستگاه‌های اصفهان، کبوترآباد، کوه‌رنگ و داران، 44 سناریو حداکثر دما، حداقل دما و بارش برای هر سال و به صورت داده‌های روزانه تولید شد.

مرحله طی شود. مرحله اول شامل تولید سناریوهای محتمل دما و بارش بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو است. با در دست داشتن شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های گذشته با استفاده از مدل‌های AOGCM، می‌توان با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته، سناریوی تغییر اقلیم آن متغیر را به دست آورد. در این مطالعه جهت تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش در دوره آتی از آخرین نسخه نرم‌افزار لارس (LARS-WG 5.5) استفاده شد. در واقع LARS-WG یکی از معروف‌ترین الگوهای مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید داده‌های روزانه بارش، تابش، بیشینه و کمینه دمای یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. الگوی لارس از سه بخش آماده‌سازی داده‌های ورودی، صحت‌سنجی و ایجاد داده‌های هواشناسی تشکیل شده است. در مرحله آماده‌سازی داده‌های ورودی، لازم است تا داده‌های «دوره پایه» مشخص شوند. از آنجا که تولید سناریوهای اقلیمی در نرم‌افزار لارس از سال 2011 انجام می‌شود، داده‌های دیدبانی برای هر ایستگاه تا سال 2010 به عنوان داده‌های دوره پایه در نظر گرفته شد. برای تولید سناریوهای دما و بارش دوره‌های آتی توسط مدل‌های گردش عمومی جو، نیاز به پارامترهای روزانه حداکثر دما، حداقل دما، میزان بارش و ساعات آفتابی در یک دوره زمانی بلندمدت است. بررسی اولیه نیز نشان داد که همه ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه سینوپتیک نبوده و یا دارای آمار بلندمدت نبوده و یا دارای داده‌های گم‌شده فراوانی هستند. بنابراین با توجه به آمارهای روزانه موجود، ایستگاه‌های اصفهان، کبوترآباد، کوه‌رنگ و داران برای تولید سناریوهای اقلیمی انتخاب گردید. پس از تهیه سری زمانی روزانه داده‌های اقلیمی، داده‌ها وارد مدل لارس گردید. گام دوم شامل صحت‌سنجی مدل لارس است. داده‌های دوره 94-1390 برای صحت‌سنجی خروجی

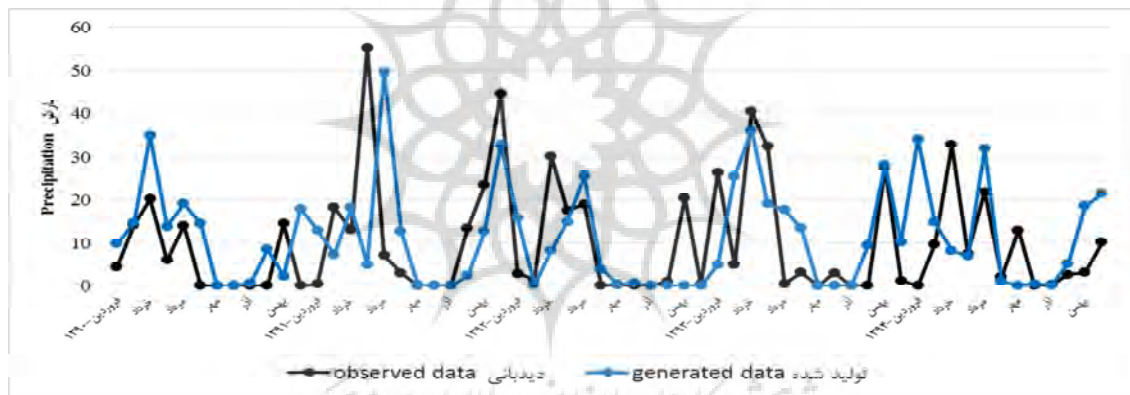


شکل 3- مقایسه مقادیر ماهانه حداکثر دما برای داده‌های تولید شده و دیدبانی در دوره 94-1390 (یافته‌های تحقیق)

Figure 3- The comparison of the monthly maximum temperature values for generated and observed data in period of 2011-2015 (research results)



شکل 4- مقایسه مقادیر ماهانه حداقل دما برای داده‌های تولید شده و دیدبانی در دوره 94-1390 (یافته‌های تحقیق)  
 Figure 4- The comparison of the monthly minimum temperature values for generated and observed data in period of 2011-2015 (research results)



شکل 5- مقایسه مقادیر ماهانه میزان بارش برای داده‌های تولید شده و دیدبانی در دوره 94-1390 (یافته‌های تحقیق)  
 Figure 5- The comparison of the monthly precipitation values for generated and observed data in period of 2011-2015 (research results)

مقادیر مربوط به متغیرهای GDD و VPD به همراه حجم آب‌های در دسترس (طی همین دوره زمانی) به عنوان متغیر مستقل و عملکرد محصولات زراعی به عنوان متغیر وابسته، وارد الگوی ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم ازدحام ذرات می‌شود. روند تولید سناریوهای آب‌های در دسترس نیز مشابه روند تولید سناریوهای عملکرد محصولات زراعی است. در واقع داده‌های حداکثر دما، حداقل دما و میزان بارش به عنوان متغیر مستقل و هر یک از آب‌های سطحی و زیرزمینی به عنوان متغیر وابسته در الگوی ترکیبی پیشنهادی وارد شده و بهترین الگوی پیش‌بینی مشخص می‌شود. جهت دستیابی به سناریوهای آب‌های در دسترس نیز مقادیر حجمی آب‌های سطحی و زیرزمینی جمع می‌گردد.

در این مطالعه جهت انتخاب بهترین الگوی پیش‌بینی ترکیب شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم ازدحام ذرات، از روش آزمون و خطا استفاده شد. در واقع در طراحی مدل شبکه عصبی

مرحله دوم روش تحقیق این مطالعه شامل تولید سناریوهای آب در دسترس و عملکرد محصولات زراعی است. در واقع هدف نهایی در این مرحله تولید سناریوهای عملکرد محصولات زراعی است، لذا لازم است با استفاده از سناریوهای آب‌های در دسترس به همراه سناریوهای مربوط به متغیرهای درجه روز-رشد (GDD) و کمبود فشار بخار (VPD) (که با استفاده از سناریوهای حاصل از خروجی مرحله قبل قابل محاسبه است) به عنوان ورودی در بهترین الگوی پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی وارد شده و خروجی آن سناریوهای عملکرد محصولات زراعی باشد.

برای انتخاب بهترین الگوی پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی از داده‌های تاریخی استفاده می‌شود. بدین صورت که در ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه حداکثر دما و حداقل دما، متغیرهای GDD و VPD برای دوره زمانی 1362-1394 و برای چهار محصول گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه محاسبه شد. سپس



پنهان و انتخاب الگوریتم‌های مناسب آموزش شبکه، حاصل می‌شود. در این مطالعه جهت رفع نواقص موجود در آموزش شبکه عصبی پرسپترون نیز از الگوریتم ازدحام ذرات استفاده شد که توانایی بالایی در بهینه کردن آموزش این شبکه دارد. جدول (1) ویژگی‌های الگوی بهینه ترکیب شبکه عصبی با الگوریتم ازدحام ذرات را نشان می‌دهد.

روش‌های سیستماتیک برای تعیین تعداد نرون‌های هر لایه و تعداد تکرارها وجود ندارد، بنابراین بهترین طراحی شبکه با استفاده از تجزیه و آزمون و خطا به دست می‌آید. یک الگوی ترکیبی بر پایه شبکه عصبی مصنوعی دقیق، کارآمد و با قابلیت تعمیم‌پذیری بالا با انتخاب صحیح و مناسب تعداد متغیرهای ورودی (مانند اوزان اولیه)، تابع محرک مناسب، تعداد لایه‌های میانی، تعداد نرون لایه‌های

جدول 1- مشخصات الگوی ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون با الگوریتم ازدحام ذرات  
Table 1- Characteristics of combined pattern ANN with PSO (ANN-PSO)

پارامتر Parameter	مقدار پارامتر Parameter value	پارامتر Parameter	مقدار پارامتر Parameter value
نوع شبکه عصبی Type of neural network	پرسپترون چندلایه MLP	تعداد نرون‌های لایه ورودی Neurons number of input layer	3
الگوریتم آموزش Training algorithm	PSO	تعداد نرون‌های لایه میانی Neurons number of middle layer	6
تابع محرک Driving function	تانژانت سیگموئید Tangent sigmoid	تعداد نرون‌های لایه خروجی Neurons number of output layer	1
تعداد لایه‌های شبکه network layers number	3	جمعیت اولیه الگوریتم The initial population of algorithm	200

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Resource: research results

جدول 2- مقایسه دقت پیش‌بینی الگوی ترکیبی شبکه عصبی - الگوریتم ذرات با مدل شبکه عصبی پرسپترون  
The comparison of forecasting accuracy both ANN-PSO combined method and MLP-NN model

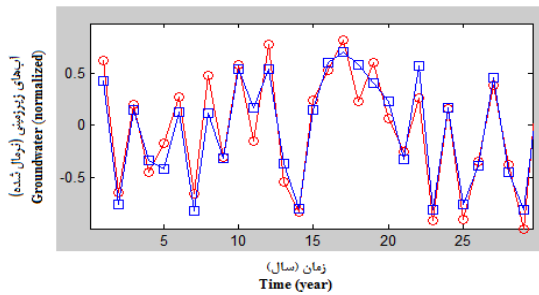
متغیر پیش‌بینی شده	الگوی ANN-PSO ANN-PSO method			مدل MLP-NN MLP-NN model		
	شاخص MAE	شاخص MAPE	شاخص RMSE	شاخص MAE	شاخص MAPE	شاخص RMSE
	MAE index	MAPE index	RMSE index	MAE index	MAPE index	RMSE index
گندم Wheat	288.29	5.14	232.02	260.24	5.86	322.42
جو Barley	97.87	1.97	81.79	120.17	2.95	154.92
یونجه Alfalfa	324.20	2.85	312.92	478.42	4.38	544
ذرت علوفه‌ای Maize	1724.65	2.84	1457.26	1994.72	3.88	2206
آب‌های در دسترس Available water	81.76	18.27	74.00	383.52	44	399.49

مأخذ: یافته‌های تحقیق

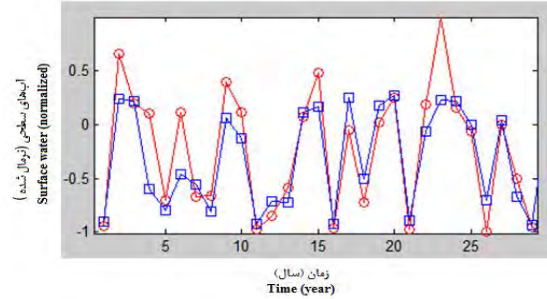
Resource: research results

شبکه عصبی پرسپترون بیشتر است. شکل‌های (6) و (7) به ترتیب نمودار مربوط به فرآیند آموزش بهترین الگوی پیش‌بینی برای آب‌های در دسترس و عملکرد محصولات زراعی (گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه) را نشان می‌دهد. این نمودارها بیانگر میزان دقت آموزش شبکه عصبی در پیش‌بینی می‌باشد. در واقع هر چه دو نمودار برهم منطبق‌تر باشند، میزان عملکرد آموزش شبکه بهتر صورت گرفته است.

پس از تعیین مقادیر بهینه، الگوی ANN-PSO چندین مرتبه اجرا شد و مدل ترکیبی با کمترین شاخص‌های MAPE، RMSE و MAE به عنوان الگوی پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی انتخاب شد. همچنین با استفاده از معیارهای فوق، دقت پیش‌بینی الگوی ترکیبی ANN-PSO با مدل شبکه عصبی پرسپترون مقایسه شد. نتایج حاصل از این مقایسه در جدول 2 آمده است. نتایج این جدول نشان داد که قدرت پیش‌بینی الگوی ترکیبی پیشنهادی از مدل

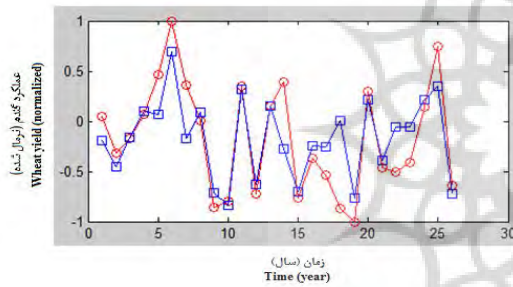


نمودار آموزش ترکیبی برای آب‌های زیرزمینی  
Training graph of combined method for groundwater

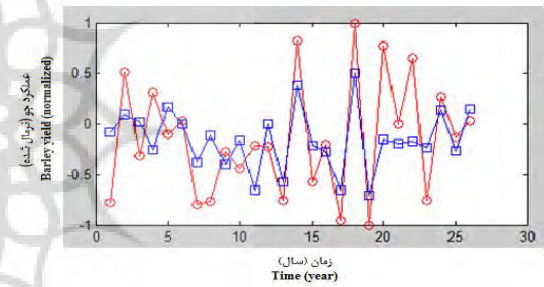


نمودار آموزش مدل ترکیبی برای آب‌های سطحی  
Training graph of combined method for surface water

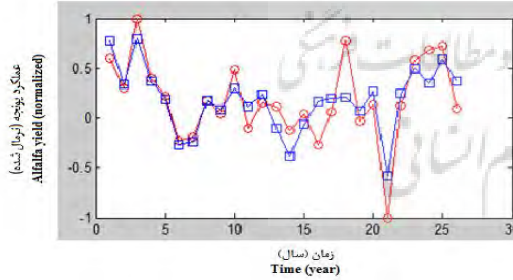
شکل 6- نمودارهای آموزش الگوی ترکیبی شبکه عصبی - الگوریتم ذرات برای آب‌های در دسترس (یافته‌های تحقیق)  
Figure 6- Training graphs of ANN-PSO combined method for available water (research results)



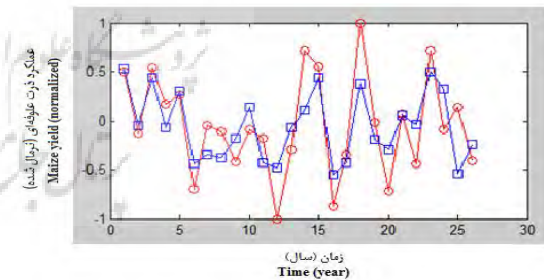
نمودار آموزش الگوی ترکیبی برای عملکرد گندم  
Training graph of combined method for wheat yield



نمودار آموزش الگوی ترکیبی برای عملکرد جو  
Training graph of combined method for barley yield



نمودار آموزش الگوی ترکیبی برای عملکرد یونجه  
Training graph of combined method for alfalfa yield

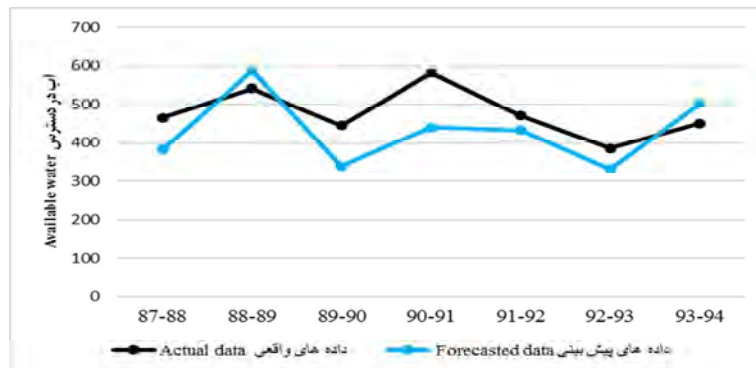


نمودار آموزش الگوی ترکیبی برای عملکرد ذرت علوفه‌ای  
Training graph of combined method for maize yield

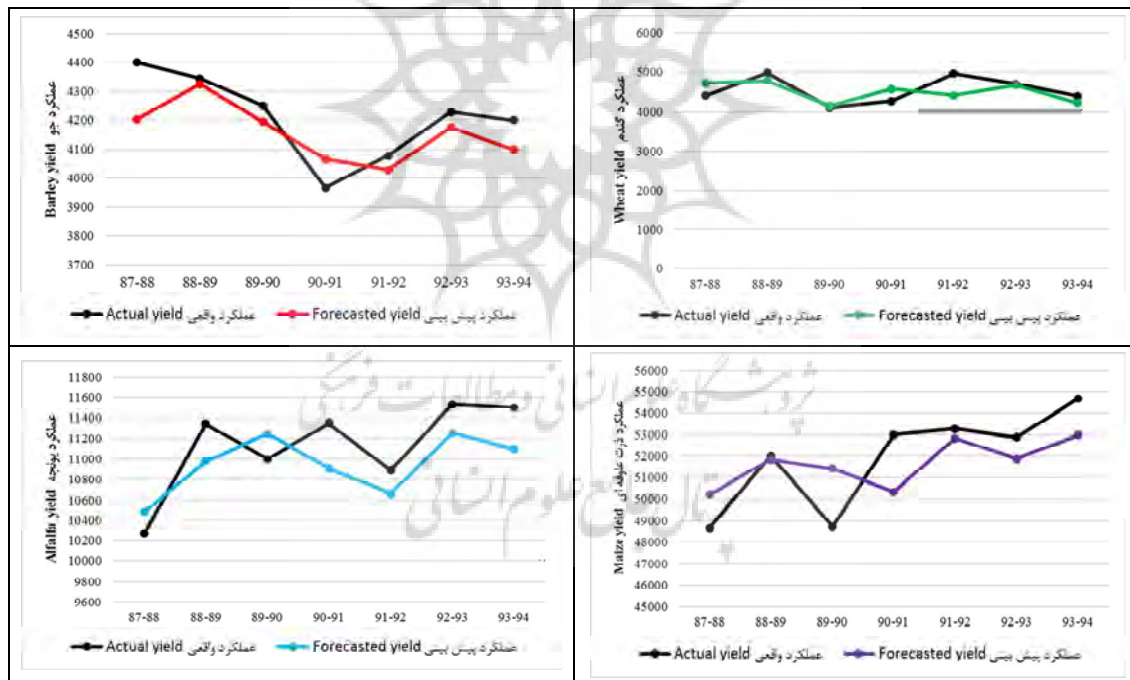
شکل 7- نمودارهای آموزش الگوی ترکیبی شبکه عصبی - الگوریتم ذرات برای عملکرد محصولات زراعی (یافته‌های تحقیق)  
Figure 7- Training graphs of ANN-PSO combined method for crops yield (research results)

دسترس و عملکرد محصولات زراعی، در ابتدا با وارد نمودن سناریوهای حداکثر دما، حداقل دما و بارش در این الگوی پیش‌بینی؛ سناریوهای آب‌های در دسترس تولید شد. سپس سناریوهای آتی مربوط به متغیرهای GDD و VPD محاسبه شد و همراه با سناریوهای آب‌های در دسترس در بهترین الگوی پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی وارد شده و «سناریوهای عملکرد محصولات زراعی» در دوره مورد مطالعه به عنوان خروجی تولید گردید.

در شکل‌های (8) و (9)، نمودار مربوط به مقادیر پیش‌بینی در مقایسه با نمودار مقادیر واقعی برای آب‌های در دسترس و عملکرد محصولات زراعی نشان داده شده است. با توجه به محدود بودن دوره زمانی داده‌های موجود مشاهده می‌شود که الگوی ترکیبی ANN-PSO توانایی بالایی در پیش‌بینی آب‌های در دسترس و عملکرد محصولات زراعی را دارد. پس از تعیین بهترین الگوی پیش‌بینی مربوط به آب‌های در



شکل 8- نمودار مقایسه مقادیر پیش‌بینی با مقادیر واقعی برای حجم آب‌های در دسترس بر حسب میلیون متر مکعب (یافته‌های تحقیق)  
 Figure 8- The comparison graf of predicted values with actual values for available water based on Million cubic meters (research results)



شکل 9- نمودار مقایسه مقادیر پیش‌بینی با مقادیر واقعی برای عملکرد محصولات کشاورزی بر حسب کیلوگرم در هکتار (یافته‌های تحقیق)  
 Figure 9- The comparison graf of predicted values with actual values for crops yield based on kg per hectare (research results)

سناریو عملکرد تولید شده است. پس از تعیین سناریوهای عملکرد، جهت مشخص کردن روش محاسبه VaR و CVaR (روش پارامتری یا ناپارامتریک)، لازم است بررسی شود که آیا سناریوهای عملکرد محصولات زراعی از توزیع نرمال پیروی می‌کند یا خیر. نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی عملکرد محصولات زراعی و آزمون نرمال بودن با استفاده از آماره جارکو- برا در جدول (3) آمده است. نتایج آزمون نرمالیته بودن نشان می‌دهد که توزیع سناریوهای عملکرد محصولات

مرحله سوم روش تحقیق در این مطالعه شامل اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات زراعی با استفاده از معیار ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی است. همان طور که از قبل اشاره شد، در این مطالعه جهت محاسبه معیار ارزش در معرض خطر بر اساس سناریوهای پیش‌بینی شده‌ای استخراج می‌شود که در آن عملکرد مقادیر پیش‌بینی شده مراحل قبل هستند. در واقع در اینجا برای هر محصول زراعی و برای یک دوره 30 ساله (1396-1426)، 1320

زراعی گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه به صورت نرمال نیست، بنابراین در این مطالعه جهت محاسبه معیار ارزش در معرض خطر از روش شبیه‌سازی تاریخی استفاده می‌شود.

جدول 3- آماره‌های توصیفی و آماره آزمون نرمالیتیه بودن برای سناریوهای عملکرد محصولات زراعی  
Table 3- Descriptive statistics and normality test for scenarios of crops yield

نام محصول	آماره جاکو- برا	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میان	میانگین
Crop name	Jarque-Bera	Kurtosis	Skewness	Std.Dev	Min	Max	Median	Mean
گندم Wheat	377.34*	3.92	1.23	2522	28907	41007	31633	32450
جو Barley	44.17*	2.96	0.44	66.2	4048	4387	4162	4159
ذرت علوفه‌ای Maize	38.75*	2.32	0.25	2345.8	45236	58830	51890	52140
یونجه Alfalfa	15.79*	2.6	0.18	167.5	10521	11509	11041	11038

مأخذ: یافته‌های تحقیق \* معنی‌داری در سطح یک درصد  
Resource: research results \* confidence level % 1

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مطالعه تلاش نمود تا روش جدیدی برای محاسبه ریسک عملکرد محصولات زراعی ناشی از تغییرات اقلیم با استفاده از معیار CVaR در شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود را ارائه نماید. نوآوری این مطالعه شامل استفاده از الگوی ترکیبی شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) جهت پیش‌بینی، اندازه‌گیری ریسک با استفاده از معیار CVaR و بر اساس سناریوهای پیش‌بینی شده‌ای از عملکرد محصولات زراعی است. بر این اساس، روش انجام این مطالعه شامل مراحل ذیل است:

1) تولید سناریوهای محتمل دما و بارش با استفاده از مدل‌های AOGCM: با توجه به آمارهای روزانه موجود، ایستگاه‌های اصفهان، کبوترآباد، کوه‌رنگ و داران برای تولید سناریوهای اقلیمی انتخاب گردید. نتایج صحت‌سنجی این مدل نشان داد که این الگو به خوبی توانسته است، تغییرات پارامترهای اقلیمی را شبیه‌سازی کند. در نهایت در هر از ایستگاه‌های مورد مطالعه، 44 سناریو حداکثر دما، حداقل دما و بارش برای هر سال و به صورت داده‌های روزانه تولید شد. بنابراین با توجه به نتیجه فوق می‌توان دریافت که با استفاده از مدل‌های AOGCM می‌توان متغیرهای اقلیمی دوره آتی در حوزه زاینده‌رود را با دقت و تقریب مناسبی پیش‌بینی نمود و در کاربردهای علمی دیگر مورد استفاده قرار داد.

در روش شبیه‌سازی تاریخی ابتدا داده‌های مربوط به سناریوهای عملکرد محصولات زراعی به ترتیب از بزرگ به کوچک مرتب شد و سپس مقادیر VaR و CVaR محاسبه گردید. نتایج حاصل از محاسبه دو معیار VaR و CVaR در سطوح اطمینان مختلف برای محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه برای دوره آتی (سناریوهای عملکرد در دوره 1396-1426) و دوره گذشته (داده‌های تاریخی در دوره 94-1362) در جدول (3) آمده است. با توجه به نتایج جدول (3)، میزان VaR و CVaR محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه در دوره آتی 1396-1426 و در سطح 95 درصد، به ترتیب معیار و محصول (CVaR, VaR) برابر (4205, 4240)، (4057, 4062)، (49061, 48480) و (10743, 10875) کیلوگرم بر هکتار است. به عنوان مثال میزان VaR و CVaR محصول گندم در دوره آتی و در سطح 95 درصد، به ترتیب برابر 4240 و 4205 (کیلوگرم بر هکتار) است و بیانگر آن است که با احتمال 95 درصد اطمینان داریم که عملکرد محصول گندم در طول دوره آتی 1396-1426 بیشتر از 4240 کیلوگرم بر هکتار باشد. به عبارت دیگر یک درصد احتمال دارد که عملکرد گندم در طی 30 سال آینده کمتر از 4240 کیلوگرم بر هکتار باشد و در این سطح احتمال (یک درصد) نیز انتظار داریم که ارزش انتظاری (متوسط) عملکرد گندم برابر 4205 کیلوگرم بر هکتار باشد. علاوه بر این میزان VaR و CVaR محصول گندم در دوره گذشته در سطح اطمینان 95 درصد به ترتیب برابر 3591 و 3536 (کیلوگرم بر هکتار) است که میزان این دو معیار از دوره آتی کمتر است. در واقع برای تمام محصولات منتخب گندم، جو، یونجه و ذرت دانه‌ای معیارهای VaR و CVaR در دوره آتی بزرگتر از دوره گذشته است.

جدول 3- مقادیر معیارهای ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی برای سناریوهای آتی و داده‌های تاریخی عملکرد محصولات زراعی بر حسب کیلوگرم در هکتار

Table 3- Values of VaR and CvaR for future scenarios and historical data related to crops yield

نوع داده data type	سطح اطمینان confidence level	معیار CVaR CVaR index				معیار VaR VaR index			
		یونجه	ذرت	جو	گندم	یونجه	ذرت	جو	گندم
		alfalfa	maize	barley	wheat	alfalfa	maize	barley	wheat
سناریوهای آتی Future scenarios	%99	10670	46481	4052	4174	10720	47854	4053	4180
	%98	10704	47672	4053	4183	10750	48962	4054	4206
	%97	10721	48093	4054	4191	10763	48973	4060	4210
	%96	10734	48316	4056	4198	10779	49040	4060	4228
	%95	10743	48460	4057	5205	10785	49061	4062	4240
داده‌های تاریخی Historical data	%97	9037	37643	3291	3489	10192	38330	3324	3582
	%95	9615	37987	3308	3536	10253	39167	3440	3591

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Resource: research results

(۴۲۴۰،۴۲۰۵)، (۴۰۶۲،۴۰۵۷)، (۴۹۰۶۱،۴۸۴۸۰) و (۱۰۸۷۵،۱۰۷۴۳) کیلوگرم بر هکتار است. نتایج مقایسه دوره آتی با دوره گذشته نیز نشان داد که برای تمام محصولات منتخب، معیارهای VaR و CVaR در دوره آتی بزرگتر از دوره گذشته است. با توجه به نتایج فوق پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

1- با توجه به اهمیت اندازه‌گیری ریسک ناشی از تغییرات اقلیم و نتایج حاصل از این مطالعه، روش جدید محاسبه ریسک عملکرد ناشی از تغییرات اقلیم در این مطالعه را می‌توان برای اجرای یک مدیریت خوب ریسک در بخش کشاورزی استفاده کرد. بنابراین اندازه‌گیری دقیق‌تر ریسک با استفاده روش‌های نوین اندازه‌گیری ریسک (مانند CVaR) می‌تواند راهنمای مناسبی برای سیاست‌گذاران جهت مدیریت بهتر ریسک تولید محصولات کشاورزی باشد.

2- از آنجا که مشخص کردن نوع توزیع داده‌ها در محاسبه ارزش در معرض خطر نقش اساسی دارد، بنابراین بر اساس نتایج این مطالعه فرض نرمال بودن توزیع داده‌های عملکرد غیر منطقی به نظر می‌رسد. بنابراین استفاده از توزیع واقعی و روش محاسبه شبیه‌سازی تاریخی در محاسبه معیار VaR و CVaR، برای قابل اعتمادتر و نزدیکتر بودن نتایج به واقعیت توصیه می‌گردد.

3- روش پیشنهادی می‌تواند برای سایر تحقیقات آتی در حیطه اقتصاد کشاورزی و برای بررسی ریسک ناشی از تغییر اقلیم روی متغیرهای مربوط به بخش کشاورزی نیز مورد مطالعه قرار گیرد.

2) تولید سناریوهای عملکرد محصولات زراعی و موجودی آب در دسترس در دوره 1396-1426: جهت انجام این مرحله از الگوی ترکیبی ANN-PSO استفاده شد. نتایج حاصل از طراحی شبکه با استفاده از روش آزمون و خطا نشان داد که بهترین الگوی پیش‌بینی ترکیبی شامل 3 و 6 نرون در لایه ورودی و لایه مخفی شبکه عصبی و با فرض جمعیت اولیه 200 در الگوریتم PSO بدست می‌آید. نتایج حاصل از مرحله نیز نشان داد که الگوی ANN-PSO توانایی بالایی در پیش‌بینی آب‌های در دسترس و عملکرد محصولات زراعی (جو، گندم، ذرت علوفه‌ای و یونجه) به عنوان محصولات عمده شبکه‌های کشاورزی زاینده‌رود را دارد. با توجه به اینکه اکثر متغیرهای بخش کشاورزی مانند عملکرد و قیمت محصولات کشاورزی، دارای داده‌های غنی و کافی برای پیش‌بینی نیستند، نتایج حاصل شده از الگوی ترکیبی ANN-PSO بیانگر این موضوع است که حتی با کم بودن تعداد داده‌ها، الگوهای ترکیبی شبکه عصبی با الگوریتم‌های تکاملی می‌تواند در این شرایط نتایج قابل قبولی را ارائه نماید.

3) اندازه‌گیری ریسک عملکرد محصولات زراعی با استفاده از معیار VaR و CVaR: در این مطالعه، با توجه به نرمال نبودن توزیع سناریوهای عملکرد محصولات زراعی، جهت محاسبه دو معیار فوق در سطوح اطمینان 99 تا 95 درصد از روش شبیه‌سازی تاریخی استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان VaR و CVaR محصولات گندم، جو، ذرت علوفه‌ای و یونجه در دوره آتی 1396-1426 و در سطح 95 درصد، به ترتیب معیار و محصول (CVaR, VaR) برابر

## منابع

- 1- Ahmadi M.E., Shadizadeh S.R., Rashidinia N., and Ebadi M. 2011. Prediction of asphaltene deposition using

- artificial neural network based on particle swarm algorithm. *Journal of Exploration and Production*, 87:37-40. (in Persian)
- 2- Arshad M., Amjath-Babu T.S., Krupnik T., Aravindakshan S., Abbas A., Kachele H., and Muller K. 2017. Climate variability and yield risk in South Asia's rice-wheat systems: emerging evidence from Pakistan. *Journal of Paddy Water Environ*, 15:249-261.
  - 3- Azizi Khalklili T., and Zamani Gh. 2013. Farmers perception to agricultural work risk in condition climate change: case study Marvdasht city of Fars Province. *Journal of Extension and Education of Iran's Agriculture*, 9(2):52-41. (in Persian)
  - 4- Babaei H., Araghinejad Sh., and Hurfar A. 2011. Determining period of Meteorological and hydrological droughts event in Zayanderud Watershed. *Scientific Journal of Dry Canvas*, 1(3):1-12. (in Persian)
  - 5- Barak B. 2006. Consideration for the impact of climate change information on stated preferences. Ph.D. dissertation, University of Rhode Island, United States-Rhode Island, (Publication No. AAT 3248223).
  - 6- Cabas J., and Weersink A. 2009. Crop yield response to economic site and climate variable. *Journal of Climate Change*, 92:1-18.
  - 7- Campbell R., Huisman R., and Koedijk K. 2001. Optimal portfolio selection in a Value-at Risk framework, *Journal of Banking and Finance*, 25(9):1789-1804.
  - 8- Coe R., and Stern, R.D. 2011. Assessing and addressing climate-induced risk in sub-saharan rainfed agriculture: lessons learned. *Journal of Exploit Agriculture*, 47(2):395-410.
  - 9- Dighandi M., Masah boani A., Ajorluo M.J., Broumand Nasab S., and Andarzian B. 2014. Risk assessment of effects of climate change on yield and phenology of growth wheat (Case Study: Ahvaz city). *Journal of Management and Irrigation*, 5(2):161-175. (in Persian)
  - 10- Falahpuor S., and Baghban M. 2014. The Using of Copula-CVaR in portfolio optimization and its analogical comparison Via Mean-CVaR. *Journal of Research and Economic Policies*, 22(7):155-172. (in Persian)
  - 11- Ghahremanzadeh M., Golbaz M., Hayati B., and Dashti Gh. 2014. The Effect of climate parameters on risk and yield of wheat and corn in Ghazvin Province. *Journal of Agricultural Economics*, 8(4):107-126. (in Persian with English abstract)
  - 12- Haupt R.L., and Haupt S.E. 2004. *Practical Genetic Algorithms*, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
  - 13- Huang Y., Li Y., Chen X., and Mai Y.G. 2012. Optimization of the irrigation water resources for agricultural sustainability in Tarim River Basin, China. *Journal of Agricultural Water Management*, 107(1):74-85.
  - 14- Hull J.C. 2002. *Fundamentals of Futures and Options Markets*, The GARCH (1,1) Model as a Risk Predictor for International Portfolio. *Journal of Prentice Hall*, Fourth Edition.
  - 15- Jason P.E. 2008. 21st century climate change in the Middle East. *Journal of Climatic Change*.
  - 16- Khaleghi S., Bazzazan F., and Madani Sh. 2015. Effects of climate change on agriculture sector and economics of Iran (Social Accounting Matrix Approach). *Journal of Agricultural Economics Researches*, 7(1):113-135. (in Persian)
  - 17- Kim C-G., and Kan O-S. 2008. Climate change and rice productivity. *Journal of Nonparametric and Semi Parametric Analysis*, Korean Agricultural Economic production.
  - 18- Kim M.K., and Pang A. 2008. Climate change impact on rice yield and production risk. *Journal of Rural Development*, 32(2):17-29.
  - 19- Krokmal P., Palmquist J., and Uryasev S. 2002. Portfolio optimization with conditional value-at-risk objective and constraints. *Journal of Risk*, 4:43-68.
  - 20- Kuochaki A., and Kamali Gh. 2010. Climate change and wheat production in Iran. *Journal of Researches of Iran's Farming*, 8(3):508-520. (in Persian)
  - 21- Li X., Takahashi S.T., and Kaiser H. 2011. The impact of climate change on maize yields in the United States and China. *Journal of Agricultural Systems*, 104:348-353.
  - 22- Ligeon C., Jolly C., Bencheva N., Delikostadinov S., and Puppala N. 2008. Production risks in Bulgarian peanut production. *Journal of Agricultural Economics Review*, 85:234-259.
  - 23- Masah Boani A., Morid S., and Mohammadzadeh M. 2010. Comparison of small-scale methods and AOGCM models in survey of effect of climate change at the regional scale. *Journal of Earth and Space Physics*, 36(4): 99-110. (in Persian)
  - 24- Maxino C.C., McAvaney B.J., Pitman A.J., Perkins S.E. 2008. Ranking the AR4 climate models over the Murray-Darling Basin using simulated maximum temperature, minimum temperature and precipitation. *International Journal of Climatol*, 28(8):1097-1112.
  - 25- Mirfakhroini S.H., Babaei Mybodi H., and Sharifabadi A. 2013. Prediction of Iran's energy consumption using of ANN-GA hybrid model and its comparison via traditional patterns. *Journal of Management Researches in Iran*, 17(2):196-222. (in Persian with English abstract)
  - 26- Moghadasi M., and Jalerajabi M. 2011. Integrated modeling approach for the prediction of agricultural product

- prices. *Journal of Economics and Agricultural Development (Sciences and Industries of Agriculture)*, 5(3): 355-364. (in Persian with English abstract)
- 27- Pishbahar A., Darparnian S., and Ghahremanzadeh M. 2015. Examining effects of climate change on corn yield in Iran: The application of spatial econometric approach with panel data. *Journal of Agricultural Economics Researches*, 7(2):83-106. (in Persian)
- 28- Poli R., Kennedy J., and Blackwell T. 2007. Particle swarm optimization-an overview. *Journal of Swarm Intelligence*, 1:33-57.
- 29- Reid S., Smit B., Caldwell W., and Bllivieu S. 2007. Vulnerability and adaption to climate risk in Ontario agriculture. *Journal of Mitig Adapt Strat Glob Change*, 12(4):609-637.
- 30- Resti A., and Sironi A. 2007. Risk management and shareholder's value in banking: from risk measurement models to capital allocation policies, John Wiley and Sons.
- 31- Roberts M.J., Schlenker W., and Eyer J. 2013. Agronomic weather measures in econometric models of crop yield with implication for climate change. *American Journal of Agricultural Economics*, 95(2):236-243.
- 32- Rostaei M., Sohrabi T., Masah Boani A., and Ahmadi M.S. 2012. Risk assessment of plant biomass yield of maize under the effect of climate change. *Journal of Water Research in Agriculture*, 26(4):425-438. (in Persian)
- 33- Saadat Joy Ordklo M., Rahimi m.A. 2014. Risk management and its application in the enterprise market using risk assessment model of Value at Risk. *Journal of Industrial Management University of Human Sciences*, 9:60-72. (in Persian)
- 34- Sabuohi M., Fahimifard S.M., and Mohades S.A. 2012. Survey of effect of guaranteed price in cereal supply response. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 20(87): 39-60. (in Persian with English abstract)
- 35- Sadeghi H. and Biabani Khameneh K. 2015. Financial optimization in the electricity market: application of portfolio theory. *Journal of Iran's Energy*, 18(1):54-39. (in Persian with English abstract)
- 36- Saita F. 2007. Value at risk and bank capital management. Elsevier: Academic Press Advanced Finance.
- 37- Semenov M.A., and Barrow E.M. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies, User's Manual, Version 3.
- 38- Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., and Miller H.L (eds). 2007. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 39- Stern N. 2007. The economics of climate change: The stern review. Cambridge University Press: Cambridge and New York.
- 40- Tahamipour M., and Salami H. 2014. Determination of same-risk areas of potatoes yield in terms of the risk of frost in Iran: the application of spatial econometric approach. *Journal of Agricultural Economics, Special Issue*: 55.67 (in Persian)
- 41- Tari vardi Y., and Damchi Jelowdar Z. 2012. The linkage of risk management and corporation yield. *Journal of Financial Accounting and Accountan*, 4(15):43-62. (in Persian)
- 42- Tucker C.M., Eakin H., and Castellanson E.J. 2010. Perception of risk and adaption: Coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Journal of Global Environment Change*, 20(1):23-32.
- 43- Wang Y.J., Huang J., Wang J.X. 2014. Household and community assets and farmers' adaptation to extreme weather event: the case of drought in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 13:687-697.
- 44- Wilby R.L., and Harris I. 2006. A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Journal of Water Resources Research*.
- 45- Yang Y., Chen Y., Wang Y., Li C., and Li L. 2016. Modelling a combined method based on ANFIS and neural network improved by DE algorithm: A case study for short-term electricity demand forecasting. *Journal of Applied Soft Computing*, 49:663-675.
- 46- Zare Abyaneh H., Bayat Varkeshi M., and Ildromi A. 2011. Survey of effect of some of climate parameters and ENSO in wheat and barley yield (Case study: Hamadan). *Journal of Water Research of Iran*, 5(9):181-192. (in Persian)