



## Developing a Framework for Agricultural Drought Risk Assessment for Rainfed Wheat

N. Khalili<sup>1</sup>, H. Rezaee Pazhand<sup>2</sup>, H. Derakhshan<sup>3</sup>  
and K. Davary<sup>4\*</sup>

### Abstract

Agriculture, particularly rainfed agriculture, is the first sector being affected by drought; hence, evaluation of the agricultural drought risk is critically important for drought risk management. The objective of this paper is, therefore, to develop a systematic framework and realistic model for accurately quantifying agricultural drought risk with the focus on rainfed wheat. The proposed framework quantifies the agricultural risk based on the hazard and vulnerability levels for different stages of crop growth. To quantify the drought severity, we have employed Standardized Evapotranspiration and Precipitation Index (SEPI) as a drought index. On the other hand, to determine the drought effect on yield performance, Aquacrop model is adopted for different stages of crop growth to evaluate the yield lost due to the drought. For the vulnerability, fuzzy logic techniques are employed. The proposed framework is evaluated for the Sisab Rainfed Research Station in Northern Khorasan, Iran, using the 30-years (1980 to 2011) meteorological data. For this case, vulnerability, as a dimension less quantity, was calculated as 0.6163 and the drought risk level for rainfed wheat in Sisab Station was calculated as 0.3684 ton/acres. The developed framework can be used for systematic risk management to reduce the impact of drought effects as well as calculating agricultural insurance rates for droughty situations.

**Keywords:** Agricultural Drought Risk, Drought Hazard, Rainfed Wheat, Vulnerability.

Received: September 23, 2017

Accepted: May 25, 2018

## توسعه چارچوبی برای ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی برای گندم دیم

نجمه خلیلی<sup>۱</sup>، حجت رضایی پزند<sup>۲</sup>، هاشم درخشان<sup>۳</sup>  
و کامران داوری<sup>۴\*</sup>

### چکیده

کشاورزی دیم اولین بخشی است که از لحاظ اقتصادی مورد آسیب خشکسالی قرار می‌گیرد، از این رو ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از انجام این تحقیق، توسعه یک چارچوب و مدل اجرایی برای کمی‌سازی ریسک خشکسالی کشاورزی با تمرکز بر محصول گندم دیم بوده است. در این تحقیق، ریسک خشکسالی کشاورزی بر اساس مخاطره خشکسالی و آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در مراحل مختلف رشد محصول کمی می‌شود. احتمالات وقوع خشکسالی‌های با شدت مختلف در مراحل مختلف رشد محصول در نظر گرفته شده است. برای کمی‌سازی شدت خشکسالی، از شاخص بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد شده (SEPI)، در مقیاس زمانی هفتگی استفاده می‌شود. از طرف دیگر، برای تعیین اثر خشکسالی بر محصول، مدل گیاهی آکوآکراپ برای مدل‌سازی رشد محصول تحت شرایط اقلیمی مورد نظر و اسنجی و اعتبارسنجی شده و افت محصول در اثر خشکسالی بدست می‌آید. برای تعیین مؤلفه آسیب‌پذیری، از منطق فازی استفاده می‌گردد. برای اجرای چارچوب توسعه داده شده، از داده‌های ایستگاه تحقیقات دیم سباسب واقع در خراسان شمالی استفاده شد. مقدار آسیب‌پذیری در منطقه مورد مطالعه از روش فازی، برابر با ۰/۶۱۶۳ (بدون بعد) بدست آمد و در نهایت، مقدار ریسک خشکسالی گندم دیم در ایستگاه مورد مطالعه برابر با ۰/۳۶۸۴ تن بر هکتار حاصل شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در فرآیند مدیریت ریسک و برنامه‌ریزی برای کاهش اثرات خشکسالی بر روی گندم دیم در مناطق مورد مطالعه و نیز تخمین نرخ بیمه کشاورزی در شرایط خشکسالی برای حداقل کردن ریسک آسیب خشکسالی بکار رود.

**کلمات کلیدی:** آسیب‌پذیری، ریسک خشکسالی کشاورزی، گندم دیم، مخاطره خشکسالی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۷/۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۳/۴

1- Ph.D. Graduate of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Lecturer, Department of Civil, College of Engineering, Azad University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

4- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: k.davary@ferdowsi.um.ac.ir

\*- Corresponding Author

۱- دانش‌آموخته دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- مربی گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان بهار ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

## ۱- مقدمه

هنگامی که خشکسالی تنها از طریق کمبود بارش تعریف شود، آن را خشکسالی اقلیمی یا هواشناسی می‌نامند. اما در تعریف خشکسالی کشاورزی، ویژگی‌های مختلف خشکسالی هواشناسی (مانند کمبود بارش، اختلاف بین تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل و کمبود رطوبت خاک) به اثرات کشاورزی (مانند تغییرات میزان محصول)، مرتبط می‌شود (Wu and Wilhite, 2004). بخش کشاورزی دیم اولین بخشی است که از نظر اقتصادی تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد، بطوری‌که اگر خشکسالی کوتاه‌مدت در مراحل رشد حساس گیاه رخ دهد، اثرات آن بر محصول بسیار محسوس است و لذا مدیریت خشکسالی کشاورزی برای کاهش اثرات حاصله، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تاکنون مدیریت سنتی خشکسالی به صورت واکنشی بوده و تا حد زیادی به "مدیریت بحران" توجه داشته است. اما مدیریت بحران در مواجهه با خشکسالی غیرمؤثر می‌باشد. زیرا نهایتاً عکس‌العمل‌ها هماهنگی ضعیفی داشته و گروه‌ها و مناطق صدمه دیده اندکی را در برمی‌گیرد. بنابراین بیشتر دولت‌ها به بی‌اعتبار شدن آن پی برده‌اند و درصد هستند در مورد روش‌های صحیح "مدیریت ریسک" بیشتر کسب اطلاع کنند (Bodagh Jamali et al., 2005). اولین گام در فرآیند مدیریت ریسک، کمی‌سازی و ارزیابی سطح ریسک می‌باشد.

ریسک خشکسالی کشاورزی حاصل مواجهه سیستم کشاورزی با "مخاطره" خشکسالی<sup>۱</sup> و "آسیب‌پذیری"<sup>۲</sup> آن به دوره‌های کمبود آب می‌باشد که این آسیب‌پذیری بستگی به حساسیت و نیز توانایی و ظرفیت سازگاری و بازیابی آن دارد. اگر مهم‌ترین اثر خشکسالی کشاورزی را افت مقدار محصول در نظر بگیریم، لذا با تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی بصورت خسارت اقتصادی وارده بر محصول، می‌توان سیستم بیمه کشاورزی را برای حداقل کردن ریسک تدوین نمود، به صورتی که زارعین موظف به عملیات مدیریتی تعیین شده جهت به حداقل رساندن آن ریسک باشند و از طرفی امنیت درآمدی آنها تنظیم شود.

برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه ریسک خشکسالی کشاورزی، با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شده‌اند (Chopra, 2006; Shahid and Behravan, 2008; Dalezios et al., 2014; Skakun et al., 2016). Chen and Yang (2001) از منطق فازی برای تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی استفاده کردند. (Kaewpruksapimon (2006)

ریسک خشکسالی در استان باریرام تایلند را با استفاده از روش منطق فازی و تحلیل سطح پتانسیل<sup>۳</sup> (PSA) تعیین نمود. (Tsakiris and Tigkas (2007) برای تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی محصولات زیتون و انگور در جزیره کرت یونان، از شاخص SPI استفاده کرده و احتمال رخداد هر شدت خشکسالی را نیز تعیین نمودند. سپس با محاسبه افت‌های مورد انتظار محصولات و نیز آسیب‌پذیری در دامنه صفر و یک، ریسک خشکسالی محصولات مذکور را تعیین کردند. در تحقیقی دیگر et al. (2008) Acosta-Michlik، برای تعیین حساسیت‌های اجتماعی و اقتصادی در سه ناحیه از هند، روسیه و پرتغال، از منطق فازی استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که تئوری فازی ابزاری سودمند برای تعیین حساسیت و آسیب‌پذیری می‌باشد.

(Wang et al. (2015) و Foster et al. (2015) ریسک خشکسالی را در رابطه با میزان محصول بررسی کردند. لازم به ذکر است که طول مقیاس زمانی متغیرها در ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی، اهمیت خاصی دارد و نیز اگر تحلیل ریسک خشکسالی کشاورزی با اطلاعات مرحله رشد محصول ترکیب شود، ریسک آسیب خشکسالی روی محصولات به حداقل می‌رسد. بطور مثال (Wu and Wilhite (2004) از اطلاعات هواشناسی هفتگی در طی فصل رشد و نیز دوره‌های قبل از کشت برای تعیین ریسک خشکسالی کشاورزی بر ذرت و سویا در نبراسکا استفاده کردند. نتایج نشان داد که تغییر آب و هوا در اواخر دوره رشد تأثیر کمی بر روی محصول دارد.

در ایران مطالعه چندانی برای ارزیابی ریسک خسارت در اثر خشکسالی کشاورزی مطابق با تعریفی که در این تحقیق مد نظر ما بوده، انجام نشده است. هرچند تحقیقات کمی با تعاریف دیگری از ریسک انجام شده است. بطور مثال، (Khalili and Bazrafshan (2007) ریسک را بصورت احتمال عبور از یک پدیده بحرانی در مدت زمان معین (دوره برنامه‌ریزی) تعریف نموده‌اند. (Nazarifar et al. (2008) بر اساس تعریفی که (Khalili and Bazrafshan (2007) از ریسک داشته‌اند، ریسک وقوع خشکسالی هیدرولوژیکی را در استان همدان تحلیل نمودند. در تحقیقی مشابه، (Behbahani et al. (2008) مکان و وسعت مناطقی را در همدان که مستعد خطر خشکسالی هستند، تعیین کرده و با تحلیل ریسک وقوع خشکسالی، از نظر شدت رخداد منطقه همدان را به پنج منطقه پهنه‌بندی کرده‌اند. در تحقیقی دیگر (Bazrafshan et al. (2009b) ریسک را بصورت احتمال اینکه پدیده خشکسالی بحرانی دست کم یک بار در افق زمانی آینده اتفاق افتد، تعریف کرده‌اند. آنها برای ارزیابی ریسک سختی خشکسالی هواشناسی در ایستگاه سرارود کرمانشاه، خشکسالی را با استفاده از شاخص SPI

و بر اساس سری‌های زمانی تاریخی و مصنوعی بارندگی در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه پایش نمودند و پیشنهاد کرده‌اند که در تحلیل ریسک خشکسالی از سری‌های مصنوعی استفاده شود. (Ghaseminejad et al. 2014) نقشه‌های ریسک خشکسالی را در سطح استان اصفهان تهیه کردند. برای این منظور مخاطره را با استفاده از شاخص SPI و آسیب‌پذیری را با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی، توابع فازی و تحلیل ساختار سلسله مراتبی تعیین کردند.

از تحقیقات انجام شده در زمینه ریسک خسارت خشکسالی کشاورزی که رابطه بین میزان محصول و خشکسالی را در نظر گرفته باشند، می‌توان به (Arshad et al. 2008)، (Shokohi et al. 2014) و (Mirzaei Nadooshan et al. 2010) اشاره کرد. ایشان در تحقیق خود مؤلفه آسیب‌پذیری را لحاظ نکرده‌اند. تحقیق (Aghayan et al. 2015) به تعریف ریاضی و کمی ریسک خشکسالی کشاورزی نزدیک‌تر بوده است. هرچند که این تحقیق نیز برای کل دوره رشد محصول به صورت یکپارچه بکار رفته است. همچنین در این تحقیق، افت محصول که آسیب خشکسالی و در واقع جزئی از مخاطره خشکسالی محسوب می‌شود، به عنوان آسیب‌پذیری لحاظ شده است.

مطالعاتی که روی ریسک خشکسالی در دنیا و در کشور ایران انجام گرفته، هر چند اطلاعات ارزشمندی برای ریسک خشکسالی در اختیار می‌نهند، اما اشکالاتی هم دارند. در بسیاری از تحقیقات انجام شده، مقیاس زمانی داده‌های اقلیمی مورد استفاده بر اساس فواصل ماهانه است، این در حالی است که مقیاس زمانی ماهانه، دقت بررسی اثرات خشکسالی که در فواصل کوتاه‌تر رخ می‌دهند را محدود می‌سازد. اغلب مطالعات تنها از داده‌های هواشناسی برای برقراری یک رابطه عددی دقیق با عملکرد محصول و سپس ارزیابی اثرات خشکسالی استفاده می‌کنند. در حالی که تولید محصول، تحت تأثیر عوامل دیگری غیر از داده‌های هواشناسی نیز می‌باشد. علاوه بر اینها در بیشتر مطالعات انجام شده روی ریسک خشکسالی، به موضوعات مربوط به آسیب‌پذیری توجهی نگردیده است. در حالی که برای تعیین دقیق و ارزیابی صحیح ریسک خشکسالی، باید به عوامل اجتماعی و اقتصادی که سیستم را نسبت به این بلیه طبیعی آسیب‌پذیر می‌سازد، توجه ویژه داشت. همچنین در بسیاری از تحقیقات انجام شده منظور از ریسک خشکسالی، ریسک وقوع آن و به بیان دیگر احتمال وقوع خشکسالی بوده است.

پس با توجه به محدودیت‌های موجود در مطالعات انجام شده، هدف از این تحقیق ابداع و توسعه یک چارچوب و مدل اجرایی برای ارزیابی و

پایه‌سازی تعریف دقیق ریسک خسارت<sup>۴</sup> و آسیب محصول گندم دیم در اثر خشکسالی بوده است. به بیان دیگر، در این تحقیق مخاطره خشکسالی با در نظر گرفتن احتمال وقوع خشکسالی‌های با شدت مختلف در مراحل مختلف رشد محصول و همچنین پیامد حاصل از آن مخاطره، در اینجا افت محصول، تعیین می‌شود. از طرف دیگر، آسیب‌پذیری کشت گندم دیم نسبت به خشکسالی بر اساس عوامل اجتماعی و اقتصادی تعیین گردیده و در نهایت ریسک خشکسالی کشاورزی بر روی گندم دیم محاسبه می‌گردد.

## ۲- روش تحقیق

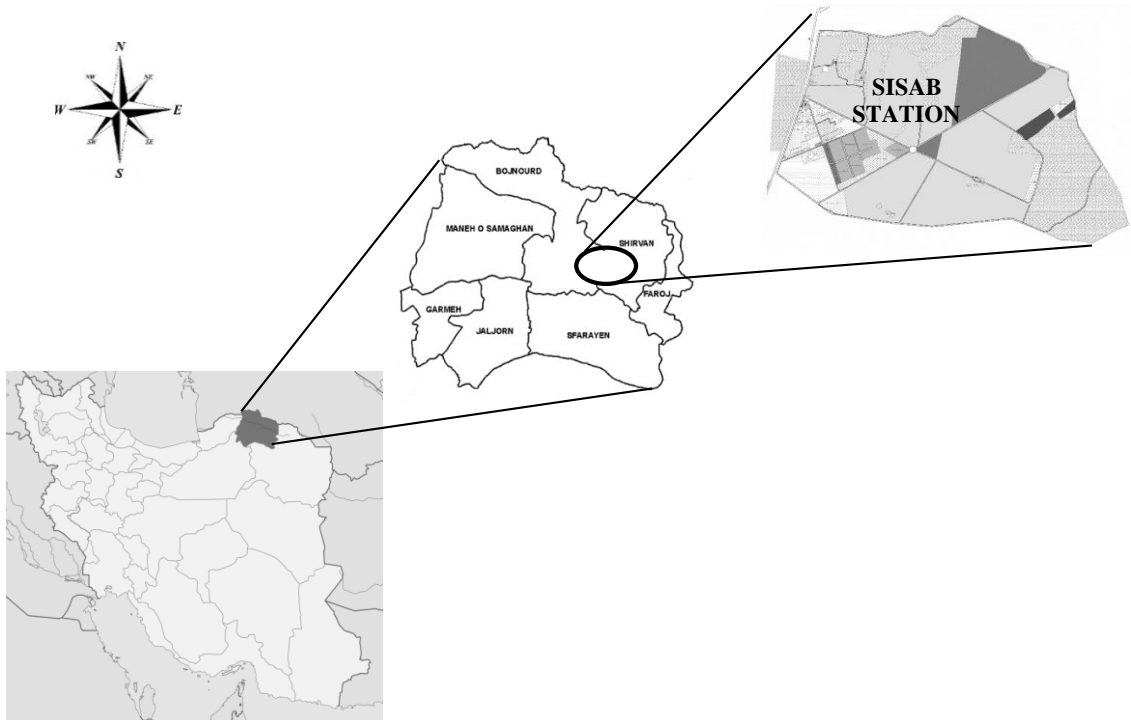
### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های آب و هوایی

موقعیت مورد مطالعه در این تحقیق، ایستگاه تحقیقات دیم سیسب در استان خراسان شمالی، واقع در طول و عرض جغرافیایی به ترتیب  $37^{\circ} 28' N$  و  $57^{\circ} 37' E$  می‌باشد که در ارتفاع ۱۳۵۹ متری از سطح دریا واقع شده است (شکل ۱).

ایستگاه تحقیقاتی سیسب در سال ۱۳۶۶ تأسیس شده و از آن تاریخ تاکنون برداشت داده در آن انجام می‌شود. در این ایستگاه، مجموع بارندگی سالانه بطور متوسط معادل  $286/1$  میلی‌متر و میانگین دمای حداقل و حداکثر به ترتیب،  $-6$  درجه سانتی‌گراد در دی ماه و  $32$  درجه سانتی‌گراد در تیرماه می‌باشد. اقلیم این منطقه طبق روش آمبرژه، خشک و سرد و بر طبق روش دومارتن، نیمه‌خشک است (Sahebjam et al., 2007).

### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز در مراحل مختلف این تحقیق شامل داده‌های هواشناسی، خاکشناسی، محصول، مدیریت کشت و عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری بوده‌اند. داده‌های هواشناسی در ایستگاه سیسب از سال ۱۳۶۶ الی ۱۳۸۷ اندازه‌گیری شده، جمع‌آوری گردید. در (Khalili et al. 2017) روش‌های کریجینگ<sup>۵</sup>، کوکریجینگ<sup>۶</sup> و میان‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله اصلاح شده<sup>۷</sup> برای تخمین داده‌های مفقود بارش مقایسه شده و نشان داده شده که روش کوکریجینگ از عملکرد بهتری برخوردار است. بر این اساس در این مقاله برای تخمین داده‌های بارش و همچنین برون‌یابی داده‌های بارش برای تطویل داده‌ها به حداقل سی سال (۱۳۵۸-۱۳۸۷)، از نتایج روش کوکریجینگ استفاده شد. برای تکمیل و تطویل داده‌های دما نیز از روش رگرسیون چندگانه با حداقل معیار انحراف مطلق<sup>۸</sup> توسعه داده شده توسط (Allen et al. 2001) استفاده گردید.



**Fig. 1- Location of the selected Station**  
**شکل ۱- موقعیت ایستگاه مورد مطالعه**

$$\{R\} = \{H\} \times \{V\} \quad (1)$$

که در آن،  $R$  ریسک سیستم،  $H$  یا مخاطره، عبارت است از حاصلضرب احتمال وقوع پیشامد طبیعی (در اینجا خشکسالی) با شدت معین در پیامد مورد انتظار در اثر وقوع پیشامد (در اینجا، افت محصول) و  $V$  یا آسیب‌پذیری، حساسیت یک سیستم را نسبت به پیشامد وقوع یافته نشان می‌دهد که بستگی به عوامل فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی دارد.

به بیان ریاضی، میانگین ریسک خشکسالی در یک سال را می‌توان از معادله (۲) محاسبه نمود:

$$R(D) = \int g(x) \cdot f_D(x) \cdot V(x) dx \quad (2)$$

که در آن،  $R(D)$ : میانگین ریسک،  $x$  شدت خشکسالی،  $g(x)$  نتیجه (پیامد) مورد انتظار در اثر خشکسالی رخ داده،  $f_D(x)$ : تابع چگالی احتمال و  $V(x)$ : آسیب‌پذیری سیستم یا منطقه نسبت به خشکسالی وقوع یافته، بدون بعد، می‌باشد. در معادله (۲)، پیامد مورد انتظار که همان افت محصول می‌باشد بر حسب تن در هکتار یا بر حسب یک واحد مالی مانند ریال یا دلار در هکتار قابل محاسبه است. بنابراین واحد ریسک نیز تن در هکتار یا واحد مالی در هکتار می‌باشد.

در این تحقیق چارچوب توسعه داده شده برای ارزیابی ریسک خشکسالی با این دیدگاه انجام شده که اگر خشکسالی با شدت‌های

در این تحقیق، برای محاسبه تخییر-تغرق مرجع، روش (1985) Hargreaves and Samani بکار رفت. سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی طرح مطالعات خاکشناسی تفصیلی و طبقه‌بندی اراضی ایستگاه سیساب را در این ایستگاه انجام داده است (Sahebjam et al., 2007). در این تحقیق، از گزارش طرح مذکور برای استخراج ویژگی‌های خاک ایستگاه استفاده گردید. داده‌های محصول شامل داده‌های میزان محصول، تاریخ و تراکم کشت گندم رقم سیلان بوده است که از داده‌های ثبت شده در دفتر مسئول کارشناسی ایستگاه مذکور برای سال ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۸ اخذ گردید. بر اساس نظر کارشناسان، عوامل اجتماعی و اقتصادی مؤثر بر آسیب‌پذیری در این تحقیق، شامل میزان سهم دیمکاری گندم دیم از درآمد کل، حمایت دولتی، وجود سیستم پایش خشکسالی و هشدار سریع، امکان استفاده از آبیاری تکمیلی، آموزش و سطح سواد کشاورز و میزان مهندسی یا سنتی بودن کشاورزی در نظر گرفته شد و اطلاعات مربوط به آنها در منطقه جمع‌آوری گردید.

## ۲-۳- محاسبه ریسک خشکسالی

برای هر پدیده طبیعی، "ریسک" سیستم را به صورت کمی می‌توان حاصل از تعامل بین وقوع حادثه طبیعی و درجه آسیب‌پذیری آن سیستم بیان کرد که در رابطه (۱) خلاصه شده است (ISDR, 2007):

حداقل ( $T_n$ ) و دمای حداکثر ( $T_x$ ) از روش ریچاردسون (Richardson and Wright, 1981) استفاده می‌کند. تمامی پارامترهای مورد نیاز در مدل ClimGen به صورت ماهانه تعیین و برای میان‌یابی روزانه پارامترهای ماهانه از توابع اسپلاین استفاده می‌شود (Stockel et al., 1999). در مدل LARS-WG مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل بدست می‌آید. دما در این مدل با استفاده از سری‌های فوریه تخمین زده می‌شود. مدل مذکور برای شبیه‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش و نیز تابش خورشیدی در مقیاس روزانه از توزیع‌های نیمه‌تجربی استفاده می‌کند. مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دماهای حداکثر و حداقل از الگوریتمی مشابه مدل ClimGen استفاده می‌کند. با این تفاوت که در اینجا، میان‌یابی روزانه پارامترهای ماهانه با استفاده از سری فوریه محدود (مرتبه سه) انجام می‌شود (Semenov et al., 1998). در این تحقیق، با استفاده از دو مدل مذکور، ۲۵۰ سال داده‌های تصادفی روزانه بارش و دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه مورد مطالعه تولید شد. همچنین، با استفاده از داده‌های دما و بارش تولید شده، تبخیر-تعرق مرجع نیز برای ۲۵۰ سال (۲۴۹ فصل زراعی) محاسبه گردید. برای جزئیات بیشتر این قسمت به Khalili et al. (2016) رجوع شود.

برای پایش خشکسالی، یکی از شناخته‌شده‌ترین شاخص‌های خشکسالی، شاخص بارندگی استاندارد شده SPI<sup>۱۱</sup>، است. اما از آنجایی که در شاخص SPI تنها بارش در نظر گرفته می‌شود، لذا در مناطق خشک و نیمه خشک که دمای هوا و تبخیر-تعرق نیز در خشکسالی نقش بسزایی دارند و می‌توانند تأثیر افزایش بارش را خنثی کنند، تغییرات SPI نشان‌دهنده دقیق خشکسالی نخواهد بود. لذا برای در نظر گرفتن تأثیر توامان بارش و تبخیر-تعرق، (Ansari et al. (2010) شاخص فازی بارندگی و تبخیر-تعرق استاندارد شده SEPI<sup>۱۲</sup> را که شاخصی تلفیقی از SPI و شاخص تبخیر-تعرق استاندارد شده SEI<sup>۱۳</sup> است، پیشنهاد و توسعه دادند. در محاسبه SPI و SEI، به ترتیب مناسب‌ترین توزیع احتمال برای سری داده بارش و تبخیر-تعرق تعیین و سپس توزیع مذکور به توزیع نرمال تبدیل می‌شود. در روش مذکور در ابتدا بصورت زبانی طبقه‌بندی شده و هنگام ایجاد قوانین فازی، بر اساس نظرات کارشناسی، وزن بارندگی دو برابر وزن تبخیر-تعرق در نظر گرفته شد. بطوری که با تغییر شدت خشکسالی در شاخص SPI، شدت خشکسالی محاسبه شده با SEPI دو طبقه تغییر می‌کند، اما با تغییر در شدت خشکسالی محاسبه شده با SEI، در شدت خشکسالی محاسبه شده با SEPI، یک طبقه تغییر ایجاد می‌شود.

مختلف در مراحل مختلف رشد محصول رخ دهد، در این صورت احتمال ترکیبی وقوع خشکسالی در معادله ریسک چگونه محاسبه خواهد شد. در واقع گام زمانی در معادله (۲)، یک فصل زراعی در نظر گرفته نشده، بلکه مرحله کاشت تا برداشت محصول، به ۵ مرحله رشد تقسیم گردیده و از طرفی خشکسالی با ۵ شدت مختلف طبقه‌بندی شده است. در این تحقیق، معادله (۲) به صورت انتگرال آمده در معادله (۳) بسط داده شد:

$$R(D) = \int g(x).f(x).V(x)dx \approx \sum_{i_5=1}^5 \sum_{i_4=1}^5 \sum_{i_3=1}^5 \sum_{i_2=1}^5 \sum_{i_1=1}^5 \bar{g}_{i_1,i_2,i_3,i_4,i_5} \cdot F_{D_{i_1,i_2,i_3,i_4,i_5}} \cdot \bar{V} \quad (3)$$

که در آن، احتمال ترکیبی پیشامد آمده در معادله (۴) است، میانگین افت محصول برای این ترکیب‌های مختلف طبقات از شاخص خشکسالی است، و  $\bar{V}$  مقدار آسیب‌پذیری است:

$$R = \{a_{i_1} \leq X_1 \leq b_{i_1}, a_{i_2} \leq X_2 \leq b_{i_2}, a_{i_3} \leq X_3 \leq b_{i_3}, a_{i_4} \leq X_4 \leq b_{i_4}, a_{i_5} \leq X_5 \leq b_{i_5}\} \quad (4)$$

که در آن،  $a_{ij}$  و  $b_{ij}$  حدود طبقه  $i$  ام برای متغیر تصادفی،  $X_j$  زام است.

## ۲-۴- پایش خشکسالی

با توجه به اینکه چارچوب ارائه شده برای محاسبه ریسک در این تحقیق، یک روش احتمالاتی<sup>۹</sup> است، برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در حل معادله ریسک، باید سری‌های زمانی تصادفی زیادی از داده‌های مورد نیاز در اختیار داشت. از آنجایی که طول دوره آماری سی ساله در ایستگاه تحقیقات دیم سباسب جوابگوی این میزان نیست، لذا باید تولید داده<sup>۱۰</sup> نمود. در واقع تولید داده در اینجا به ما نمای بهتری از فضای احتمالات می‌دهد. به خصوص که قرار است ترکیبات گوناگون شدت‌های مختلف خشکسالی در دوره‌های مختلف رشد مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین، لازم است که با استفاده از داده‌های مشاهده‌شده در منطقه، داده‌های هواشناسی روزانه را به میزان طول دوره آماری لازم تولید نماییم. برای این منظور، از دو مولد پرکاربرد LARS-WG و ClimGen استفاده شد. مدل‌های مولد وضع هوا یک ابزار پیش‌بینی هواشناسی نیستند، بلکه سری زمانی را با مشخصات داده‌های موجود و واقعی تولید می‌کنند. بطوری که داده‌های تولیدی توسط این مدل‌ها، ویژگی‌های آماری یکسانی با داده‌های واقعی و مشاهده‌شده در هر منطقه دارند. محاسبات در ClimGen با شبیه‌سازی بارش بطور مستقل از سایر پارامترها با استفاده از زنجیره مارکوف مرتبه اول آغاز می‌شود. در مدل ClimGen، فرض می‌شود که توزیع ویبول برازش مناسبی بر مقادیر بارش روزانه دارد. این مدل در تولید داده‌های دمای

برای آشنایی با جزئیات بیشتر روش محاسبه این شاخص به Ansari et al. (2010) رجوع شود.

تحقیقات قبلی در ایستگاه سیسب، نشان می‌دهد که برای پیش خشکسالی‌های کوتاه‌مدت کشاورزی مانند مقیاس یک‌هفته‌ای، شاخص SEPI شاخص مناسبی به شمار می‌رود (Khalili et al., 2013). در این تحقیق شاخص مذکور طبق جدول ۱ طبقه‌بندی شده است. به این ترتیب، برای سی سال داده موجود و ۲۵۰ سال داده تولید شده، شدت‌های خشکسالی در مقیاس هفتگی با شاخص SEPI تعیین گردید.

**Table 1- Drought classification based on SEPI (Khalili et al., 2013)**

**جدول ۱- طبقات شاخص خشکسالی SEPI**

(Khalili et al., 2013)

SEPI value	Drought Class	no.
$SEPI \geq -0.25$	Normal and wet	1
$-1.75 \leq SEPI < -0.25$	Mild Drought	2
$-3.25 \leq SEPI < -1.75$	Moderate Drought	3
$-4.75 \leq SEPI < -3.25$	Severe Drought	4
$-4.75 > SEPI$	Extreme Drought	5

## ۲-۵- مشخص کردن دوره‌های رشد محصول برای محاسبه ریسک

در ایستگاه مورد مطالعه، دوره رشد گیاه از اول آبان تا حدود آخر خرداد الی هفته اول تیر ماه می‌باشد. در این تحقیق برای مشخص کردن مراحل رشد گندم، عوامل مختلفی شامل رده‌بندی‌های معتبر و پذیرفته شده در تحقیقات گذشته (Zadox et al., 1974)، رده‌بندی موجود در برنامه AquaCrop (Raes et al., 2009) و درجه-روز-رشد مراحل فنولوژیکی گندم در خراسان شمالی (Garivani, 1988)، در نظر گرفته شد. در نهایت مراحل رشد گندم در ایستگاه سیسب ۵ مرحله شامل "جوانه‌زنی، سبز شدن، گیاهچه‌ای و پنجه‌زنی اولیه"، "دوره خواب زمستانی"، "پنجه‌زنی ثانویه، ساقه رفتن و غلاف رفتن"، "خوشه رفتن و گرده افشانی" و "دانه رفتن و رسیدن" به ترتیب با طول دوره ۴، ۱۸، ۴، ۴ و ۴ هفته در نظر گرفته شد. بنابراین، برای مرحله اول رشد، میانگین شاخص SEPI در ۴ هفته اول به عنوان شاخص خشکسالی این مرحله لحاظ می‌شود. برای مرحله دوم رشد، میانگین شاخص SEPI در ۱۸ هفته مربوط به این دوره لحاظ می‌شود و به همین ترتیب برای سایر مراحل رشد، میانگین شاخص SEPI مربوط به همان دوره در نظر گرفته می‌شود.

## ۲-۶- احتمالات ترکیبی وقوع خشکسالی در هر مرحله از رشد

همان‌طور که در بخش‌های قبل توضیح داده شد، در این تحقیق پنج مرحله رشد برای گندم دیم و پنج طبقه شدت خشکسالی-ترسالی با شاخص SEPI در نظر گرفته شد. این بدان معنی است که برای هر مرحله از رشد محصول، شاخص SEPI با ۵ دامنه ممکن است در آن مرحله رخ دهد. لذا ۵<sup>۵</sup> (یعنی ۳۱۲۵) حالت مختلف برای وقوع خشکسالی وجود دارد و نیاز است که احتمال ترکیبی ۵<sup>۵</sup> ترکیب را محاسبه کنیم. شدت خشکسالی و در واقع مقدار شاخص خشکسالی SEPI در هر مرحله از رشد محصول را می‌توان یک متغیر تصادفی در نظر گرفت. در این صورت فضای احتمال<sup>۴</sup>، مجموعه برآمدها<sup>۱۵</sup> است و هر برآمد در واقع یکی از ۲۷۹ داده‌ای است که قرار است اطلاعات آن مورد بررسی قرار گیرد. در این صورت متغیر تصادفی  $6 < SEPI < -6 \rightarrow X_1: i$  میزان SEPI در سال  $i$ ام و برای مرحله یکم رشد را مشخص می‌کند و درباره متغیرهای تصادفی  $X_2, X_3, X_4, X_5$  نیز به همین ترتیب است.

برای هر کدام از پنج دوره رشد (j)، وقوع پنج پیشامد (R) مورد بررسی قرار می‌گیرد که هر پیشامد متناظر با یک طبقه شاخص خشکسالی است. در این صورت احتمال وقوع پیشامد  $\{a_i \leq X_j \leq b_j\}$  از طریق معادله (۵) بدست می‌آید:

$$P_{j,i} = P(R_{j,i}) = P(\{a_i \leq X_j \leq b_j\}) = \quad (5)$$

$$\int_{a_i}^{b_j} f_j(x) dx$$

با داشتن احتمال وقوع هر طبقه خشکسالی در هر دوره رشد، می‌توان احتمال وقوع ترکیبی این حالات در دوره‌های رشد یک سال زراعی را بدست آورد. آنچنان که گفته شد با فرض مستقل بودن وقوع خشکسالی در دوره‌های رشد، احتمال ترکیبی مربوط به وقوع طبقات خشکسالی متفاوت در دوره‌های مختلف رشد یک سال زراعی خاص به صورت معادله (۶) خواهد بود:

$$P(X_1 \in R_{1,i_1}, X_2 \in R_{2,i_2}, X_3 \in R_{3,i_3}, X_4 \in R_{4,i_4}, X_5 \in R_{5,i_5}) = P(R_{1,i_1})P(R_{2,i_2})P(R_{3,i_3})P(R_{4,i_4})P(R_{5,i_5})$$

که در آن  $i_1, i_2, \dots, i_5$  اندیس طبقه خشکسالی در دوره‌های رشد ۱ تا ۵ هستند و می‌توانند عددی بین ۱ تا ۵ (متناظر با ۵ طبقه خشکسالی) باشند. تمامی محاسبات پیچیده این قسمت از تحقیق در برنامه MATLAB کدنویسی شد.

## ۷-۲- افت محصول متناظر با حالات مختلف وقوع خشکسالی در هر مرحله از رشد

برای محاسبه مؤلفه مخاطره در معادله ریسک، نیاز است که پیامد ناشی از خشکسالی، یعنی افت عملکرد محصول نیز برآورد شود. در واقع بایستی ارتباط بین افت میزان محصول و احتمال وقوع خشکسالی با شدت معین را تعیین نماییم. در این تحقیق برای شبیه‌سازی میزان محصول گندم دیم، از مدل گیاهی AquaCrop که توسط سازمان خواربار جهانی فائو (Steduto et al., 2009) ارائه گردیده است، استفاده گردید. در مدل مذکور، عکس‌العمل گیاه نسبت به شرایط محیطی با شاخص‌های تنش مشخص می‌شود. بطوری که اثر تنش آبی بر رشد کانوپی، تعرق (بسته شدن روزنه‌ها) و پیری زودرس با آستانه‌های تخلیه مجاز رطوبتی واسنجی شده تعیین می‌شود. مشخص نمودن مقادیر این آستانه‌ها، یکی از مهم‌ترین قسمت‌های واسنجی مدل می‌باشد که با توجه به رقم گندم مورد استفاده و شرایط آب و هوایی و خاک هر منطقه این مقادیر بایستی واسنجی شوند. بنابراین، مدل مذکور برای گیاه گندم در ایستگاه سیسب تحت شرایط دیم، واسنجی و اعتبارسنجی شد. برای واسنجی از داده‌های سه سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۶، ۱۳۸۸-۱۳۸۷ و ۱۳۸۹-۱۳۸۸ استفاده شد. برای این منظور، تغییرات جزئی در مقادیر مذکور نسبت به اعداد پیش‌فرض موجود در مدل، داده شد. اعتبارسنجی مدل نیز با استفاده از داده‌های پنج سال زراعی ۱۳۸۲-۱۳۸۱ الی ۱۳۸۶-۱۳۸۵، انجام شد. پس از اینکه واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop انجام گردید و ضرایب آن تعیین شدند، مدل برای شبیه‌سازی میزان محصول گندم در سایر سال‌های مورد مطالعه (۳۰ سال داده موجود و ۲۵۰ سال داده تولید شده) در ایستگاه سیسب اجرا گردید. بنابراین، میزان خسارت محصول در هر سال زراعی با استفاده از معادله (۷) قابل محاسبه است. در نهایت، میزان افت محصول برای هر حالت خاص وقوع خشکسالی، میانگین افت محصول سال‌هایی لحاظ شده است که آن حالت خاص اتفاق افتاده است:

$$LOSS_i = y_{exp} - y_i \quad (7)$$

که در آن،  $y_i$  میزان محصول در سال  $t$ ام و  $y_{exp}$  میزان مورد انتظار گندم دیم در ایستگاه سیسب می‌باشد که معادل با میانگین بلندمدت محصول در ۳۰ سال موجود و ۲۵۰ سال تولید شده در نظر گرفته شد که برابر با ۱/۴ تن در هکتار می‌باشد. این مقدار با اندازه ذکر شده برای میزان مورد انتظار محصول گندم در گزارشات موجود در ایستگاه سیسب نیز تطابق داشته است.

## ۸-۲- تعیین آسیب‌پذیری

از آنجایی که آسیب‌پذیری یک مقیاس عینی دقیق ندارد و دارای تعریف نسبی و به‌همراه عدم قطعیت می‌باشد، در این تحقیق برای تعیین آن از سیستم استنتاج فازی استفاده شد. مجموعه‌های فازی و توابع عضویت برای هر کدام از عوامل مورد نظر نیز در جدول ۲ خلاصه شده است.

عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری که به عنوان داده‌های ورودی سیستم استنتاج فازی در نظر گرفته شدند، در جدول ۳ آورده شده‌اند. این عوامل بصورت نرمال (در بازه صفر تا یک) در نظر گرفته شده‌اند و با اطلاعات میدانی که از کارشناسان و کشاورزان جمع شده، بصورت توابع عضویت فازی نمایش داده شده‌اند. سیستم قوانین فازی بر اساس عوامل مورد نظر طرح شد و بدین ترتیب می‌توان با توجه به شرایط هر منطقه، میزان آسیب‌پذیری آن را نسبت به خشکسالی تعیین نمود. تمامی این عوامل برای ایستگاه تحقیقات دیم صادق نیستند، ولی در مورد مزرعه قابل طرح هستند. در این تحقیق اطلاعات میدانی جمع‌آوری شده از مزرعه مجاور ایستگاه سیسب برای اجرای مدل بکار رفت.

برای استنتاج پایگاه قوانین از شیوه استنتاج ممدانی استفاده شد و برای فازی-زدایی از تکنیک محاسبه مرکز ثقل استفاده گردید. پیاده‌سازی سیستم استنتاج فازی توسط نرم‌افزار MATLAB انجام شده و کدهای الگوریتم مربوطه نوشته شد. داده‌های مربوط به مزرعه مورد مطالعه و همچنین دو سناریوی فرضی دیگر A و B در جدول ۳ آورده شده است.

**Table 2- Fuzzy sets and membership functions for vulnerability factors**  
جدول ۲- مجموعه‌های فازی و توابع عضویت بکار رفته برای عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری

Vulnerability factors	Fuzzy sets	Membership functions
Ratio of rainfed agricultural income to total income	Very Low, Low, Moderate, High, Very High	Triangular and Trapezoidal
Government support (Insurance, loan, and etc.)	Low, Moderate, High	Triangular and Trapezoidal
Existence of early alert system, monitoring	Low, Moderate, High	Triangular and Trapezoidal
Possibility of complementary irrigation	Low, Moderate, High	Triangular and Trapezoidal
Education level of farmer	Very Low, Low, Moderate, High, Very High	Triangular and Trapezoidal
Traditional or modern agricultural systems	Very Low, Low, Moderate, High, Very High	Trapezoidal

**Table 3- Vulnerability inputs in Sisab station and Scenarios A and B**  
**جدول ۳- داده‌های مؤثر بر آسیب‌پذیری در مزرعه مجاور سیساب و سناریوهای A و B**

Vulnerability inputs	Sisab farm	Scenario A	Scenario B
Ratio of rainfed agricultural income to total income	0.3	0.3	0.7
Government support (Insurance, loan, etc)	0.1	0.6	0
Existence of early alert system, monitoring	0	0	0
Possibility of complementary irrigation	0.1	0.5	0.1
Education level of farmer	0.25	0.25	0.25
Traditional or modern agricultural systems	0.55	0.7	0.2

### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

بین مقادیر نهایی میزان دانه شبیه‌سازی شده توسط مدل و اندازه‌گیری شده بررسی گردید. ضریب  $R^2$  معادل با ۰/۸۶۲، بدست آمد. سایر معیارهای ارزیابی شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMES)، راندمان مدل (ME) و شاخص توافق (D-Index) نیز به ترتیب ۰/۰۶۲ (تن در هکتار)، ۵/۲۳۵٪، ۰/۹۱۷ و ۰/۸۷۷ بدست آمد. طبق نتایج بدست آمده، مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد محصول با مدل AquaCrop توافق و همبستگی خوبی با مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) در ایستگاه مورد مطالعه شبیه دارد. در این تحقیق، تفاضل مقادیر محصول هر سال از محصول مورد انتظار (۱/۴ تن در هکتار)، میزان خسارت محصول در هر سال زراعی را نشان می‌دهد.

در این تحقیق برای ارزیابی ریسک خشکسالی در ابتدا از دو مدل مولد داده‌های هواشناسی LARS-WG و ClimGen به منظور تولید سری‌های تصادفی داده‌های بارش و دما به طول ۲۵۰ سال استفاده شد. کارایی مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های خطای نظیر میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ضریب تعیین (CD) بین مقادیر سی سال داده مشاهده شده و تولید شده توسط دو مدل ارزیابی گردید. نتایج مربوطه در جدول ۴ آمده است.

در این تحقیق، پنج مرحله رشد برای گندم در نظر گرفته شد و شدت شاخص خشکسالی SEPI هم به پنج طبقه تقسیم‌بندی شده بود. بنابراین برای هر مرحله از رشد محصول، شاخص SEPI با ۵ طبقه ممکن است رخ دهد. لذا ۵<sup>۵</sup> (یعنی ۳۱۲۵) حالت مختلف برای وقوع خشکسالی وجود داشته است. خروجی کد نوشته شده در برنامه MATLBA، نتایج احتمالات ترکیبی هر حالت را نشان می‌دهد که به علت حجم زیاد نتایج قابل شرح در این مقاله نمی‌باشد. اما شایان ذکر است که از حاصلضرب احتمال رخداد هر حالت خاص در میانگین افت محصول برای آن حالت خاص، مؤلفه "مخاطره خشکسالی" محاسبه شد. در نهایت مخاطره بلندمدت خشکسالی گندم در ایستگاه سیساب، معادل با ۰/۵۹۷۷ تن در هکتار حاصل شد.

نتایج آمده در جدول ۴ نشان می‌دهد که در تولید داده‌های بارش، مقادیر RMSE و MAE برای مدل LARS-WG کمتر از مدل ClimGen بوده و از طرفی مقدار CD در مدل LARS-WG به یک نزدیک‌تر بوده است، پس می‌توان گفت مدل LARS-WG در تولید مقادیر بارش در ایستگاه سیساب موفقیت بیشتری داشته است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تفاوت خیلی زیادی در مقادیر RMSE و CD بین داده‌های تولید شده دمای حداقل و حداکثر، توسط دو مدل و داده‌های مشاهده شده وجود ندارد، اما به طور کلی مدل ClimGen کارایی بهتری در تولید داده‌های دما در ایستگاه سیساب داشته است. طبق آماره‌های مذکور مدل LARS-WG در تولید مقادیر بارش در ایستگاه سیساب موفقیت بیشتری داشته است. و مدل ClimGen کارایی بهتری در تولید داده‌های دما در ایستگاه سیساب داشته است. در این تحقیق، برای اعتبارسنجی مدل AquaCrop همبستگی خطی

**Table 4- Error indices of generated data using LARS-WG and ClimGen models in Sisab station**  
**جدول ۴- مقادیر شاخص‌های خطای تولید داده توسط دو مدل LARS-WG و ClimGen در ایستگاه سیساب**

Model	Error index	Rainfall (mm)	Minimum Temperature (c)	Maximum Temperature (c)
LARS-WG	RMSE	4.62	0.29	1.14
	MAE	2.96	1.12	2.11
	CD	0.95	0.96	0.93
ClimGen	RMSE	8.71	0.07	0.13
	MAE	3.73	0.97	1.07
	CD	0.87	0.98	1.02



همان طور که در بخش مواد و روش گفته شد، با توجه به داده‌های میدانی مقادیر فازی مؤلفه‌های ورودی آسیب‌پذیری، پایگاه قوانین فازی طراحی شد. خروجی سیستم استنتاج فازی طراحی شده، همان "آسیب‌پذیری" خواهد بود که خود می‌تواند به صورت مجموعه‌های فازی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد نمایش داده شود (شکل ۲). سطوح سه بعدی فازی زوج قوانین در تعیین آسیب‌پذیری در شکل ۳ آمده است. در نهایت، میزان آسیب‌پذیری با توجه به ورودی‌های مدل فازی برای مزرعه مجاور سیسب ۰/۶۱۶۳ بدست آمد.

همان طور که در بخش مواد و روش گفته شد، با توجه به داده‌های میدانی مقادیر فازی مؤلفه‌های ورودی آسیب‌پذیری، پایگاه قوانین فازی طراحی شد. خروجی سیستم استنتاج فازی طراحی شده، همان "آسیب‌پذیری" خواهد بود که خود می‌تواند به صورت مجموعه‌های

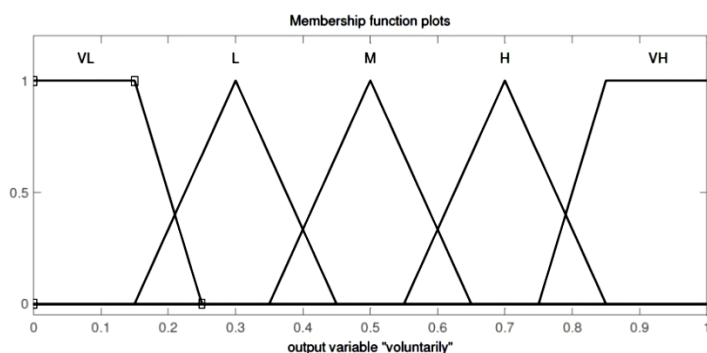


Fig. 2- Membership functions of vulnerability

شکل ۲- توابع عضویت آسیب‌پذیری

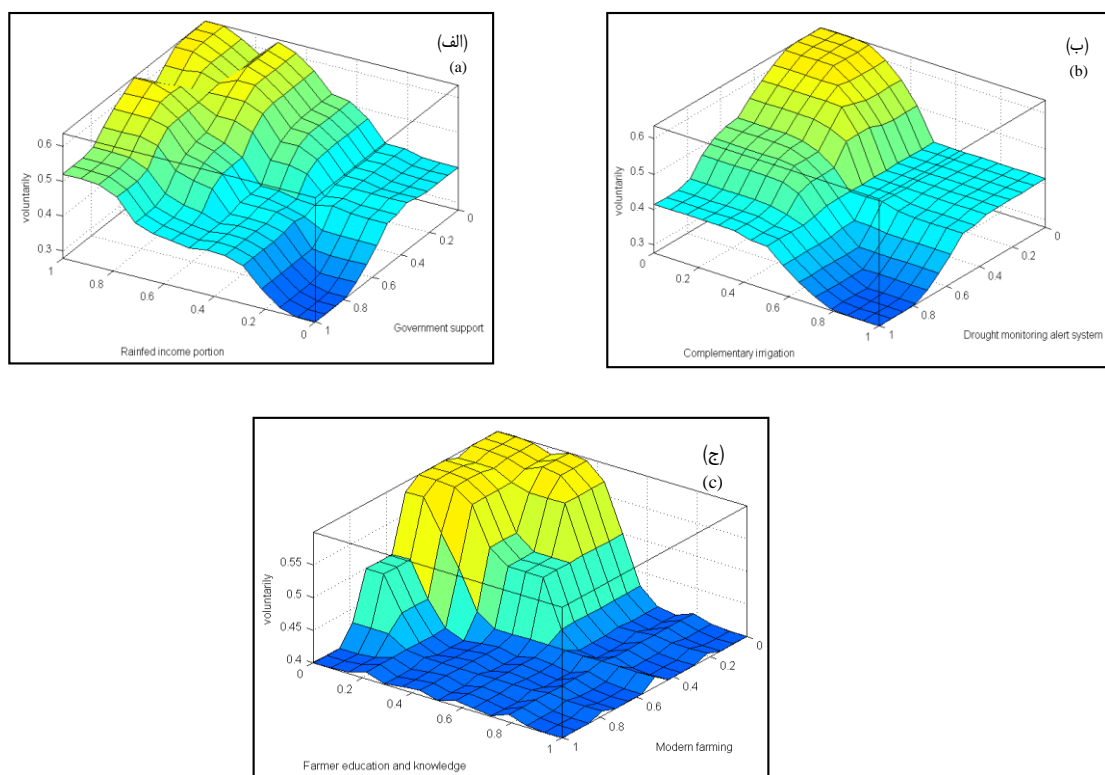


Fig. 3- 3D Fuzzy graphs for pairs of rules in vulnerability estimation, (a) "ratio of rainfed agricultural income to total income" and "the government support", (b) "existence of early alert system, monitoring" and "possibility of complementary irrigation", (c) "education level of farmer" and "traditional or modern agricultural systems"

شکل ۳- نمای سطوح فازی سه بعدی زوج قوانین در برآورد آسیب‌پذیری، (الف) "سهم درآمد از دیم" و "حمایت دولتی"، (ب) "وجود سیستم پایش خشکسالی" و "امکان آبیاری تکمیلی" و (ج) "سطح سواد کشاورز" و "سطح مدرن بودن کشت"

شکل ۳ (الف) نشان می‌دهد که هر چه معاش کشاورز به درآمد حاصل از گندم دیم وابسته‌تر باشد (به سمت یک میل کند) و حمایت دولتی هم از حداقل مقدار برخوردار باشد (به صفر میل کند)، آسیب‌پذیری به حداکثر مقدار خود یعنی یک میل خواهد کرد. به همین ترتیب در شکل ۳ (ب)، هر چه امکان پایش خشکسالی و وجود سیستم هشدار سریع کمتر باشد (به سمت صفر میل کند) و از آنطرف امکان آبیاری تکمیلی هم وجود نداشته باشد (به سمت صفر میل کند)، آسیب‌پذیری بیشترین حد خود را خواهد داشت (به سمت یک میل می‌کند). شکل ۳ (ج) نیز نشان می‌دهد که هر چه کشاورز از دانش بیشتری برخوردار باشد و از کشاورزی مدرن‌تری استفاده کند، آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود (به سمت صفر میل می‌کند).

پس از بدست آوردن "مخاطره خشکسالی" و "آسیب‌پذیری"، مقدار ریسک با استفاده از رابطه (۳)، برابر با  $0/3684$  تن در هکتار حاصل شد. در نتیجه با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و سایر عوامل در نظر گرفته شده، ریسک خسارت بالقوه یا همان مخاطره خشکسالی در ایستگاه سیسب برابر با  $0/5977$  تن در هکتار است. اما به علت اثر عوامل آسیب‌پذیری که شرح داده شد، در این منطقه ریسک بالفعل خسارت، همان  $0/3684$  تن در هکتار می‌باشد.

اگر عوامل آسیب‌پذیری به نحوی تغییر کنند، مانند دو سناریوی مثال زده در جدول ۳، آنگاه ریسک می‌تواند مقداری بیشتر یا کمتر به خود بگیرد، البته هیچگاه از مقدار مخاطره تجاوز نخواهد کرد. بطور مثال، برای دو سناریوی دیگر A و B مقدار آسیب‌پذیری به ترتیب  $0/4035$  و  $0/7467$  حاصل شد. در سناریوی A، شرایط مشابه سیسب بوده است، با این تفاوت‌ها که دارای حمایت دولتی و همچنین امکان استفاده از آبیاری تکمیلی بیشتری نسبت به سیسب بوده و از کشت مدرن‌تری استفاده شده است. همین عوامل سبب شده که مقدار آسیب‌پذیری کاهش یابد و در نتیجه آن، مقدار ریسک از  $0/3684$  در شرایط سیسب، به  $0/2412$  تن در هکتار در سناریوی A کاهش یابد (حدود  $0/12$  تن در هکتار کاهش در ریسک). در سناریوی B، نیز شرایط مشابه سیسب بوده، اما درآمد دیم گندم سهم بیشتری از اقتصاد ذینفعان را شامل می‌شود. از طرفی، هیچ گونه حمایت دولتی وجود ندارد و کشت بصورت سنتی‌تری نسبت به سیسب انجام می‌شود. در این سناریو، مقدار آسیب‌پذیری بیشتر از سیسب است و بالتبع مقدار ریسک بیشتر از سیسب و معادل با  $0/4463$  تن در هکتار است. در این تحقیق، حداکثر مقدار ریسک در منطقه مورد مطالعه با فرض آسیب‌پذیری معادل با یک، معادل همان مخاطره و برابر با  $0/5977$  تن در هکتار خواهد بود.

روش توسعه داده شده در این تحقیق، چارچوبی را برای محاسبه ریسک در اختیار قرار می‌دهد که می‌توان آن را برای سایر شرایط اقلیمی، محصولات دیگر و نیز تحت مدیریت‌های مختلف (آبیاری، کود و غیره) بکار برد. همچنین نتایج مدل‌سازی ریسک خشکسالی در این تحقیق می‌تواند برای مدیریت زمان کاشت دیم برای به حداقل رسانی در معرض خشکسالی قرار گرفتن و سایر راهکارهای مدیریت ریسک و همچنین تدوین بیمه کشاورزی (محاسبه نرخ بالاسری برای بیمه‌گذار) مورد استفاده قرار گیرد. در واقع، اگر چه نمی‌توانیم مسیر طبیعی رخدادهایی چون خشکسالی را تغییر دهیم، اما با سیاست‌ها و فعالیت‌های سازمانی می‌توان و باید ظرفیت سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری محصولات و نیز مردم منطقه را به اثرات خشکسالی بهبود بخشیم. بیمه محصولات کشاورزی یکی از ابزارهای مهم در مدیریت مخاطرات فعالیت‌های کشاورزی است. بدین منظور کشاورزان با توجه به ریسک خشکسالی حاضر می‌شوند که به عنوان بیمه‌گذار مبلغی را به عنوان حق بیمه به شرکت‌ها و سازمان‌های بیمه‌گر، پرداخت نمایند تا در صورت وقوع خشکسالی و آسیب رسیدن به محصول، تمام یا حداقل بخشی از خسارت‌های آنها جبران شود. بنابراین نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان برای تخمین نرخ بالاسری بیمه خشکسالی بکار برد. بسته به ظرفیت‌های موجود می‌توان از مقدار خسارت احتمالی (ریسک) محاسبه شده بلندمدت که تمامی حالات وقوع خشکسالی در مراحل رشد محصول را در نظر گرفته است، یا مقدار ریسک سالانه استفاده نمود. به طوری که کشاورز می‌تواند به بیمه مراجعه کرده و انتظار خویش از عملکرد مزرعه (تولید محصول) را اعلام کند و بیمه میزان خسارتی (فاصله تولید تا حد مورد انتظار) را که بطور متوسط هر ساله باید بپردازد، با روش توسعه داده شده در این تحقیق محاسبه می‌کند و با احتساب بالاسری و غیره، نرخ را به کشاورز اعلام می‌کند.

#### ۴- خلاصه و جمع‌بندی

کمی‌سازی و برآورد ریسک، اولین گام در جهت مدیریت ریسک خشکسالی است. تحقیق انجام شده، چارچوبی را برای تعیین ریسک خشکسالی توسعه داده است که مطابق با تعریف ریاضی ریسک و مبتنی بر تراکم اثر مخاطره خشکسالی در آسیب‌پذیری سیستم نسبت به آن می‌باشد. در این تحقیق، حالات مختلف احتمال وقوع خشکسالی با پنج شدت متفاوت در پنج مرحله مختلف از رشد محصول بررسی شده است. نتایج نشان داد که میزان ریسک برآورد شده با در نظر گرفتن تمامی حالات در بلند مدت برابر با  $0/3684$  تن در هکتار می‌باشد. با این وجود اگر بیمه‌گذار یا شرکت‌های بیمه نیاز داشته باشند که تخمینی از ریسک هر سال بطور جداگانه داشته باشند، مدل توسعه داده شده قابلیت آن را دارد که حالت قرارگیری شدت‌های مختلف خشکسالی در

Allen RJ, DeGaetano AT (2001) Estimation missing daily temperature extremes using an optimized regression approach. *International Journal of climatology* 21:1305-1319

Ansari H, Davary K and Sanaienejad H (2010) Drought monitoring with new precipitation and Evapotranspiration index based on fuzzy logic. *Journal of Water and Soil* 24(1):38-52 (In Persian)

Arshad S, Morid S, Mobasheri MR and Agha Alikhani M (2008) Development of agricultural drought risk assessment model for Kermanshah province (Iran), using satellite data and intelligent methods. In: Proc. of First International Conference Drought Management: scientific and technological Innovations (Options Mediterranean's, Series A), 12-14 June, Zaragoza, Spain, (80):303- 310

Bazrafshan J, Khalili A, Hoorfar A, Torabi S and Hejam (2009) Comparison of the performance of ClimGen and LARS-WG models in simulating the weather factors for diverse climates of Iran. *Iran-Water Resources Research* 5(1):44-57 (In Persian)

Bazrafshan J, Torabi S, Khalili A and Hoorfar A (2009) Drought risk analysis based on time dependent and independent data for rainfall, Case study: Sararood station in Kermanshah. In: Proc. of National Symposium of Ware Crisis in Agriculture and Natural Resources, 5 November, Rey, Iran (In Persian)

Behbahani MR, Rahimi khoob A, Nazari Far MH and Momeni R (2008) Agricultural drought risk Management for rainfed wheat, A case study: Hamedan Province. In: proc. of 3<sup>rd</sup> Iranian Conference of Water Resources Management, 14-16 October, Tabriz, Iran (In Persian)

Bodagh Jamali J, Asiaei M, Samadi Negab S and Javanmard S (2005) Drought risk management. 1<sup>st</sup> Ed, Mashhad, Sokhan Gostar publisher, 311 p (In Persian)

Chen J, Yang Y (2011) A fuzzy ANP-based approach to evaluate region agricultural drought risk. *Procedia Engineering*, 23:822 – 827

Chopra P (2006) Drought risk assessment using remote sensing and GIS: a case study of Gujarat. M.Sc. Thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, Netherlands

Dalezios NR, Blanta A, Spyropoulos NV and Tarquis AM (2014) Risk identification of agricultural drought for sustainable Agroecosystems. *Natural Hazards Earth System. Science* 14:2435–2448

مراحل مختلف رشد محصول را برای سال مورد نظر بیان کند و مقدار ریسک را برای همان سال تعیین کند. پیشنهاد می‌شود چارچوب توسعه داده شده برای تعیین سطح ریسک در سایر مناطق دیم‌خیز استان خراسان شمالی و نیز کشور بکار رود. آنگاه می‌توان بانک جامعی از ریسک خشکسالی بر گندم دیم در سطح کشور تهیه نمود. روش مذکور را برای سایر محصولات زراعی نیز می‌توان بکار برد. اگرچه مخاطره خشکسالی امری طبیعی بوده و قابل کنترل نمی‌باشد، اما با کنترل و مدیریت مؤلفه آسیب‌پذیری قادر خواهیم بود ریسک را به حداقل ممکن برسانیم.

## ۵- تشکر

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مرکز مطالعات منابع آب وزارت نیرو (تماب)، سازمان آب منطقه‌ای، سازمان هواشناسی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان خراسان شمالی و ایستگاه تحقیقات دیم سیسب که اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق را در اختیار آنها نهاده‌اند، سپاسگزاری نمایند.

## پی‌نوشت‌ها

- 1- Hazard
- 2- Vulnerability
- 3- Potential Surface Analysis
- 4- Damage
- 5- Kriging
- 6- CoKriging
- 7- Modified Inverse Distance Method
- 8- Multiple Regression, Least Absolute Deviations Criteria
- 9- Stochastic Method
- 10- Data Generation
- 11- Standardized Precipitation Index
- 12- Standardized Evapopercipitation Index
- 13- Standardized Evapotranspiration Index
- 14- Probability Space
- 15- Outcome

## ۶- مراجع

Acosta-Michlik L, Kavi Kumar KS, Klein RJT and Campe S (2008) Application of fuzzy models to assess susceptibility to droughts from a socio-economic perspective. *Regional Environmental Change* 8:151–160

Aghayan S A, Kamali Gh and Hejam S (2015) Agricultural drought risk assessment for different climate region. *Journal of Climate Research* 21:61-72 (In Persian)

- resources management (Case Study: Hamedan Province). In: Proc. of 13<sup>th</sup> Iranian Geophysics Conference, 6-8 May, Tehran, Iran, 370-374 (In Persian)
- Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E (2009) AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal* 101:438-447
- Richardson CW, Wright DA (1984) WGEN: a model for generating daily weather variables, Report. United States Department of Agriculture, Agriculture Research Service, ARS-8, 83p
- Sahabjam AA, Abbaspoor Tabrizi A, Mahdavi M and Baghdadi M (2007) Detailed soil survey and land classification of Sisab agricultural and natural research station area. *Soil and Water Research Institute*, 70p (In Persian)
- Semenov MA, Brooks RJ, Barrow EM and Richardson CW (1998) Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10:95-107
- Shahid Sh, Behrawan H (2008) Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Natural Hazards* 46:391-413
- Shokohi M, Bazrafshan J and Ghahreman N (2014) Agricultural drought risk assessment for rainfed barley crop using limited data (Case study: East Azarbaijan, Iran). *Iranian Journal of Soil and Water Research* 44(2):123-133 (In Persian)
- Skakun S, Kussul N, Shelestov A and Kussul O (2016) The use of satellite data for agriculture drought risk quantification in Ukraine, *Geometrics. Natural Hazards and Risk* 7(3):901-917
- Steduto PT, Hsiao C, Raes D and Fereres E (2009) AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal* 101:426-437
- Stöckle CO, Campbell GS and Nelson R (1999) *ClimGen manual*. Biological systems engineering department, Washington State University, Pullman, WA, 28p
- Tsakiris G (2009) A paradigm for applying risk and hazard concepts in proactive planning. Chapter 7 in Iglesias, A. et al (Eds), *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems*. Springer, 81-91
- Tsakiris G, Tigkas D (2007) Drought risk in agriculture in Mediterranean regions, Case study: Eastern Crete. Chapter 19 in: Rossi et al. (Eds), *Methods and tools for drought analysis and management*, Springer
- Foster T, Brozović N and Butler AP (2015) Why well yield matters for managing agricultural drought risk. *Weather and Climate Extremes* 10:11-19
- Garviani GM (1988) Investigation of different phenological stages of rainfed wheat cultivars in Northern Khorasan. *Jihad of Construction Symposium, Mashhad, Iran* (In Persian)
- Ghaseminejad S, Soltani S and Soffianian A (2014) Drought risk assessment in Isfahan Province. *Journal of Water and Soil Science (JWSS): Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 18(68):213-225
- Hargreaves G H, Samani Z A (1985) Reference crop evapotranspiration from temperature. *Transaction of ASAE* 1(2):96-99
- International Strategy for Disaster Reduction, United Nations (2007) Drought risk reduction framework and practices: Contributing to the implementation of the Hyogof for action. UN, Switzerland, 98p
- Kaewpruksapimon C (2006) Fuzzy logic technique for drought risk identification of Buriram province. M.S Thesis of Mahidol university, 170p
- Khalili N, Alizadeh A, Rezaee Pazhand H, Ansari H, Ghahraman B, Kafi M and Davary K (2017) Interpolation of rainfall data using classical and geostatistical methods, Case study: Sisab station, North Khorasan. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 1(11):93-103 (In Persian)
- Khalili A, Bazrafshan J (2007) Assessment of return period and risk of drought duration using Annual Precipitation in Iran old stations. In: proc. of 3<sup>rd</sup> Iranian Conference of Water Resources Management, 23-24 January, Isafahn, Iran (In Persian)
- Khalili N, Davary K, Ansari H, Alizadeh A and Rezayi Pazhand H (2013) Agricultural drought monitoring of the rainfed wheat in weekly time scale for the rainfall researches station of Sisab. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(7):133-145 (In Persian)
- Khalili N, Davary K, Alizadeh A, Ansari H, Rezaee Pazhand H, Kafi M and Ghahraman B (2016) Evaluation of the performance of ClimGen and LARS-WG models in generating rainfall and temperature time series in rainfed research station of Sisab, Northern Khorasan. *Journal of Water and soil* 30(1):322-333 (In Persian)
- Mirzaei Nadooshan F, Morid S and Arshad S (2010) Agriculture drought risk in the cities of Kermanshah Province. *Journal of Agricultural Engineering Research* 11(3):1-14 (In Persian)
- NazariFar MH, Banejad HV and Sabziparvar AA (2008) Drought risk monitoring and applying it in water

Wu H, Wilhite DA (2004) An Operational agricultural drought risk assessment model for Nebraska. USA. Natural Hazards 33:1-21

Zadok JC, Chang TT and Konzak CF (1974) A decimal code for the growth of cereals. Weed Research 14:415-421

Wang Z L, Wang J and Wang JS (2015) Risk assessment of agricultural drought disaster in Southern China. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2015: ID 172919, 8p