


Investigating the relationship between drought parameters and food security using data mining methods (case study: Alborz province)

Ansari Ghojghar, M. ¹✉ 

1. **Corresponding Author**, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: m.ansari2014m@gmail.com

(Received: 10 Sep 2023, Revised: 30 Sep 2023, Accepted: 2 Oct 2023, Published online: 7 Oct 2023)

Abstract

Nowadays, due to the increase in population and the ever-increasing need for food, providing food security is considered one of the essential requirements in every region. On the other hand, the recent droughts are one of the main reasons for the instability in food security and food production in different regions of the world. The purpose of this research is to select a superior model in order to measure the relationship between drought parameters and food security in Alborz province. Therefore, from the data related to precipitation and temperature in order to calculate SPEI meteorological drought index, as well as the data related to the cultivated area and tonnage (tons per hectare) of the two strategic products of wheat and barley, which provide more than 43% of the province's food. It was used in a period of 21 years (1380-1400). Four methods of Spearman, ANN, ANFIS and M5 were used to investigate the relationship between drought and food security parameters in Alborz province. The results showed that in Taleghan and Karaj, the goodness of fit criteria of R², RMSE and MAE of Spearman, ANN, ANFIS and M5 methods were from 0.752 to 0.736, 0.242 to 0.217, 0.107 to 114 respectively. 0.847 to 0.837, 0.209 to 0.253, and 0.107 to 0.111 are variable. Also, among the algorithms used, the M5 decision tree method was the best model for measuring the correlation between drought variables and food security. So, R², RMSE and MAE of the mentioned model from Taleghan city to Karaj city varies from 0.736, 0.217 and 0.114 to 0.837, 0.253 and 0.111. Also, in the absence of the decision tree model, the adaptive fuzzy neural inference system is the best method among the used models. Due to the fact that the decision tree model has less amount of calculations and coding, and as a result, the costs of the mentioned model are higher than the adaptive fuzzy neural inference system, so it is preferable to use the decision tree model in measuring the relationship between drought and food security parameters. Also, among the models used to measure the relationship between drought and food security parameters, Spearman's method was less accurate than the methods of fuzzy adaptive neural inference system, artificial neural network and decision tree model. But another remarkable thing that is true about the Spearman method is the type of linear relationship and the simple performance of this method compared to the three mentioned models, which according to the ratio of benefit to cost of this method can be considered as one of the simple models. and it is suitable for measuring the relationship between the parameters of drought and food security.

Another result that can be deduced from this research is the high correlation between data related to drought and the yield of wheat and barley. For example, in Nazarabad city, despite the fact that the cultivated area of the mentioned crops had increased, the tonnage of wheat and barley had taken a downward trend, which can be found in the recent severe droughts of Alborz province. did Due to the strong relationship between drought and food security parameters, it is possible to comment on the food security parameters of a region by having the drought information of a region, and conversely, by having the information related to the food basket of a region, one can talk about the drought indicators. and planned for the future of that area. It is also recommended to use the M5 decision tree model in order to measure the relationship between drought and food security indicators by considering future scenarios as a tool in food security management.

The results of this study can be used in providing forward-looking scenarios related to drought-food security parameters.

Keywords: Wheat and Barley, SPEI, M5, Food Security.

Cite this article: Ansari ghojghar, M. (2023). Investigating the relationship between drought parameters and food security using data mining methods (Case study: Alborz province). Journal of the Nivar, 47(122-123), 48-62. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.413016.1259>



بررسی ارتباط پارامترهای خشکسالی - امنیت غذایی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی (مطالعه موردی: استان البرز)

محمد انصاری قوجقار^۱

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: m.ansari2014m@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۹، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۸، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۰، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۷/۱۵)

چکیده

امروزه با توجه به افزایش جمعیت و نیاز روزافزون به غذا، تأمین امنیت غذایی از الزامات ضروری در هر منطقه محسوب می‌شود. از طرفی خشکسالی‌های اخیر یکی از دلایل اصلی تزلزل در امنیت غذایی و تولید غذا در مناطق مختلف دنیا به شمار می‌رود. هدف از این پژوهش در وهله اول انتخاب یک مدل برتر به منظور ارتباط‌سنجی بین پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز است. بدین جهت از داده‌های مربوط به بارش و دما به منظور محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI و همچنین داده‌های مربوط به سطح زیرکشت و تناژ (تن در هکتار) دو محصول استراتژیک گندم و جو که بیش از ۴۳٪ غذای استان را تأمین می‌کنند، در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) استفاده شد. برای بررسی ارتباط‌سنجی پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز چهار روش ANN، ANFIS، M5 و Spearman مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد در شهرستان طالقان و کرج معیارهای نکونی برازش R^2 ، RMSE و MAE روش‌های ANN، ANFIS، M5 و Spearman به ترتیب از ۰/۷۵۲ تا ۰/۷۳۶، ۰/۲۴۲ تا ۰/۲۱۷، ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۴، ۰/۸۴۷ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۰۹ تا ۰/۲۵۳ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۱ متغیر می‌باشد. همچنین در بین الگوریتم‌های استفاده شده، روش درخت تصمیم M5 بهترین مدل به منظور ارتباط‌سنجی بین متغیرهای خشکسالی و امنیت غذایی بود. به طوریکه R^2 ، RMSE و MAE مدل مذکور از شهرستان طالقان تا شهرستان کرج از ۰/۷۳۶، ۰/۲۱۷ و ۰/۱۱۴ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۵۳ و ۰/۱۱۱ متغیر است. همچنین در نبود مدل درخت تصمیم، سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی به‌عنوان بهترین روش در بین مدل‌های مورد استفاده، می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند در ارائه سناریوهای آینده‌نگاری در ارتباط با پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: گندم و جو، SPEI، M5، امنیت غذایی.

۱. مقدمه

امروزه برای تأمین امنیت غذایی در سطوح جهانی، ملی و محلی، چالش‌های متعددی وجود دارد و باتوجه به شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی حاکم بر کشورها شدت چالش‌های مذکور متفاوت است (اسمعیل‌نژاد، ۱۴۰۰). حدود ۷۳٪ از گستره ایران زمین در آب و هوای خشک قرار دارد و میانگین بارندگی سالانه آن بسیار کمتر از آسیا و جهان است. ایران در طول سال‌های گذشته کم و بیش با پدیده خشکسالی‌های متناوب روبه‌رو بوده است (Yousefi et al., 2010). اثرگذاری‌های خشک‌سالی به تدریج و در یک دوره زمانی به نسبت طولانی آشکار شده و بدون ساختار مشخص است؛ ضمن اینکه منطقه جغرافیایی گسترده‌تری را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Changnon and Easterling, 1989; Stage). هرچند خشک‌سالی تأثیر مستقیمی بر بخش کشاورزی دارد؛ اما باتوجه به جریان مبادله کالا و خدمات این تأثیر به راحتی به دیگر بخش‌ها و حتی دیگر نقاط قابل انتقال است. در همین زمینه یافته‌های بررسی Ejaz

استناد: انصاری قوجقار، محمد. (۱۴۰۲). بررسی ارتباط پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی (مطالعه موردی: استان البرز). مجله نیوار،

DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.413016.1259>



محصولات تحت فروش چهارگانه بود. امنیت غذایی بر اساس تولید داخلی تا آنجا دارای اهمیت است که Lejour et al. (2004) در اتحادیه اروپا، Winchester (2009) در نیوزلند، Chemingui and Dessus (2008) در سوریه و همچنین Fæhn and Holmøy (2003) در نروژ بر این باورند که با هدف تأمین غذا همواره کوشش شده است با ایجاد بازدارنده‌های تجاری محصولات کشاورزی و غذایی از رقابت مصون بماند. به این ترتیب می‌توان گفت به رغم امکان واردات مواد غذایی اما تأمین غذا از طریق تولید داخلی دارای اهمیت ویژه‌ای است و خشک‌سالی بازدارنده‌ای جدی برای تولید غذا خواهد بود. خشک‌سالی هر چهار بعد امنیت غذایی شامل موجود بودن مولد غذایی اساسی^۱، ثبات در عرضه غذا^۲، دسترسی همه افراد به غذا^۳ و استفاده زیستی یا بیولوژیکی غذا^۴ را متأثر می‌کند^۵ (FAO, 2011).

در زمان حاضر مدیریت خشک‌سالی در کشور ما بر مبنای مدیریت بحران صورت می‌گیرد. مدیریت بحران رهیافتی واکنشی است که طی آن، پس از رخداد رویداد طبیعی، تلاش می‌شود تا پیامدهای زیانبار ناشی از آن، کنترل شده و کاهش یابد (Nairizi, 2003). اما می‌توان با انجام اقدام‌های مؤثر از اثرگذاری‌های این پدیده کاست. مروری بر تجارب حاصل از این تلاش‌های مدیریتی نشان می‌دهد که رهیافت واکنشی مدیریت بحران، به میزان شایان توجهی غیراثربخش بوده و موجب به‌وجود آمدن نارسایی‌ها و تنگناهایی مانند اتکای افراد به دولت‌ها (Wilhite and Pulwarty, 2005; Wilhite et al., 2005) انجام اقدام‌هایی پس از شیوع خشک‌سالی (Krattson et al, 1998) و استفاده نکردن مطلوب از منابع‌های مالی دولتی توسط افراد آسیب‌دیده (Wilhite and Pulwarty, 2005) می‌شود.

از آنجا که تغییرپذیری اقلیم بر تأمین محصولات غذایی تأثیر می‌گذارد، از طریق آنچه که معمولاً "تغییرات قیمت مواد غذایی

Qureshi et al. (2013) در استرالیا نشان داد رخداد خشک‌سالی در استرالیا به دلیل سهم بالای آن در تولید برخی از محصولات کشاورزی بر قیمت‌های جهانی اثرگذار است. در زمینه تعریف دقیق خشک‌سالی اتفاق نظر وجود ندارد (Stage Palmer, 1965) (et al., 2004; Young, 1995). خشک‌سالی را کمبود مستمر و غیرطبیعی رطوبت نسبت به شرایط طبیعی یا میانگین درازمدت فراسنجه‌های هواشناسی می‌دانند. در بین تعریف‌های مختلفی که در ادبیات وجود دارد، می‌توان خشک‌سالی را این‌گونه بیان داشت؛ خشک‌سالی در اثر کمبود طبیعی رژیم بارشی در منطقه ایجاد می‌شود که به‌طور معمول یک فصل یا بیشتر تداوم دارد (Wilhite and Glantz, 1985).

اثرگذاری‌های رخدادهای طبیعی از جمله خشک‌سالی می‌تواند به دو اثر مستقیم و غیرمستقیم تقسیم شود. اثرگذاری‌های غیرمستقیم خشک‌سالی به دلیل کاهش سطح زیرکشت و عملکرد محصولات، در قالب کاهش تولید مواد غذایی بروز می‌کند. کاهش میزان اشتغال و سطح درآمد از جمله اثرگذاری‌های مستقیم خشک‌سالی می‌باشد که عمده‌ترین دلیل آن کاهش سطح زیرکشت و کاهش عملیات داشت و برداشت است. کاهش تولید مواد غذایی منجر به افزایش قیمت مواد غذایی و عدم دسترسی به شغل مناسب باعث کاهش دسترسی مردم به غذا می‌شود (paul, 1998).

کیانی قلعه سرد و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی اثرات چهار فرض تغییر نرمال اقلیم، تغییرپذیری اقلیم، تغییر اقلیم، تغییرپذیری و تغییر توأمان اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴ پرداختند و با استفاده از اطلاعات هزینه‌ای و تولیدی سه محصول شاخص تأمین‌کننده امنیت غذایی در ایران (گندم، برنج و سیب‌زمینی) و با روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به این امر پرداختند. نتایج حاکی از کاهش شدید درآمد کشاورزان و مازاد رفاه اقتصادی و همچنین افزایش قیمت

^۱ استفاده زیستی یا بیولوژیکی غذا رابطه میان سلامت و تغذیه را در برمیگیرد. به این معنی که از این بعد، امنیت غذایی برای تغذیه گروهها و افراد آسیب پذیر به طور ویژه دارای اهمیت است.

¹ Availability of staple foods

² Stability of supplies

³ Access for all to supplies

⁴ Biological utilization of foods

سال ۱۹۴۸ سپری شده، حق دسترسی همه مردم به غذای کافی، سالم و مغذی با واقعیت فاصله دارد (Misselhorn et al., 2012). بنابراین، موضوعاتی همچون ناامنی غذایی، گرسنگی، بیکاری و فقر در طول تاریخ همواره از دغدغه‌های جوامع بشری بوده است (Zeller et al., 2006).

امنیت غذایی پایدار اشاره به این دارد که مردم در تمام اوقات باید به مواد غذایی مغذی و سالم دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشد و مواد غذایی مصرفی باید با یک روش سازگار با محیط زیست و اصول پایدار تولید شده باشد و مردم قادر به تصمیم و حق انتخاب آگاهانه در مورد مواد غذایی باشند (Food Security Network, 2012). جهت دستیابی به امنیت غذایی پایدار سه شرط اساسی نیاز است: اول دستیابی به درآمد کافی در بین اقشار کم درآمد و آسیب‌دیده، دوم قابلیت دسترسی به غذا و مصرف آن و موضوع سوم حفاظت و بهبود منابع پایه تولید است (Pourzand et al., 2012). پیشینه مطالعات و مبانی نظری نشان می‌دهد که امنیت غذایی دارای چهار بعد عمده زیر می‌باشد (FAO, 2018).

۱- در دسترس (فراهم) بودن غذا که بر اساس تولید داخلی، ظرفیت واردات، وجود ذخایر و کمک‌های غذایی سنجیده می‌شود. در واقع این مفهوم بیان‌کننده موجودیت غذا می‌باشد که به صورت عینی و فیزیکی قابلیت رویت دارد (Diagne, 2013). موجودیت غذا بیشتر در سطوح ملی و منطقه‌ای مطرح است و بیشتر جنبه‌های سیاست‌گذاری دارد، یعنی افراد در آن کمتر درگیر هستند و دولت‌ها در موجودیت مواد غذایی نقش بیشتری دارند (جمینی و همکاران، ۱۳۹۶).

۲- دسترسی به غذا که به سطح فقر، قدرت خرید خانوارها، قیمت‌ها، وجود زیرساخت‌های بازار و حمل و نقل و سیستم توزیع غذا وابسته است. این مفهوم بیان‌کننده دسترسی اقتصادی و دسترسی فیزیکی است. دسترسی اقتصادی بیان‌کننده داشتن امکانات (منابع) کافی مانند پول برای خرید مواد غذایی و دسترسی

ناشی از آب و هوا^۱ نامیده می‌شود؛ بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد. با این حال تأثیر تغییرات قیمت مواد غذایی بر سلامت مواد غذایی منفی نیست. قیمت مواد غذایی بالاتر می‌تواند تهدیدی برای امنیت غذایی باشد چرا که بسیاری از خانوارهای مزرعه، خریداران مواد غذایی هستند (Wossen et al., 2017). تغییرپذیری اقلیم ممکن است بر قیمت نهاده و ستانده تأثیر بگذارد؛ زیرا ممکن است بین تغییرات اقلیمی و قیمت‌های محلی رابطه مستقیم وجود داشته باشد. این تغییرات در آب و هوا مطمئناً محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این حتی بدون تغییرات بهره‌وری، تغییرات قیمت با تغییر قدرت خرید بر امنیت غذایی خانوارها تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، تأثیر تغییرپذیری اقلیمی نه تنها از طریق مسیرهای تولید بلکه از طریق تغییرات قیمت نسبی منتقل می‌شود (کیانی قلعه سرد و همکاران، ۱۳۹۷).

تغییرپذیری و تغییر اقلیم به دو شکل بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد: تغییرات در بهره‌وری کشاورزی و تغییرات در اقتصاد جامعه (اکوسوسیال^۱) که به کاهش قدرت خرید مردم و یا «حق-الزحمه غذا» منجر می‌گردد. مشاهده می‌شود که گرمایش جهانی احتمالاً طول و بهره‌وری فصل‌های رشد را در عرض‌های بالاتر افزایش می‌دهد اما شرایط رو به رشد در عرض‌های پایین را به شدت کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، یک مطالعه حدود ۲۵٪ رشد در عملکرد سیب‌زمینی در اسکاتلند بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۲۰۰۷ را به افزایش دمای این ناحیه نسبت داده است. با این حال، کیفیت خاک در عرض‌های بالا، مانند مناطق کانادایی، برای محصولات کشاورزی نامناسب است و بعید است که این تغییرات در سایر مکان‌ها به طور کامل جبران شود (Butler and McFarlane, 2018).

مسئله غذا و روش‌های تولیدی آن به یکی از موضوعات روز دنیا تبدیل شده است (Garnett, 2013). مواد غذایی اساس سلامت و بهزیستی بشر در راستای دستیابی به توسعه است. لذا امنیت غذایی، یکی از مسائل مهم برای همه کشورها محسوب می‌شود. با این وجود، ۶۴ سال از تصویب اعلامیه جهانی حقوق بشر در

¹ Ecosocial

به منظور محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI و همچنین داده‌های مربوط به سطح زیر کشت و تناژ (تن در هکتار) دو محصول استراتژیک گندم و جو که بیش از ۶۷٪ غذای استان را تأمین می‌کنند، در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) استفاده شد. برای بررسی ارتباط سنجی پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز چهار روش Spearman، ANN، ANFIS و M5 مورد استفاده قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان البرز در دامنه رشته کوه‌های البرز مرکزی که از شمال با استان مازندران، از غرب با استان قزوین، از شرق و جنوب شرقی با استان تهران و از جنوب غربی با استان مرکزی همسایه است و از نظر جغرافیایی در ۵۱ درجه درازای خاوری و ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه پهنای شمالی و در ۱۳۶۰ متر از سطح دریا قرار دارد. مجموع اراضی زراعی استان حدود ۴۵۰۰۰ هکتار است که به دلیل کمبود منابع آبی در حال حاضر و در سنوات اخیر سطح زیر کشت از ۳۸۲۰۰ هکتار به ۴۰۰۰۰ هکتار متغیر است. بیشترین سطح کشت مربوط به غلات پاییزه گندم و جو (۱۸۲۸۵ هکتار) است. شکل ۱ شهرستان‌های مورد مطالعه در استان البرز را نشان می‌دهد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه: استان البرز

شاخص اقلیمی معرفی گردید. این شاخص مبتنی بر محاسبه بارندگی و دمای هوا نیاز دارد. معادله ترازمندی آب اقلیمی به صورت زیر تعریف شده است:

$$D_i = P_i - PET_i$$

فیزیکی بیان‌کننده داشتن زیرساخت حمل و نقل و امکان و شبکه‌های اطلاع‌رسانی می‌باشد (FAO, 2018).

۳- استفاده مطلوب از غذای سالم و بهداشتی که به بهداشت و تغذیه، کیفیت و سلامت غذا و دسترسی به آب سالم و امکانات بهداشتی بستگی دارد. این مفهوم بیان‌کننده بهره‌مندی مواد غذایی است و به کیفیت، روش تهیه و ذخیره‌سازی مواد غذایی، دانش تغذیه‌ای و همچنین وضعیت سلامت فرد اشاره دارد (FAO, 2018).

۴- ثبات پایدار و دسترسی که متأثر از آب و هوا، تغییرات قیمت‌ها، بلایای طبیعی و مجموع عوامل اقتصادی و سیاسی می‌باشد. در واقع ثبات بیان‌کننده تضمین دستیابی به امنیت غذایی است زیرا مردم نباید به دلیل عوامل مختلف مانند تغییرات اقلیمی، جنگ و غیره امنیت غذایی خود را از دست بدهند (FAO, 2018). هدف از این پژوهش در وهله نخست انتخاب یک مدل برتر به منظور ارتباط سنجی بین پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز است. بدین جهت از داده‌های مربوط به بارش و دما

۲-۲. شاخص بارش-تبخیر و تفرق پتانسیل استاندارد (SPEI)

شاخص بارش-تبخیر و تفرق پتانسیل استاندارد (SPEI) توسط Vicente-serrano et al. (2010) ارائه شد و به عنوان یک

$$W_S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (1 - F_i)^i D_i \quad (5)$$

که F تابع توزیع تجربی، N تعداد کل داده‌ها، i شماره‌های ردیف در داده‌های مرتب‌شده صعودی و S مرتبه گشتاور است و در اینجا برابر صفر، ۱ و ۲ در نظر گرفته می‌شود. مقدار F از تابع تجربی Hosking (1990) محاسبه می‌شود:

$$F_i = \frac{i-0.35}{N} \quad (6)$$

پس از تعیین پارامترهای توزیع، نوبت به محاسبه تابع توزیع تجمعی لوگ-لوگستیک x می‌رسد که فرم ریاضی آن به صورت زیر است:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma} \right)^\beta \right]^{-1} \quad (7)$$

حال می‌توان هر مقدار تجمعی x را در سطوح هم‌احتمال از توزیع تجمعی لوگ-لوگستیک ($F(x)$) به توزیع نرمال استاندارد (با میانگین صفر و واریانس یک) تبدیل کرد. به کمک تقریب، معادله تبدیل‌کننده توزیع لوگ-لوگستیک به توزیع نرمال استاندارد (معادله SPEI) به صورت زیر خواهد بود:

$$SPEI = W - \frac{C_0 - C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W - d_2 W^2 + d_3 W^3} \quad (8)$$

$$W = \sqrt{-2 \ln(p)} \quad \text{for } p \leq 0.5 \quad (9)$$

و $p = 1 - F(x)$ اگر $p > 0.5$ باشد، $1 - P$ جایگزین P در معادله فوق می‌شود. در شاخص SPEI هرچه پنجره‌ی زمانی کوتاه‌تر در نظر گرفته شود به تغییرات بارندگی و دمای ماهانه سریع‌تر واکنش نشان داده و نوسانات خشک‌سالی را بهتر نشان می‌دهد. دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPEI به طور پیوسته منفی و به مقدار -1 و یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPEI مثبت گردد (Bazrafshan and Khalili, 2013). کلاس‌های رطوبتی شاخص SPEI در جدول ۱ ارائه شده است.

که P و PET به ترتیب بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل، D اختلاف آن‌ها و i شماره ماه مورد نظر است. معادلات مختلفی برای محاسبه PET وجود دارد که در استفاده از هر یک از آن‌ها محدودیتی برای SPEI وجود ندارد.

پس از محاسبه مقادیر D ، از رهیافتی همانند شاخص بارش استاندارد (SPI) برای محاسبه SPEI استفاده می‌شود. برای این منظور، ابتدا مجموع مقادیر متوالی سری D در پنجره‌های زمانی مختلف محاسبه می‌شود. اگر x سری تجمعی D در پنجره زمانی معین باشد، در مرحله بعد یک توزیع نرمال مناسب بر سری x برازش می‌یابد. طبق بررسی‌های Vicente-serrano et al. (2010) توزیع لوگ-لوگستیک^۱ سه پارامتری، کارایی مناسبی در مدل‌سازی سری x دارد. فرم تابع چگالی احتمال توزیع مذکور به صورت زیر بیان شده است:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha} \right)^\beta \right]^{-2} \quad (1)$$

که در آن α ، β و γ به ترتیب پارامترهای مقیاس، شکل و مبدا و x سری تجمعی مقادیر D در پنجره زمانی معین است. پارامترهای این تابع با استفاده از روش L-گشتاور (Hosking, 1990) از معادلات زیر به دست می‌آیند:

$$\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \Gamma(1 - \frac{1}{\beta})} \quad (3)$$

$$\gamma = w_0 - \alpha \Gamma(1 + \frac{1}{\beta}) \Gamma(1 - \frac{1}{\beta}) \quad (4)$$

که Γ تابع گاما و w_0 ، w_1 ، w_2 و w_3 گشتاور وزنی احتمال هستند و از معادله زیر محاسبه می‌شوند:

^۱-Log-Logistic

جدول ۱- طبقه‌بندی خشکسالی براساس شاخص SPEI (McKee et al., 1993)

طبقه‌بندی خشکسالی	SPEI شاخص
ترسالی بسیار شدید	$SPEI \geq 2$
ترسالی شدید	$1/5 \leq SPEI \leq 1/99$
ترسالی متوسط	$1 \leq SPEI \leq 1/49$
نزدیک به نرمال	$-0/99 \leq SPEI \leq 0/99$
خشکسالی متوسط	$-1 \leq SPEI \leq -1/49$
خشکسالی شدید	$-1/5 \leq SPEI \leq -1/99$
خشکسالی بسیار شدید	$SPEI \leq -2$

(۱۱)

$$\text{Sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (X_j - X_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_j - X_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_j - X_k) < 0 \end{cases}$$

(ب) محاسبه واریانس

$$\text{Var} = \frac{n(n-1)(2n-5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (12)$$

که n تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. t نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.
(پ) استخراج آماره Z به کمک یکی از روابط زیر:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (14)$$

۲-۳. آزمون من-کندال

روش من-کندال توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی تصادفی بودن و روند سری زمانی داده‌های محیطی (Yue et al., 2002) پیشنهاد شده است. از این روش به‌طور گسترده برای تشخیص روند آزمون‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود (Guhathakurta et al., 2010). این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است. مراحل محاسبه مقدار آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح زیر:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n (X_j - X_k) \quad (10)$$

که n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز به شرح زیر مورد محاسبه است:

مختلفی را به خود گیرد. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می شود. (ج) محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین (M_2 و M_1) از طریق روابط زیر به دست می آید:

$$M_1 = \frac{N-Ca}{2} \quad (17)$$

$$M_2 = \frac{N+Ca}{2} \quad (18)$$

که N تعداد شیب های محاسبه شده در بند الف است. (د) مرحله نهایی این روش، آزمون کردن حدود اطمینان محاسبه شده است. به این ترتیب که از بین شیب های محاسبه شده توسط رابطه ۱۵، M_1 امین و M_{2+1} امین شیب ها استخراج می شوند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد، فرض صفر پذیرفته می شود و بر سری زمانی مورد آزمون نمی توان هیچ گونه روندی را در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد می شود و می توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی داری در سطح اعتماد مورد آزمون است (Cannarozzo et al., 2006).

۲-۵. آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن

این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن^۱ ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با ρ نمایش می دهند همواره بین +۱ و -۱ در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع مقارن است (Shong Chok, 2010).

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (19)$$

که در آن ρ ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده ها و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه می باشد. برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن از رابطه زیر آماره t محاسبه می شود که بعد از مقایسه آن با t جدول با درجه آزادی

که α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود و Z_α آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $a/2$ استفاده شده است (Araghinejad, 2013). در مطالعه حاضر، از سطح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ برای این آزمون استفاده شد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می شود.

۲-۴. آزمون سنس استیمیتور

در روش سنس استیمیتور نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره گرفته می شود. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن درباره معنی داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف استوار است. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر است (Juraj et al., 2009):
الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده ای با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (15)$$

که در آن، X_t و X_s به ترتیب داده های مشاهده ای در زمان های t و s که t یک واحد زمانی بعد از زمان s است. با اعمال رابطه ۱۵ برای هر جفت داده مشاهده ای، یک سری زمانی از شیب های محاسبه شده حاصل می شود که از محاسبه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) به دست می آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است. (ب) برای محاسبه پارامتر C_a سطوح اعتماد مورد آزمون به کمک رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_a = Z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{Var(s)} \quad (16)$$

که در آن، Z آماره توزیع نرمال استاندارد است و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اعتماد مورد آزمون می تواند مقادیر

¹ Charles Spearman

مدل درختی M5 توسعه‌ی ایده و مفهوم درختان رگرسیونی است که با یک ساختار درختی وارونه که شامل یک گره ریشه در بالاترین قسمت درخت، که به گره‌های دیگر و برگ‌ها منشعب می‌شود به صورت نمایشی و در غالب قوانین اگر-آنگاه نشان داده می‌شود. این مدل قادر به استخراج دانش به شکل روابط ریاضی از مجموعه داده‌ها است. اساس مدل درختی روش تقسیم و غلبه صفات برای نمونه‌هایی است که به یک گره می‌رسند. در ابتدا مدل درختی با تقسیم کردن فضای مسئله به صورت برگشتی یک درخت رگرسیونی می‌سازد. در این الگوریتم برای ایجاد شاخه در یک گره تقسیم از پارامتر انحراف معیار مقادیر متغیر هئف به عنوان یک معیار اندازه‌گیری خطا در آن گره استفاده می‌شود و آزمون برای انجام عملیات تقسیم در گره مذکور انجام شده، سپس صفتی که روی آن شاخه زده شود، انتخاب می‌شود. کاهش انحراف معیار استاندارد با استفاده از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود (Breiman et al., 1984).

$$SDR = sd(T) - \sum_i \frac{T_i}{T} \times sd(T_i) \quad (21)$$

در این رابطه، T ، T_i و Sd به ترتیب معرف نمونه‌های گره رسیده، مجموعه‌های حاصل از تقسیم گره بر اساس صفت انتخابی و انحراف معیار داده‌ها می‌باشند.

۲-۹. معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل‌ها از سه معیار، ضریب تبیین (R^2)، میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) طبق روابط ۲۲ تا ۲۴ استفاده شده است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (HS_{IO} - HS_{IE})^2}{\sum_{i=1}^N (HS_{IO} - \overline{HS}_O)^2} \quad (22)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (HS_{IO} - HS_{IE})^2}{n}} \quad (23)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |HS_{IO} - HS_{IE}| \quad (24)$$

در این روابط، N تعداد داده‌ها، HS_{IO} پارامتر خشکسالی_امنیت غذایی مشاهداتی، \overline{HS}_O میانگین پارامترهای خشکسالی_امنیت غذایی مشاهداتی، HS_{IO} پارامترهای خشکسالی_امنیت غذایی تخمینی است. ضریب R^2 نیز میزان همبستگی داده‌های مشاهداتی و تخمینی است. RMSE و MAE به ترتیب جذر

n-2 تصمیم‌گیری انجام می‌شود (Press and Teukolsky, 1992).

$$t = \frac{\rho \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-\rho^2}} \quad (20)$$

۲-۶. شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)

شبکه پرسپترون چندلایه نوعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی است که بر مبنای یک واحد محاسباتی به نام پرسپترون، ساخته شده است. یک پرسپترون، برداری از ورودی‌ها با مقادیر حقیقی را گرفته و یک ترکیب خطی از این ورودی‌ها را محاسبه می‌کند. این شبکه شامل یک لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است. برای آموزش این شبکه، معمولاً از الگوریتم پس انتشار استفاده می‌شود (Khanna, 1990).

۲-۷. سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS)

سیستم استنتاج فازی-عصبی از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند و همچنین با توجه به توانایی در ترکیب قدرت زبانی یک سیستم فازی با قدرت عددی یک شبکه عصبی، در مدل‌سازی فرایندهایی همچون هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، مدیریت مخازن و برآورد بار رسوب معلق بسیار قدرتمند است (Kişi, 2009). به منظور ساده‌سازی، فرض می‌شود که سیستم استنتاجی موردنظر دو ورودی x و y و یک خروجی z دارد. برای یک مدل فازی تاکاگی-سوگنو درجه اول، می‌توان یک مجموعه قانون نمونه را با دو قانون اگر-آنگاه فازی به صورت زیر بیان کرد:

$$= p_1x + q_1y + r_1z_1$$

قانون دوم: اگر x برابر A_2 و y برابر B_2 باشد آنگاه

$$= p_2x + q_2y + r_2z_2$$

که p_i ، q_i و r_i پارامترهای خطی در بخش تالی

مدل فازی تاکاگی-سوگنو درجه اول هستند (Nourani et al., 2009). ویژگی متمایزکننده ANFIS، فراهم کردن الگوریتم یادگیری پیوندی روش شیب پس انتشار و روش حداقل مربعات، به منظور اصلاح پارامترها است. جزئیات بیشتر این روش در منبع Jang et al. (1997) در دسترس است.

۲-۸. مدل درخت تصمیم (M5)

به عبارت دیگر با ۹۹٪ اطمینان می‌توان بیان نمود که شهرستان مذکور دارای روند افزایشی در سطح زیرکشت دو محصول استراتژیک گندم و جو می‌باشد.

شایان ذکر است که شهرستان نظرآباد که مرزی‌ترین شهرستان استان و در همسایگی استان قزوین می‌باشد؛ برخلاف سایر شهرستان‌های استان، روند افزایشی را در ارتباط با سطح زیرکشت محصول گندم و جو تجربه می‌کند.

همانطور که در جدول ۳ قابل مشاهده است؛ تحلیل روند متغیر تناژ دو محصول گندم و جو بیانگر کاهش بهره‌وری این دو محصول در سطح تمام شهرستان‌های استان البرز در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) است. به عبارت بهتر در تمامی شهرستان‌های استان البرز، مقدار تن در هکتار دو محصول گندم و جو دارای روند نزولی است که علت آن را می‌توان در تغییر کاربری‌های اراضی کشاورزی و همچنین خشکسالی‌های شدید اخیر جستجو کرد. اما نکته قابل توجه در بررسی شهرستان نظرآباد این است که این شهرستان برخلاف این که دارای روند صعودی در متغیر سطح زیرکشت محصول گندم و جو بوده است اما با این وجود میزان تناژ این دو محصول روند نزولی را تجربه کرده است. به عبارت دیگر با وجود افزایش سطح زیرکشت در این شهرستان شاهد افزایش تناژ این محصول نبوده و می‌توان علت تغییر کاربری‌های اراضی کشاورزی را با قاطعیت رد نمود.

اما این که بتوان با چه درصدی از قاطعیت در مورد تأثیر خشکسالی بر کاهش تناژ و همچنین کاهش سطح زیرکشت در شهرستان‌های البرز صحبت نمود؛ نیازمند تحلیل همبستگی و همچنین ارتباط سنجی متغیر تناژ گندم و جو با یکی از شاخص‌های جامع خشکسالی است. با توجه به این که شاخص خشکسالی SPEI علاوه بر پارامتر بارش، متغیر دما را نیز دربرمی‌گیرد لذا در این تحقیق از شاخص خشکسالی SPEI به منظور ارتباط-سنجی با متغیر تناژ گندم و جو استفاده شد. نکته قابل توجه دیگر در این پژوهش استفاده از محصول گندم و جو در سطح استان می‌باشد که علت آن را می‌توان در تأمین بیش از ۶۷٪ غذای استان از این دو محصول عنوان کرد.

میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق داده‌های تخمینی و مشاهداتی را بیان می‌کند. واضح است که هر چه این مقادیر کمتر و نزدیک به صفر باشند، نشان‌دهنده این است که آموزش و مدل‌سازی داده‌ها بهتر صورت گرفته است.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. تعیین روند تغییرات سطح زیر کشت و تناژ گندم و جو

برای تعیین روند سطح زیرکشت و تناژ محصولات گندم و جو در شهرستان‌های استان البرز، از آماره‌های من-کندال و سنس استیمیتور استفاده شد که نتایج آن در جداول ۲ و ۳ قابل مشاهده است. این جداول مشخص می‌کند که در شهرستان‌های مورد مطالعه در استان البرز، روند و آهنگ تغییرات سطح زیرکشت و تناژ به صورت افزایشی یا کاهش‌ی است و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ تأکیدی بر روند در همان شهرستان است. از آنجایی که از دو آزمون و بازه آماری بلندمدت ۲۱ ساله (۱۳۸۰-۱۴۰۰) برای تعیین روند استفاده شد، جداول ۲ و ۳ می‌تواند برای تصمیم‌گیری‌های آینده مفید واقع شود. از مجموع ۶ شهرستان مورد مطالعه در استان البرز، نتایج آزمون من-کندال و سنس استیمیتور نشان می‌دهند که به جز شهرستان نظرآباد، تمامی شهرستان‌های مورد مطالعه دارای روند کاهش‌ی در ارتباط با متغیر سطح زیرکشت گندم و جو می‌باشند. به عبارت دیگر، به دلایل مختلف از جمله تغییر کاربری‌های غیرمجاز و از بین رفتن پوشش گیاهی در سطح استان، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های اخیر، سطح زیرکشت محصولات کشاورزی علی‌الخصوص گندم و جو رو به افول می‌باشد. آماره من-کندال شهرستان‌های طالقان تا کرج از ۱/۱۵- تا ۰/۱۳- متغیر می‌باشد. همچنین آماره من-کندال مربوط به سطح زیرکشت گندم و جو در شهرستان نظرآباد ۱/۱۵۲+ بوده که دلیلی بر افزایش کشت محصول استراتژیک گندم و جو در این شهرستان می‌باشد. آماره سنس استیمیتور مربوط به سطح زیرکشت گندم و جو از شهرستان‌های طالقان تا کرج از ۰/۱۸- تا ۰/۳۹- متغیر است. همچنین آماره مربوط به شهرستان نظرآباد که برخلاف شهرستان‌های دیگر در تعیین روند سطح زیرکشت دو محصول گندم و جو عمل کرده است؛ ۱/۵۱+ بوده که در سطح اطمینان ۹۹٪ نیز معنادار می‌باشد.

جدول ۲- نتایج آماره من- کندال و سنس استیمیتور برای متغیر سطح زیر کشت گندم و جو در مقیاس سالانه (۱۴۰۰-۱۳۸۰)

ردیف	شهرستان	Mann-Kendall	Q _{med}	Q _{min95}	Q _{max95}	Q _{min99}	Q _{max99}
۱	طالقان	-۱/۱۵	-۰/۱۸	۰	۰	-۰/۱۷	۰
۲	اشتهارد	-۰/۷۸	-۰/۷۳	۰	-۰/۰۷	۰	۰
۳	ساوجبلاق	-۰/۴۳	-۰/۲۶	-۰/۱۳	-۰/۲۲	۰	۰
۴	نظرآباد	+۱/۱۵۲	+۱/۵۱**	+۰/۰۴	۰	+۰/۲۳	+۰/۱۱
۵	فردیس	-۱/۶۳۶	-۰/۴۲	۰	۰	۰	-۰/۰۳
۶	کرج	-۰/۹۳	-۰/۳۹	۰	-۰/۱۹	۰	۰

جدول ۳- نتایج آماره من- کندال و سنس استیمیتور برای متغیر تناژ (تن در هکتار) گندم و جو در مقیاس سالانه (۱۴۰۰-۱۳۸۰)

ردیف	شهرستان	Mann-Kendall	Q _{med}	Q _{min95}	Q _{max95}	Q _{min99}	Q _{max99}
۱	طالقان	-۱/۱۱	۰	۰	-۰/۲۰	۰	۰
۲	اشتهارد	-۱/۰۷	-۰/۱۷	-۰/۰۴	-۰/۱۲	۰	۰
۳	ساوجبلاق	-۰/۷۳	-۰/۱۱	-۰/۳۷	-۰/۴۱	۰	-۰/۰۷
۴	نظرآباد	-۰/۲۸	۰	۰	۰	-۰/۵۲	۰
۵	فردیس	-۰/۱۱	۰	۰	۰	-۰/۱۱	-۰/۰۲
۶	کرج	-۰/۲۷	-۰/۰۳	۰	-۰/۰۳	۰	۰

۲-۳. ارتباط سنجی شاخص های خشکسالی و امنیت غذایی

عصبی مصنوعی و همچنین پارامترهای مدل درخت تصمیم در جدول ۴ آورده شده است. تعداد نرون در مدل سازی و ارتباط -سنجی شاخص SPEI و متغیر تناژ گندم و جو به ترتیب ۴ و ۵ به دست آمد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی مدل های بهینه برای دور آموزش و آزمون به منظور بررسی ارتباط شاخص های خشکسالی - امنیت غذایی در جدول ۵ ارائه شده است.

محرك در لایه خروجی و لایه پنهان و تعداد مختلف نرون های لایه پنهان برای بررسی ارتباط پارامترهای خشکسالی - امنیت غذایی شامل شاخص SPEI و متغیر تناژ گندم و جو در استان البرز، مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات مدل های شبکه

جدول ۴- مشخصات مدل های بهینه ANN، M5 و ANFIS برای ارتباط سنجی پارامترهای خشکسالی - امنیت غذایی

روش	مدل	شاخص	مشخصات مدل
ANN	۱	خشکسالی - امنیت غذایی	تتناژ (تن در هکتار) گندم و جو
	۲	شاخص SPEI	تعداد نرون
روش	مدل	شاخص	مشخصات مدل
	شماره طبقه بندی تابع	پارامتر	معادلات

خشکسالی-امنیت غذایی		خشکسالی-امنیت غذایی	
M5	۱	تناژ (تن در هکتار) گندم و جو	LM num: 2
	۲	شاخص SPEI	LM num: 1
		شاخص	مشخصات مدل
روش	مدل	خشکسالی-امنیت غذایی	نوع تابع عضویت نوع تابع عضویت خروجی تعداد تابع عضویت
ANFIS	۱	تناژ (تن در هکتار) گندم و جو	Trimf مثلثی
	۲	شاخص SPEI	Trapmf ذوزنقه

همانطور که از جدول ۵ قابل استنباط است؛ ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی-امنیت غذایی در تمامی روش‌ها مشهود می‌باشد. به طوریکه در شهرستان طالقان معیارهای نکوئی برازش R^2 ، RMSE و MAE روش‌های ANN، Spearman، ANFIS و M5 به ترتیب از ۰/۷۵۲ تا ۰/۷۳۶، ۰/۲۴۲ تا ۰/۲۱۷ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۴ متغیر است. همچنین در شهرستان کرج معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE و MAE روش‌های ANN، Spearman، ANFIS و M5 به ترتیب از ۰/۸۴۷ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۰۹ تا ۰/۲۵۳ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۱ متغیر می‌باشد. شایان ذکر است در بین الگوریتم‌های استفاده شده، روش درخت تصمیم M5 بهترین مدل به منظور ارتباط‌سنجی بین متغیرهای خشکسالی و امنیت غذایی بوده است. به طوریکه R^2 ، RMSE و MAE مدل مذکور از شهرستان طالقان تا شهرستان کرج از ۰/۷۳۶، ۰/۲۱۷ و ۰/۱۱۴ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۵۳ و ۰/۱۱۱ متغیر است. همچنین در نبود مدل درخت تصمیم از سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی می‌توان به‌عنوان بهترین روش در بین مدل‌های مورد استفاده یاد کرد.

به‌عنوان مثال شهرستان نظرآباد که دارای روند صعودی در سطح زیرکشت و روند نزولی در تناژ دو محصول گندم و جو می‌باشد؛ هر چهار مدل همبستگی بالایی بین شاخص خشکسالی SPEI و تناژ گندم و جو را به ثبت رساندند. به طوریکه معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE و MAE در روش‌های

Spearman، ANN، ANFIS و M5 به ترتیب از ۰/۸۱۱ تا ۰/۸۲۷، ۰/۲۲۳ تا ۰/۲۴۲ و ۰/۱۲۲ تا ۰/۱۱۹ متغیر است که در این شهرستان نیز مدل‌های درخت تصمیم و همچنین سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی در بررسی ارتباط شاخص‌های خشکسالی-امنیت غذایی به ثبت رساندند.

با توجه به این که مدل درخت تصمیم حجم محاسبات و کدنویسی کمتری دارد و به تبع آن هزینه‌های مدل مذکور نسبت به سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی بیشتر بوده لذا استفاده از مدل درخت تصمیم در ارتباط‌سنجی پارامترهای خشک-سالی-امنیت غذایی ارجحیت دارد. همچنین در بین مدل‌های استفاده شده به منظور ارتباط‌سنجی پارامترهای خشک-سالی-امنیت غذایی روش Spearman نسبت به روش‌های سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل درخت تصمیم از دقت کمتری برخوردار است. اما نکته قابل توجه در مورد روش Spearman نوع رابطه خطی و عملکرد ساده این روش نسبت به سه مدل مذکور می‌باشد که با توجه به نسبت سود به هزینه این روش می‌توان از آن به‌عنوان یکی از مدل‌های ساده و مناسب به منظور ارتباط‌سنجی پارامترهای خشک‌سالی-امنیت غذایی نام برد. به طوریکه معیارهای نکوئی برازش R^2 ، RMSE و MAE روش Spearman از شهرستان‌های طالقان تا کرج به ترتیب از ۰/۷۵۲، ۰/۲۴۲ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۸۴۷، ۰/۲۰۹ و ۰/۱۰۷ متغیر می‌باشد.

همانطور که از جدول ۵ قابل استنباط است؛ ارتباط بین شاخص‌های خشکسالی-امنیت غذایی در تمامی روش‌ها مشهود می‌باشد. به طوریکه در شهرستان طالقان معیارهای نکوئی برازش R^2 ، RMSE و MAE روش‌های ANN، Spearman، ANFIS و M5 به ترتیب از ۰/۷۵۲ تا ۰/۷۳۶، ۰/۲۴۲ تا ۰/۲۱۷ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۴ متغیر است. همچنین در شهرستان کرج معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE و MAE روش‌های ANN، Spearman، ANFIS و M5 به ترتیب از ۰/۸۴۷ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۰۹ تا ۰/۲۵۳ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۱ متغیر می‌باشد. شایان ذکر است در بین الگوریتم‌های استفاده شده، روش درخت تصمیم M5 بهترین مدل به منظور ارتباط‌سنجی بین متغیرهای خشکسالی و امنیت غذایی بوده است. به طوریکه R^2 ، RMSE و MAE مدل مذکور از شهرستان طالقان تا شهرستان کرج از ۰/۷۳۶، ۰/۲۱۷ و ۰/۱۱۴ تا ۰/۸۳۷، ۰/۲۵۳ و ۰/۱۱۱ متغیر است. همچنین در نبود مدل درخت تصمیم از سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی می‌توان به‌عنوان بهترین روش در بین مدل‌های مورد استفاده یاد کرد.

به‌عنوان مثال شهرستان نظرآباد که دارای روند صعودی در سطح زیرکشت و روند نزولی در تناژ دو محصول گندم و جو می‌باشد؛ هر چهار مدل همبستگی بالایی بین شاخص خشکسالی SPEI و تناژ گندم و جو را به ثبت رساندند. به طوریکه معیارهای ارزیابی R^2 ، RMSE و MAE در روش‌های

بر اساس نتایج مذکور قطعاً رابطه قوی بین پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی با درجات مختلفی از تأثیر متقابل برقرار است. بنابراین اگر از وضعیت امنیت غذایی منطقه‌ای اطلاعاتی وجود نداشته باشد، می‌توان با داشتن اطلاعات مربوط به خشکسالی در مورد وضعیت امنیت غذایی آن منطقه اظهار نظر کرد (و بالعکس) و برای آینده آن منطقه برنامه‌ریزی نمود که نتایج این قسمت با مطالعات خیز و همکاران (۱۳۹۷)، کیانی قلعه سرد و همکاران (۱۳۹۷) و سواری (۱۴۰۲) مطابقت دارد.

نکته قابل توجه دیگری که در تحلیل جدول ۵ می‌توان به آن اشاره نمود عملکرد مناسب معیارهای ارزیابی در شهرستان‌های ساوجبلاق، نظرآباد، فردیس و کرج می‌باشد. به طوریکه هرچه از سمت شهرستان طالقان به سمت شهرستان کرج پیشروی می‌کنیم؛ معیارهای نکوئی برآزش بهبود می‌یابد. به نحوی که معیارهای خطای RMSE و MAE در شهرستان‌های فردیس و کرج به ترتیب از ۰/۲۰۹ تا ۰/۲۱۷، ۰/۱۲۳ تا ۰/۱۱۸، ۰/۲۰۹ تا ۰/۲۵۳ و ۰/۱۰۷ تا ۰/۱۱۱ متغیر است.

جدول ۵- نتایج مدل‌های بهینه Spearman، ANN، M5 و ANFIS برای ارتباط سنجی پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی

شهرستان	روش	R ²		RMSE		MAE	
		آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
طالقان	Spearman	۰/۷۱۱	۰/۷۵۲	۰/۲۰۳	۰/۲۴۲	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷
	ANN	۰/۷۲۳	۰/۷۵۱	۰/۲۱۱	۰/۲۲۲	۰/۱۰۳	۰/۱۱۹
	ANFIS	۰/۷۱۴	۰/۷۲۳	۰/۲۰۲	۰/۲۰۹	۰/۱۰۶	۰/۱۱۱
	M5	۰/۷۲۹	۰/۷۳۶	۰/۲۰۷	۰/۲۱۷	۰/۱۱۱	۰/۱۱۴
اشتهارد	Spearman	۰/۸۱۴	۰/۸۱۷	۰/۲۱۴	۰/۲۲۵	۰/۱۲۱	۰/۱۲۷
	ANN	۰/۸۲۷	۰/۸۳۳	۰/۲۱۷	۰/۲۳۲	۰/۱۰۲	۰/۱۰۶
	ANFIS	۰/۸۱۴	۰/۸۲۹	۰/۲۲۱	۰/۲۴۱	۰/۰۹۶	۰/۱۰۱
	M5	۰/۸۷۳	۰/۸۷۹	۰/۲۰۲	۰/۲۲۶	۰/۱۰۴	۰/۱۰۷
ساوجبلاق	Spearman	۰/۸۱۳	۰/۸۱۷	۰/۲۱۱	۰/۲۱۷	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵
	ANN	۰/۸۰۲	۰/۸۰۹	۰/۲۱۹	۰/۲۲۳	۰/۱۱۷	۰/۱۱۹
	ANFIS	۰/۸۵۶	۰/۸۶۱	۰/۲۱۰	۰/۲۱۴	۰/۱۲۱	۰/۱۳۲
	M5	۰/۸۴۱	۰/۸۴۱	۰/۲۰۷	۰/۲۰۹	۰/۱۰۳	۰/۱۱۱
نظرآباد	Spearman	۰/۸۰۸	۰/۸۱۱	۰/۲۱۲	۰/۲۲۳	۰/۱۰۹	۰/۱۲۲
	ANN	۰/۸۰۱	۰/۸۲۳	۰/۲۱۴	۰/۲۲۸	۰/۰۹۱	۰/۰۹۹
	ANFIS	۰/۸۸۷	۰/۸۸۹	۰/۲۰۹	۰/۲۳۱	۰/۰۹۶	۰/۰۹۶
	M5	۰/۸۱۱	۰/۸۲۷	۰/۲۰۵	۰/۲۴۲	۰/۱۰۷	۰/۱۱۹
فردیس	Spearman	۰/۸۱۴	۰/۸۲۳	۰/۲۰۶	۰/۲۰۹	۰/۱۱۱	۰/۱۲۳
	ANN	۰/۸۲۶	۰/۸۳۱	۰/۱۹۸	۰/۲۲۳	۰/۰۹۴	۰/۱۰۴
	ANFIS	۰/۸۲۹	۰/۸۵۶	۰/۲۳۱	۰/۲۵۲	۰/۱۲۵	۰/۱۲۹
	M5	۰/۸۰۲	۰/۸۱۳	۰/۲۰۲	۰/۲۱۷	۰/۱۱۱	۰/۱۱۸
کرج	Spearman	۰/۸۴۱	۰/۸۴۷	۰/۲۰۵	۰/۲۰۹	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷
	ANN	۰/۸۴۶	۰/۸۴۹	۰/۲۰۹	۰/۲۲۱	۰/۱۱۷	۰/۱۲۳
	ANFIS	۰/۸۰۸	۰/۸۵۱	۰/۲۲۳	۰/۲۴۲	۰/۱۱۸	۰/۱۲۴

۴. نتیجه گیری

نتیجه دیگری که می‌توان از این پژوهش استنتاج نمود ارتباط بالای بین داده‌های مربوط به خشکسالی با میزان عملکرد دو محصول گندم و جو بود. به طوریکه به عنوان مثال در شهرستان نظرآباد، با وجود این که سطح زیرکشت محصولات مذکور افزایش پیدا کرده بود اما میزان تناژ گندم و جو روند نزولی به خود گرفته بود که علت آن را می‌توان در خشکسالی‌های شدید اخیر استان البرز جستجو کرد. با توجه به ارتباط شدید پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی می‌توان با داشتن اطلاعات خشکسالی منطقه در ارتباط با پارامترهای امنیت غذایی آن جامعه اظهار نظر کرد و به طور متقابل با داشتن اطلاعات مربوط به سید غذایی یک منطقه می‌توان در مورد شاخص‌های خشکسالی صحبت نمود و برای آینده آن منطقه برنامه‌ریزی انجام داد. همچنین استفاده از مدل درخت تصمیم M5 به منظور ارتباط-سنجی شاخص‌های خشکسالی-امنیت غذایی با در نظر گرفتن سناریوهای آینده‌نگاری به عنوان ابزاری در مدیریت امنیت غذایی توصیه می‌شود.

۵. منابع

۱. اسمعیل‌نژاد. (۱۴۰۰). واکاوی بازتاب تغییرات اقلیمی در امنیت غذایی زنان روستایی (مورد مطالعه: دهستان کوهک-اسفندک در شهرستان سراوان). فصلنامه روستا و توسعه پایدار فضا، ۲(۱)، ۴۰-۵۷.
۲. جمینی، د.، امینی، ع.، قادرمرزی، ح. و توکلی، ج. (۱۳۹۶). سنجش امنیت غذایی و واکاوی چالش‌های آن در مناطق روستایی (مطالعه موردی: دهستان بدر، شهرستان روانسر). فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۷(۲۷)، ۸۷-۱۰۲.
۳. خیز، ز.، زیبایی، م. و فرج‌زاده، ز. (۱۳۹۷). تأثیر خشکسالی بر درآمد و رفاه خانوارها و شاخص تولید غذا. اقتصاد کشاورزی، ۱۲(۲)، ۲۱-۴۳.
۴. سواری، م. (۱۴۰۲). الگوی پیشنهادی امنیت غذایی پایدار در شرایط خشکسالی در استان کردستان. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۹(۴)، ۸۱-۱۰۴.

هدف از این پژوهش در وهله نخست انتخاب یک مدل برتر به منظور ارتباط‌سنجی بین پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز بود. بدین جهت از داده‌های مربوط به بارش و دما به منظور محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI و همچنین داده‌های مربوط به سطح زیرکشت و تناژ (تن در هکتار) دو محصول استراتژیک گندم و جو که بیش از ۴۳٪ غذای استان را تأمین می‌کند، در بازه زمانی ۲۱ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۰) استفاده شد. در این پژوهش از شاخص خشکسالی هواشناسی SPEI که علاوه بر متغیر بارش، متغیر دما را نیز به منظور محاسبه و تعریف جامع خشکسالی دربرمی‌گیرد؛ استفاده گردید. شایان ذکر است برای بررسی ارتباط‌سنجی پارامترهای خشکسالی-امنیت غذایی در استان البرز چهار روش ANFIS، ANN، Spearman و M5 مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بین الگوریتم‌های استفاده شده، روش درخت تصمیم M5 بهترین مدل به منظور ارتباط‌سنجی بین متغیرهای خشکسالی و امنیت غذایی بوده است. همچنین در نبود مدل درخت تصمیم از سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی می‌توان به‌عنوان بهترین روش در بین مدل‌های مورد استفاده یاد کرد.

با توجه به این که مدل درخت تصمیم حجم محاسبات و کدنویسی کمتری دارد و به تبع آن هزینه‌های مدل مذکور نسبت به سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی بیشتر بوده لذا استفاده از مدل درخت تصمیم در ارتباط‌سنجی پارامترهای خشک-سالی-امنیت غذایی ارجحیت دارد. همچنین در بین مدل‌های استفاده شده به منظور ارتباط‌سنجی پارامترهای خشک-سالی-امنیت غذایی روش Spearman نسبت به روش‌های سیستم استنباط عصبی فازی تطبیقی، شبکه عصبی مصنوعی و مدل درخت تصمیم از دقت کمتری برخوردار بود. اما نکته قابل توجه دیگری که در مورد روش Spearman صادق است نوع رابطه خطی و عملکرد ساده این روش نسبت به سه مدل مذکور می‌باشد که باتوجه به نسبت سود به هزینه این روش می‌توان از آن به عنوان یکی از مدل‌های ساده و مناسب به منظور ارتباط-سنجی پارامترهای خشک‌سالی-امنیت غذایی نام برد.

18. Food Security Network. 2012. Concept of food security [Internet]. Retrieved from <http://www.foodsecuritynews.com/What-is-foodsecurity.htm>.
19. Garnett, T. 2013. Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation. What role for LCA?, *Journal of Cleaner Production*, 4(14): 41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.045>.
20. Guhathakurta, P., Menon, P., Mazumdar, A. B., and Sreejith, O. P. (2010). Changes in extreme rainfall events and flood risk in India during the last century. *National Climatic Centre, Research Report*, 3, 1-20.
21. Hosking, J. R. (1990). L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the royal statistical society. Series B (Methodological)*, 105-124.
22. Jang, J. S. R., Sun, C. T., & Mizutani, E. (1997). "Neuro-fuzzy and soft computing-a computational approach to learning and machine intelligence." *IEEE Transactions on automatic control*, 42(10), 1482-1484.
23. Khanna, T. (1990). *Foundation of neural networks*. Addison-Wesley Publishing Company. U.S.A. 327 pp.
24. Kişi, Ö. (2009). "Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation." *Journal of Hydrology*, 372(1-4), 68-79.
25. Krattson, C., Haves, M. and Philips, T. (1998) How to reduce drought risk. Western drought coordination council. Retrieved from: <http://enso.unl.edu/handbook/risk.pdf>.
26. Lejour, A., de Mooij, R. and Capel, C. (2004) *Assessing the economic implications of Turkish accession to the EU*. CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis.
27. Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
28. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology: American Meteorological Society*, 17(22), 179-183.
29. Misselhorn, A.; P. Aggarwal, P. Ericksen, P. Gregory, L. H. Phathanothai, J. Ingram and K. Wiebe. 2012. A vision for attaining food security. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4, 7- 17.
۵. کیانی قلعه سرد، س.، شهرکی، ج.، اکبری، ا. و سردار شهرکی، ع. (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۸(۲۲)، ۱۹-۴۰.
6. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
7. Araghinejad, S. (2013). *Data-driven modeling: using MATLAB® in water resources and environmental engineering (Vol. 67)*. Springer Science & Business Media, 292 pp.
8. Bazrafshan, J., and Khalili, A. (2013). Spatial analysis of drought over Iran during 1963-2003. *Desert*, 18, 63-71.
9. Breiman L, Friedman J, Olshen R, Stone C, (1984) *Classification and Regression Trees*, Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL. Development of a decision tree modeling approach. *Geoderma* 139, Pp. 277-287.
10. Butler, C., and McFarlane R., (2018), *Climate Change, Food Security, and Population Health in the Anthropocene.*, *Encyclopedia of the Anthropocene*, Vol. 2, pp 453-459.
11. Cannarozzo, M., Noto, L. V., Viola, F., 2006. Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921-2000). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(18), 1201-1211.
12. Changnon Jr, S.A. and Easterling, W.E. (1989) Measuring drought impacts. *Journal of the American Water Resources Association*, 25(1): 27-42.
13. Chemingui, M.A. and Dessus, S. (2008) Assessing non-tariff barriers in Syria. *Journal of Policy Modeling*, 55(30): 917-928.
14. Diagne, R. 2013. *Food security and agricultural liberalization*, thesis for obtaining doctor of economic sciences, rapporteur: mr. jerome ballet, Universite de nice sophia antipolis.
15. Fæhn, T. and Holmøy, E. (2003) Trade liberalisation and effects on pollutive emissions to air and deposits of solid waste. A general equilibrium assessment for Norway. *Economic Modelling*, 20(7): 703-727.
16. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2018. *The state of food security and nutrition in the world 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. (FAO), Rome, Italy.
17. Food and Agriculture Organization (FAO). (2011) *Drought-related food insecurity: A focus on the Horn of Africa*.

41. Wilhite, D.A., Betterill, L. and Monnik, K. (2005) National drought policy: Lessons Learned from Australia, South Africa and the United States. In Wilhite, D.A. (ed.). Drought and water crises: Science, technology, and management issues. Taylor & Francis Group.
42. Winchester, N. (2009) Is there a dirty little secret? Non-tariff barriers and the gains from trade. *Journal of Policy Modeling*, 31, 819-834.
43. World Bank. 2009. Water Resource Management. [online] Available at: <http://web.worldbank.org/wbsite/external/topics/extwat/0..contentmdk:21630583~menuupk:4602445~pagepk:148956~pipk:216618~thesitepk:4602123,00html>.
44. Wossen, T., Berger, T., Haile, M.G. & Troost, C. (2017), Impacts of climate variability and food price volatility on household income and food security of farm households in East and West Africa. *Agricultural Systems*.
45. Young, R.A. (1995) Coping with a severe sustained drought on the Colorado River: Introduction and overview. *Journal of the American Water Resources Association*, 31(5): 779-788.
46. Yousefi, A., Khalilan, S. and Hajian, M.H. (2010) The role of water in Iranian economy: A CGE modeling approach, 11th Conference on Economic Modelling, Istanbul, 7-11 July.
47. Yue, S., Pilon, P., and Cavadias, G. (2002). Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, 259(1-4), 254-271.
48. Zeller, M. 2006. An Operational Method for Assessing the Poverty Outreach Performance of Development Policies and Projects: Results of Case Studies in Africa, Asia, and Latin America. *World Development*, 34 (3): 446.
30. Nairizi, S. (2003) Drought management strategies risk management versus management Retrieved. <www.wg-iadws.icidonline.org>.
31. Nourani, V., Komasi, M., and Mano, A. (2009). "A multivariate ANN-wavelet approach for rainfall-runoff modeling." *Water resources management*, 23(14), 2877.
32. Palmer, W. C. (1965) Meteorological drought, Washington, D.C., USA: US Department of Commerce, Weather Bureau.
33. Paul, B.K. (1998) Coping mechanisms practiced by drought victims (1994/5) in North Bengal, Bangladesh. *Applied Geograpy*, 18(4): 355-373.
34. Press, V., and Teukolsky, F. (1992). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing* (2nd Ed.). *Journal of Simulation*, 31(1), 640.
35. Shong Chok, N. (2010). Pearson's Versus Spearman's and Kendal's Correlation Coefficients for Continuous Data. M.Sc. thesis, University of Pittsburgh, 43pp.
36. Stage, F.K., Carter, H.C. and Nora, A. (2004) Path analysis: An introduction and analysis of a decade of research. *The Journal of Educational Research*, 98(1): 5-13.
37. Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.
38. Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, *Journal of Climatology*, 23(7), 1696-718.
39. Wilhite, D.A. and Glantz, M.H. (1985) Understanding: The drought phenomenon: The role of definitions. *Water international*, 10(3): 111-120.
40. Wilhite, D.A. and Pulwarty, R.S. (2005) Drought and water crises: Lessons learned and the road ahead. In Wilhite, D.A. (ed.). Drought and water crises: Science, technology, and management issues. Taylor & Francis Group.