Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.12, Issue 36, June 2023

Investigation of Vulnerability and Spatial Analysis of Drought Risk in the Agricultural Sector in Iran

Hossain Mohammadi[1*], Naser Izadi[2], Elaheh Ghasemi Garkani[3]

1. *Corresponding Author*, Professor of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tehran University, Iran
2. PhD Student of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tehran University, Iran
3. PhD Student of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Tehran University, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 01 April 2022
Revised: 29 June 2022
Accepted: 02 August 2022

Keywords:
Drought Risk, Physical Components, Socio-Economic Components, Fuzzy Logic, AHP Method.

ABSTRACT

The nature of the drought is multidimensional and dynamic, and drought risk management plays a vital role in studying drought risk and vulnerability. Iran is always facing this meteorological phenomenon by being in the middle latitudes. Drought risk is defined as the risk index and vulnerability index function. In this study, vulnerability index with physical components including altitude, water system, land use and socio-economic components, the ratio of net production to total production, population density in agriculture, population density, the ratio of rainfed land to total land and number of livestock (1000 heads Per square meter) using standardized fuzzy membership functions and criteria, and each is given a specific weight according to the AHP method. All the maps are combined, and the map of land vulnerability to drought is obtained. According to the results, the southern, southeastern, and central regions are relatively less vulnerable to drought. As we move west, north, and northeast of the country, the number of vulnerabilities increases, the causes of which can be significantly affected by the characteristics. He knew the climate and physics of these areas. Finally, the drought risk map was drawn with the SPI index for 12 months, and after weighing and converting it into a fuzzy map, it was combined with the vulnerability index map. The drought risk map indicates the prevalence of relatively high drought risk in a large area of Iran. With the help of these maps, it is possible to develop micro or macro development plans, especially in the agricultural sector for each part of the country.

Cite this article: Mohammadi, H., Iizadi, N., & Ghasemi Garkani, E. (2023). Investigation of Vulnerability and Spatial Analysis of Drought Risk in the Agricultural Sector in Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(36), 79-98. DOI: 10.22111/jneh.2022.41968.1892

© Hossain Mohammadi.
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2022.41968.1892

* Corresponding Author Email: hmmohammadi@ut.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۶، تیر ۱۴۰۲

بررسی آسیب‌پذیری و تحلیل فضایی ریسک خشکسالی بخش کشاورزی در ایران

حسین محمدی[1*]، ناصر ایزدی[2]، الهه قاسمی گرکانی[3]

۱. استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران
۳. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۰۵/۱۱

واژه‌های کلیدی:
خطر خشکسالی، مؤلفه‌های فیزیکی، مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی، منطق فازی، روش AHP.

چکیده

ماهیت خشکسالی چندبعدی و پویا است و در مطالعه خطر خشکسالی و آسیب‌پذیری، مدیریت ریسک خشکسالی نقش مهمی دارد. ایران با قرارگرفتن در عرض‌های میانه همواره با این پدیده هواشناختی مواجه است. ریسک خشکسالی به‌صورت تابعی از شاخص خطر و شاخص آسیب‌پذیری تعریف می‌گردد. در این مطالعه شاخص آسیب‌پذیری با مؤلفه‌های فیزیکی شامل ارتفاع، سیستم آب، کاربری اراضی و مؤلفه‌های اقتصادی-اجتماعی، نسبت تولید خالص به‌کل تولید خالص، تراکم جمعیت شاغل در بخش کشاورزی، تراکم جمعیت، نسبت اراضی دیم به‌کل اراضی و تعداد احشام (۱۰۰۰ رأس در کیلومتر مربع) با استفاده از توابع عضویت فازی و معیارهای درنظر گرفته‌شده، استاندارد شده است و به هرکدام بر اساس روش AHP وزن خاصی داده شده است. سپس همه نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و نقشه آسیب‌پذیری اراضی نسبت به خشکسالی به‌دست آمده است. بر اساس نتایج حاصله مناطق جنوبی، جنوب شرقی و مرکز جز مناطق نسبتاً کم آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی بوده و هر چه به سمت غرب ، شمال و شمال شرق کشور پیش می‌رویم بر میزان آسیب‌پذیری افزوده می‌گردد که می‌توان علل آن را تا حدود زیادی متأثر از ویژگی‌های اقلیمی و فیزیکی این مناطق دانست. درنهایت، نقشه خطر خشکسالی با نمایه SPI در بازه ۱۲ ماه ترسیم و پس از وزن¬دهی و تبدیل به نقشه فازی با نقشه شاخص آسیب‌پذیری ترکیب شد. نقشه ریسک خشکسالی حاکی از سیطره وسیع ریسک نسبتاً زیاد خشکسالی در پهنه وسیعی از ایران است و با کمک این نقشه‌ها، می‌توان برنامه‌های خرد و یا کلان توسعه به¬خصوص در بخش کشاورزی را برای هر یک از نقاط کشور تدوین کرد.

استناد: محمدی, حسین, ایزدی, ناصر, قاسمی گرکانی, الهه. (۱۴۰۲). بررسی آسیب‌پذیری و تحلیل فضایی ریسک خشکسالی بخش کشاورزی در ایران. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۲(۳۶) ، ۹۸-۷۹. DOI: 10.22111/jneh.2022.41968.1892

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© حسین محمدی*، ناصر ایزدی، الهه قاسمی گرکانی.

*- حسین محمدی (نویسنده مسئول) Email: hmmohammadi@ut.ac.ir

مقدمه

خشکسالی جز لاینفک از آب‌وهوا در تمام مناطق جهان است. ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست. ازنظر توزیع جغرافیایی، ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان قرار دارد و طبیعت این نوع مناطق با کمبود بارندگی مشخص می‌شود. به‌طوری‌که این کمبود بارش عامل خشکسالی و بلایای طولانی‌مدت در دهه‌های گذشته و خسارت‌های ناشی از آن بوده و تأثیر زیادی بر اقتصاد و رفاه عمومی داشته است. بسیاری از بلایای طبیعی که بشر با آن مواجه است مربوط به آب‌وهوا است که می‌تواند به‌واسطه خطرات طبیعی همانند خشکسالی، کمبود آب، سیل و طوفان موجب از دست‌دادن دارایی، محصولات کشاورزی و تلفات دام گردد (هالگات[1] و همکاران، ۲۰۱۶). خشکسالی یکی از تأثیرگذارترین مخاطرات طبیعی است که با بیشترین تأثیر منفی بر معیشت انسان رتبه‌بندی می‌شود. (آرنولد[2] و همکاران، ۲۰۰۶). خشکسالی به‌دلیل مواردی که برشمرده می‌شود با سایر مخاطرات طبیعی متفاوت است: ۱) هیچ تعریف جهانی واحدی از آن وجود ندارد، ۲) تعیین شروع و پایان رویداد دشوار است، ۳) مدت‌زمان آن ممکن است از ماه‌ها تا سال‌ها متغیر باشد و منطقه اصلی یا کانون آن در طول زمان تغییر کند و این امر نیاز به نظارت مداوم بر شاخص‌های آب‌وهوایی را تقویت می‌کند، ۴) هیچ شاخصی نمی‌تواند دقیقاً شروع و شدت رویداد و تأثیرات احتمالی آن را مشخص کند، ۵) شاخص‌های متعددی در رخداد آن مؤثر هستند، ۶) وسعت فضایی آن معمولاً بسیار بیشتر از سایر مخاطرات طبیعی است؛ درنتیجه ارزیابی و اقدام در برابر آن دشوار بوده، زیرا تأثیرات در مناطق جغرافیایی وسیع‌تری گسترش‌یافته است، ۸) اثرات آن تجمعی بوده و هنگامی‌که رویدادها از یک‌فصل یا سال به فصل یا سال دیگر ادامه می‌یابد، اثراتش افزایش می‌یابد. از آنجایی که خشکسالی معمولاً با خشکی همراه است (گونرالپ[3] و همکاران ،۲۰۱۵) و کمبود بارندگی در درازمدت منجر به فقدان آب می‌گردد؛ بر ساختار جمعیتی و خانوارها، آب‌های سطحی و زیرزمینی، منابع طبیعی، دولت، کشاورزی، فناوری و سیاست تأثیر می‌گذارد. (اریاگاما[4] و همکاران، ۲۰۰۹؛ میشرا[5] و سینگ، ۲۰۱۰؛ معززی زاده تهرانی، ۲۰۱۴؛ کارانو[6] و همکاران، ۲۰۱۶). در گزارش بانک جهانی پیش‌بینی شده است که افزایش بارش فصلی با افزایش تعداد روزهای خشک منجر به خشکسالی می‌شود که با گرم‌شدن مداوم و پیامدهای نامطلوب برای انسان‌ها تشدید می‌گردد (بانک جهانی[7]، ۲۰۱۳). افزایش دما به‌احتمال‌زیاد تأثیر قابل‌توجه و زیانباری بر محل زندگی تعداد زیادی از مردم فقیر خواهد داشت (دسوزا[8] و همکاران، ۲۰۱۵). مطالعات متعدد نشان داده است که بسیاری از کشورها در آسیا و آفریقا سالانه تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند و در بسیاری از کشورهای آفریقای مرکزی، جنوب و جنوب‌شرق آسیا، هند و چین این پدیده تکرار می‌شود (ناومان[9] و همکاران، ۲۰۱۴). از طرفی خشکسالی تأثیرات قابل‌توجهی بر مناطق روستایی دارد که آمادگی کافی برای مقابله با آن را ندارند. ارزیابی آسیب‌پذیری یک ابزار بسیار مهم برای فرآیندهای تصمیم‌گیری است. مطالعات زیادی برای ارزیابی مخاطره خشکسالی با تمرکز بر موارد محلی و ارزیابی‌های جهانی آسیب‌پذیری خشکسالی انجام شده است

[1] Hallegatte et al
[2] Arnold et al
[3] Güneralp et al
[4] Eriyagama et al
[5] Mishra et al
[6] Carrão et al
[7] World Bank
[8] De Souza et al
[9] Naumann et al

(بورکس[۱]،۲۰۰۵؛ زرافشان نیا و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیم[۲] و همکاران، ۲۰۱۵؛ کارائو[۳] و همکاران، ۲۰۱۶؛ فن[۴] و همکاران، ۲۰۱۷). اگرچه هنوز مجموعه‌ای استاندارد و منحصربه‌فرد از شاخص‌ها در دستیابی به آسیب‌پذیری خشکسالی وجود ندارد (اوبراین[۵] و همکاران، ۲۰۰۴؛ پلسکی[۶] و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوانگ[۷] و همکاران، ۲۰۱۳؛ تهرانی معززی زاده، ۲۰۱۴). ارزیابی آسیب‌پذیری یک ابزار بسیار مهم برای فرآیندهای تصمیم‌گیری است. مطالعات نشان می‌دهد که ارزیابی آسیب‌پذیری در جهت کمک به تصمیم‌گیرندگان باعث تسهیل در فرآیندهای تصمیم‌گیری‌های مناسب می‌گردد (استون[۸] و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات مختلفی وجود دارد که به بررسی عوامل مختلف آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی و عناصر و میزان مواجهه با خشکسالی می‌پردازد (ادگر[۹]، ۲۰۰۶ ؛ هینکل[۱۰]، ۲۰۱۱).

مطالعات انجام‌شده در کشور، بیشتر به مدیریت ریسک خشکسالی به‌عنوان یکی از ابزارهای مناسب برای مقابله و مدیریت خشکسالی موردتوجه بوده است. به‌طور نمونه، حسنی نژاد (۱۳۹۷) به بررسی مدیریت ریسک خشکسالی باهدف کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان در برابر پیامدهای خشکسالی با استفاده از روش سلسله‌مراتبی[۱۱] در شهرستان زرین‌دشت پرداختند و از فن مصاحبه و روش پرسشنامه استفاده کردند. خلیلی و همکاران (۱۳۹۸) به اولویت‌بندی اقدامات پاسخ‌گویی به ریسک خشکسالی کشاورزی در شهرستان فردوس با روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پرداختند و مهم‌ترین شاخص تبیین‌کننده ریسک خشکسالی کشاورزی در این شهرستان را بهره‌برداری از منابع آب در بخش کشاورزی و مناسب‌ترین اقدام برای پاسخگویی به آن را آبیاری زیرسطحی برشمرده‌اند. ابراهیمی (۱۳۹۹) به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سطح خانوار روستایی دشت بکان اقلید نسبت به خشکسالی پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در منطقه موردمطالعه نسبت به خشکسالی زیاد است و سطوح آسیب‌پذیری در میان خانوارها به‌دلیل عوامل مختلف اجتماعی و اقتصادی مانند دارایی‌های معیشتی متغیر است. نادری (۱۳۹۹) به ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی کشاورزان ذرت‌کار شهرستان کرمانشاه نسبت به وقوع خشکسالی پرداخته‌اند و برای سنجش آسیب‌پذیری اجتماعی کشاورزان ذرت‌کار از فرمول می‌بار[۱۲]و والدز[۱۳] (۲۰۰۵) استفاده کردند. ازاین‌روی، با توجه به اهمیت ریسک خشکسالی در این مطالعه، به ارزیابی ریسک خشکسالی شامل دو جزء اصلی مخاطره و آسیب‌پذیری پرداخته شده است و چندین شاخص برای نشان‌دادن اجزای ساختار آسیب‌پذیری مشخص شده است. معمولاً از شاخص استاندارد بارش[۱۴] (مک کی[۱۵]و همکاران، ۱۹۹۳) برای نشان‌دادن درجه خشکسالی، روش سلسله‌مراتبی برای محاسبه وزن شاخص‌های آسیب‌پذیری

[1] Brooks et al
[2] Kim et al
[3] Carrão et al
[4] Fan et al
[5] o'Brien et al
[6] Polsky et al
[7] Huang et al
[8] Stone et al
[9] Adger et al
[10] Hinkel et al
[11] Analytic Hierarchy Process
[12] Me-Bar
[13] Valdez
[14] Standardized Precipitation Index (SPI)
[15] McKee et al

خشکسالی استفاده می‌شود. با ادغام شاخص درجه خشکسالی[1] با شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی[2]، ریسک خشکسالی منعکس می‌شود.

هدف این مقاله توسعه و به‌کارگیری رویکرد کمی برای ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی در ایران است که تاکنون در این سطح موردمطالعه قرار نگرفته است تا مشخص شود کدام منطقه و مناطق کشور بیشتر در معرض خشکسالی هستند. برای دستیابی به این هدف، بر اساس مخاطره خشکسالی و آسیب‌پذیری، از روش تحلیلی سلسله‌مراتبی بهبودیافته برای تعیین وزن ۷ شاخص انتخابی نشان‌دهنده آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی در ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق مختلف ایران استفاده گردیده است تا بتواند نگرشی نوآورانه برای تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران اصلی و محلی برای درک عواملی که در آسیب‌پذیری یک سیستم نقش دارند، ارائه دهد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده موردمطالعه

ایران در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه در جنوب منطقه معتدله نیم‌کره شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این گستردگی در عرض‌های میانه به تنوع آب‌وهوا در آن منجر شده است که در تنوع تولیدات کشاورزی، محیط‌زیست مؤثر است. مناطق کویری و نیمه کویری بیش از نیمی از مساحت کشور را اشغال نموده است (شکل۱). حدود یک‌سوم ایران نیز کوهستانی است و بخش کوچکی از ایران شامل جلگه جنوب دریای خزر و جلگه خوزستان از جلگه‌های حاصلخیز تشکیل شده است. ایران ازنظر بارندگی جزء مناطق آب‌وهوایی خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود. میزان بارش سالانه در نقاط مختلف کشور و در فصول مختلف سال متغیر است. پرباران‌ترین منطقه کشور در جنوب غربی دریای خزر سالانه حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر باران دریافت می‌کند. درعین‌حال، در چاله‌های مرکزی ایران در منطقه دشت لوت، حداکثر بارندگی سالانه حدود ۵۰ میلی‌متر است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی آسیا

[1] Degree of Drought Index (DHI)
[2] Drought Vulnerability Index (DVI)

داده‌ها

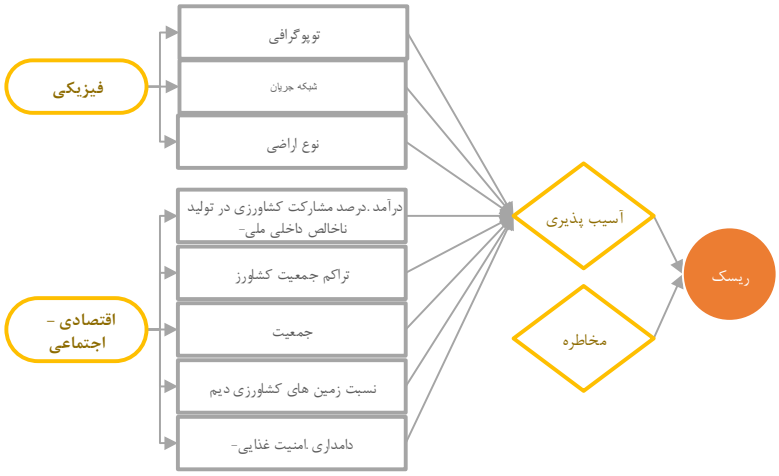
داده‌هایی که در این مطالعه برای ارزیابی ریسک و پهنه‌بندی مورداستفاده قرارگرفته، شامل بارش ماهانه ۱۸۸ ایستگاه همدید در ایران از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰، داده‌های اجتماعی و اقتصادی، جمعیت، جمعیت روستایی، تولید ناخالص داخلی، سهم کشاورزی از تولید ناخالص داخلی و داده‌های اطلاعات جغرافیایی شامل توپوگرافی، توزیع آب و انواع کاربری زمین است. جزئیات داده‌ها با منابع، از طریق لینک دسترسی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: شرح داده‌های مورد استفاده در این مطالعه

نوع و تاریخ	شاخص	منبع
مشاهدات هواشناسی	شاخص‌های خشکسالی(SPI)	سازمان هواشناسی ایران
مدل ارتفاع دیجیتالی	توپوگرافی (۸۵ متر در ۸۵ متر)	https://archive.usgs.gov/archive/sites/geography.wr.usgs.gov/sfcreek/dem.html
شبکه جریان	تراکم شبکه‌ای رودخانه‌ها به رودخانه‌های اصلی و رودخانه‌های فرعی تقسیم می‌شود	وزارت نیرو
نوع کاربری	انواع مختلف کاربری زمین	وزارت جهاد کشاورزی
داده‌های اقتصادی اجتماعی	نسبت تولید ناخالص داخلی کشاورزی بر کل تولید ناخالص داخلی	https://www.amar.org.ir/Portals/0/PropertyAgent/4819/Files/6239/1379-92.xlsx
	نسبت جمعیت کشاورزی	http://rdcir.ir/news/83
	تراکم جمعیت	https://www.amar.org.ir
	نسبت مناطق زیر کشت محصولات کشاورزی (نسبت سطح کشاورزی دیم و غیر دیم)	http://amar.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&sub=65&tempname=amar&PageID=11583
	دام (۱۰۰۰ رأس)	http://amar.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&sub=65&tempname=amar&PageID=11583

پردازش داده‌ها

تجزیه‌وتحلیل داده‌های این مطالعه در مقیاس مکانی ۰/۵ درجه برای داده‌های اجتماعی- اقتصادی ازجمله تولید ناخالص داخلی، جمعیت کشاورز ، جمعیت و غیره صورت گرفته است. شایان ذکر است در صورت نیاز متغیرهای استانی را درنظرگرفتن مقیاس مکانی ۰/۵ درجه به‌عنوان مبنا در تجزیه‌وتحلیل استفاده شده‌اند.



شکل ۲: چارچوب مفهومی در مورد نحوه مدل‌سازی آسیب‌پذیری و توزیع ریسک

درمجموع متغیرهای متعدد اجتماعی، اقتصادی و محیطی به‌عنوان ویژگی‌های این مطالعه استفاده شده است. دو روش تجزیه‌وتحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی[1]و روش تحلیل سلسله‌مراتبی در این مطالعه بهره گرفته شده است. شکل۲، چارچوب روش مورداستفاده در شناخت آسیب‌پذیری در برابر خطر خشکسالی را با ترکیبی از متغیرهای اقتصادی و اجتماعی نشان می‌دهد.

مدل ارزیابی ریسک

ازنظر مکانیسم بلایای طبیعی، شرایط زیر برای تشکیل بلایا ضروری است: اول عوامل ایجادکننده بلایا مانند خشکسالی ناشی از کمبود باران در درازمدت و دوم آسیب‌پذیری از بلایا که متشکل از محیط شکل‌دهنده فاجعه یا حامل بلایا است. عوامل محیطی منجر به آسیب‌پذیری از بلایای طبیعی شامل توپوگرافی، توزیع آب ، پوشش گیاهی و عوامل دیگر است که می‌تواند عامل اصلی افزایش یا کاهش مخاطره باشد. بدین ترتیب محیط عامل مهمی در تعیین آسیب‌پذیری است. عوامل دیگر شامل جمعیت، عوامل اقتصادی و سایر می‌توانند به عوامل محیطی وابسته باشند. همچنین توزیع مکانی مناطق مستعد فاجعه، آسیب‌پذیری ساختارهای متأثر از خشکسالی را تعیین می‌کند (شهید، ۲۰۰۸ ؛ استرژپک[2] و همکاران، ۲۰۱۰). میزان احتمال ریسک خشکسالی نتیجه تعامل بین مخاطره و آسیب‌پذیری خشکسالی است. از سوی دیگر، ریسک نه‌تنها با توجه به میزان در معرض‌بودن و شدت فیزیکی مخاطره طبیعی، بلکه با آسیب‌پذیری جامعه در یک‌لحظه معین در زمان مشخص می‌شود. آسیب‌پذیری پاسخی پویا به تغییرات در ویژگی‌های اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی منطقه است (ویلایت[3] و همکاران، ۲۰۰۷). ریسک خشکسالی خشکسالی محصول مخاطره اقلیمی و آسیب‌پذیری شیوه‌های کشاورزی یا زراعت است، درحالی‌که آسیب‌پذیری می‌تواند درنتیجه شیوه‌های مدیریت کاربری زمین باشد. با توجه به نتایج بسیاری از مطالعات، مدل ارزیابی ریسک خشکسالی نتیجه تعامل بین آسیب‌پذیری و مخاطره بوده و به شرح زیر نمایش داده می‌شود (ویزنر[4] و همکاران، ۲۰۱۴ ؛ فن و همکاران، ۲۰۱۷):

$$RI = HI \times VI \quad (۱)$$

که در اینجا RI میزان ریسک فاجعه، HI مخاطره خشکسالی و VI آسیب‌پذیری خشکسالی است. بر اساس فرمول (۱) مخاطره و آسیب‌پذیری خشکسالی توسط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه و لایه شاخص ریسک خشکسالی به دست می‌آید.

ارزیابی مخاطره خشکسالی

برای ارزیابی مخاطره خشکسالی، مطالعات بی‌شماری برای اندازه‌گیری خشکسالی توسط شاخص‌ها با استفاده از متغیرهای مختلف هواشناسی- هیدرولوژیکی انجام گردیده و هر روشی نقاط ضعف و قوت خاص خود را دارند. (میشرا و سینگ، ۲۰۱۰)، شاخص شدت خشکسالی پالمر[5]، شاخص استاندارد بارش (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳)، شاخص تأمین آب سطحی[6]، شاخص فراوانی خشکسالی[7] و شاخص شناسایی خشکسالی[1] تنها چند نمونه از شاخص‌های

[1] Geographical Information System (GIS)
[2] Strzepek et al
[3] Wilhite et al
[4] Wisner et al
[5] Palmer drought severity index (PDSI)
[6] Surface Water Supply Index (SWSI)
[7] Drought Frequency Index (DFI)

خشکسالی است که ازجمله کاربردی‌ترین شاخص‌ها برای توصیف انواع مختلف خشکسالی محسوب می‌گردند. (شهید و بهروان، ۲۰۰۸ ؛ معزی زاده تهرانی، ۲۰۱۴). در این مطالعه از روش شاخص استاندارد بارش برای ارزیابی تشخیص مخاطره خشکسالی ۱۲ ماهه استفاده شده و داده‌های ماهانه ۱۸۸ ایستگاه سینوپتیک مشاهداتی طی دوره (۲۰۰۲-۲۰۲۰) جمع‌آوری و خشکسالی طبق جدول ۲ رتبه‌بندی و وزن‌دهی گردید و محاسبات بر اساس روش شهید و بهروان (۲۰۰۸) انجام گردیده است.

$$DHI = (MDr * MDw) + (SDr * SDw) + (VSr * VSw) \quad (۲)$$

که در اینجا DHI مبین شاخص درجه سختی خشکسالی سالانه است؛ MDr به کلاس وقوع خشکسالی و MDw به وزن خشکسالی متوسط مرتب است؛ SDr نمایانگر کلاس وقوع خشکسالی و SDw وزن اختصاص داده‌شده به خشکسالی شدید است؛ VSr رتبه‌بندی کلاس‌های وقوع خشکسالی بسیار شدید و VSw وزن متعلق به خشکسالی بسیار شدید است.

جدول ۲: وزن‌ها و رتبه‌بندی‌ها به‌ترتیب شدت خشکسالی (متکان و همکاران ۱۳۹۰)

شدت خشکسالی	وزن	درصد رخدادها	رتبه‌بندی
متوسط	۱	۳>	۱
		۳-۵	۲
		۵-۸	۳
		۸-۱۲	۴
		<۱۲	۵
شدید	۲	۳>	۱
		۳-۴	۲
		۴-۵	۳
		۵-۶	۴
		۶<	۵
خیلی شدید	۳	>۱	۱
		۱-۲	۲
		۲-۳	۳
		۳-۵	۴
		۴<	۵

در این مطالعه مدل مخاطره خشکسالی بر دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ تمرکز کرده و این بازه زمانی با توجه به تضمین سطح همگنی عمومی کیفیت اطلاعات و کامل‌بودن در زمان تهیه مقاله انتخاب شده است.

مدل ارزیابی آسیب‌پذیری

به‌طورکلی، شاخص‌های مؤثر آسیب‌پذیری متعدد هستند و به میزان آسیب فیزیکی بالقوه به عناصر هدف در معرض خطر، مانند جنبه‌های جغرافیایی، محل سکونت، زیرساخت‌ها و معیشت در پاسخ به رویداد یک مخاطره با شدت

[1] Reconnaissance Drought Index (RDI)

معین اشاره دارد و استفاده از این فاکتورها برای طبقه‌بندی آسیب‌پذیری خشکسالی در مناطق مختلف بستگی به در دسترس‌بودن و قابلیت اطمینان داده‌ها دارد (جیانپینگ یان[1]، ۲۰۱۰). نوع مخاطره و ماهیت سیستم آسیب‌پذیری، در برابر هر مخاطره‌ای در زمینه‌های مختلف جغرافیایی و سیاسی- اجتماعی تأثیر می‌گذارد. آسیب‌پذیری یک شاخص چندبعدی است و می‌توان آن را به زیرگروه‌هایی مانند اجزای اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی مختلف تقسیم کرد. درضمن، در سال‌های اخیر احتمال وجود ارتباط بین آن‌ها با چندین مؤلفه یا زیرگروه مانند فقر، وضعیت سلامتی و غیره توسعه یافته است (بروکس و همکاران، ۲۰۰۵). در این مطالعه، در مرحله اول شاخص آسیب‌پذیری مشابه ۷ شاخص چارچوب شکل۲ انتخاب و نرمال‌سازی شده و سپس در مرحله دوم ترکیبی از شاخص‌های وزنی ایجاد شده است (ناومان و همکاران، ۲۰۱۴ ؛ هوانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

$$\mathrm{DVI} = \sum_i^n I_i W_i \qquad (۳)$$

در اینجا Ii شاخص‌های بیان‌شده در شکل۲ و Wi وزن مربوط به هر شاخص است. جمع وزنی شاخص‌ها معادل ۱ است. گفتنی است روش این پژوهش با پژوهش‌های ناومان و همکاران (۲۰۱۴)، کارانو و همکاران(۲۰۱۶) و قاسمی نژاد و همکاران (۱۳۹۳) مربوط به تهیه نقشه آسیب‌پذیری خشکسالی تشابه زیادی دارد.

پردازش داده‌های آسیب‌پذیری شاخص‌ها

* شاخص توپوگرافی

ارتفاع، ازجمله فاکتورهای مؤثر بر میزان بارش است. مطالعه رابطه بارش با ارتفاع در حوضه‌های آبریز نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع، بارش افزایش می‌یابد (بلیانی و همکاران، ۱۳۹۵). برای دستابی به توزیع میزان آسیب‌پذیری در گستره موردمطالعه، از فاکتور انحراف معیار استفاده شد و در پیکسل سایزهای ۰/۵ در ۰/۵ انحراف معیار نقاط ارتفاعی از مدل ارتفاعی دیجیتال ۸۵ متری استخراج شده است. پیکسل سایزهای با ارتفاع بیشتر، انحراف معیار بالاتر و نسبت به خشکسالی آسیب‌پذیرند. بنابراین، رویکرد تابع عضویت فازی نزولی به نواحی با ارتفاع ماکزیمم در لایه‌ی حساسیت به خشکسالی برحسب ارتفاع، ارزش صفر و به نواحی با کمترین ارتفاع ارزش یک تعلق می‌گیرد.

* شاخص شبکه هیدروگرافی (تراکم زهکشی)

این مؤلفه از دو جنبه تراکم شبکه‌بندی آبراهه‌ها و فاصله از رودخانه‌ها با خشکسالی در ارتباط است و در بررسی‌ها نمی‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد. با افزایش تراکم شبکه زهکشی به‌دلیل تخلیه آب از محیط و کاهش رطوبت خاک، حساسیت به خشکسالی افزایش می‌یابد. با نرمال‌کردن تراکم شبکه زهکشی با رویکرد تابع عضویت فازی نزولی، هرچه تراکم آبراهه‌ها کمتر باشد مقدار Z_{Den} به یک نزدیک‌تر و آسیب‌پذیری کمتر است. با تقسیم‌بندی رودخانه‌ها به دائمی و غیردائمی، فاصله از رودخانه‌ها در دو شعاع مطابق با جدول شماره ۳ تعیین شده است. فاکتور Z_{buf} آسیب‌پذیری نسبت به فاصله از رودخانه‌ها را نشان می‌دهد. در رابطه ۵ شاخص آسیب‌پذیری[2] ارائه شده است. هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد آسیب‌پذیری کمتر است.

$$\mathrm{Z_{Den}} = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \qquad (۴)$$

[1] Jianping Yan
[2] Water System Factor

در اینجا Z_{Den} تراکم شبکه‌بندی رودخانه نرمال‌شده و X_{max} حداکثر تراکم و X_{min} حداقل تراکم شبکه‌بندی رودخانه است و X نشان‌دهنده تراکم شبکه رودخانه است. آسیب‌پذیری سیستم آب با یک روش ارزیابی جامع مانند فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$WF = Z_{Den} * (1 - Z_{buf}) \quad (۵)$$

در اینجا WF نمایانگر شاخص آسیب‌پذیری سیستم آب بوده و Z_{Den} شاخص تراکم شبکه‌بندی رودخانه و Z_{buf} شاخص آسیب‌پذیری نسبت به فاصله از رودخانه‌ها است.

جدول ۳: معیارهای طبقه‌بندی عرض بافر و حساسیت آن‌ها در جریان‌های متفاوت

نوع رودخانه	فاصله (کیلومتر)/شاخص تأثیر	
	بافر سطح اول	بافر سطح دوم
رودخانه دائمی	۳	۶
رودخانه فصلی	۱،۵	۳

* شاخص کاربری زمین

حساسیت کاربری‌های مختلف نسبت به خشکسالی متفاوت است، به‌طوری‌که اکوسیستم‌های مصنوعی نسبت به اکوسیستم‌های طبیعی از حساسیت بیشتری برخوردارند. بنابراین، اراضی زراعی حساسیت بیشتری به خشکسالی نسبت به اراضی مرتعی دارند (متکان و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده توسط مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، کاربری‌های حساس به خشکسالی در ۸ طبقه گروه‌بندی شدند و به هر طبقه بر اساس میزان حساسیتش به خشکسالی با روش سلسله‌مراتبی، وزنی بین صفر تا ۱ تعلق گرفته است. وزن هر یک از کاربری‌های هشت‌گانه در نقشه نهایی کاربری اراضی اعمال شده است. در لایه به‌دست‌آمده مطابق جدول ۴، عدد بزرگ‌تر نشان‌دهنده بیشترین حساسیت و عدد کوچک‌تر نشان‌دهنده کمترین حساسیت است.

جدول ۴: ضریب وزنی انواع زمین‌ها برای خشکسالی

شهری	کوهپایه	زمین‌های آبی	زمین‌های دیم	جنگلی	تالاب و زمین مرطوب	زمین شور و تپه‌های شنی	زمین بایر و صحرا و سنگلاخ
۰،۰۹۶	۰،۱۸۵	۰،۲۲۶	۰،۱۹۲	۰،۱۵۱	۰،۱۰۴	۰،۰۲۵	۰،۰۲

* شاخص درآمد (GDP_{AGR})

به درصد مشارکت تولید ناخالص داخلی کشاورزی نسبت به‌کل تولید ناخالص داخلی شاخص درآمد گفته می‌شود.

* شاخص تراکم کشاورز

به جمعیت کشاورز نسبت به‌کل جمعیت شاخص تراکم کشاورز گفته می‌شود که برحسب درصد بیان می‌شود.

* شاخص تراکم جمعیت

راهی است برای سنجش جمعیت در واحد مساحت که مورداستفاده قرار می‌گیرد. واحد تراکم جمعیت نفر بر کیلومترمربع است؛ یعنی در صورت کسر، شمار افراد برحسب نفر و در مخرج کسر، مساحت برحسب کیلومترمربع است.

* شاخص زمین‌های دیم به‌کل زمین‌های کشاورزی

نسبت زمین‌های کشاورزی دیم به‌کل زمین‌های کشاورزی دیم و آبی شاخص زمین دیم گفته می‌شود.

* شاخص دامپروری

شاخصی که بر مبنای هر ۱۰۰۰ رأس دام تعریف می‌گردد.

نرمال‌سازی متغیرها با رویکرد فازی

برای استفاده مؤثر از کلیه معیارها در تجزیه‌وتحلیل و ایجاد ارتباط بین آن‌ها، معیارهای موردنظر تحت قاعده خاصی نرمال می‌شوند. برای استانداردسازی چندین روش وجود دارد. یکی از این روش‌ها، روش منطق فازی است این روش کلیه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای را به دامنه‌ی یکسانی بین صفر تا یک تبدیل می‌کند. در روش تابع عضویت فازی نزولی مقادیر باارزش پایین‌تر، امتیاز بالاتر می‌گیرند. به‌عبارتی هر چه مقدار عددی موجود در پیکسل لایه‌های مربوطه (هریک از مؤلفه‌ها) کمتر باشد ارزش آن‌ها در لایه استانداردشده بالاتر است (شاهیوند و همکاران، ۱۳۹۲؛ بلیانی و همکاران، ۱۳۹۵). مهم‌ترین مزایای روش‌های وزن‌دهی با استفاده از تعداد بیشتری لایه‌های ورودی، کاهش تأثیر خطاها و یا عوامل نامعلوم بر روی نقشه خروجی و نهایی است (ایوانز[1] و همکاران، ۱۹۹۰). در این مطالعه ، همه شاخص‌ها با روش فازی نرمال‌سازی شده‌اند تا نتایج مستقیماً باهم مقایسه گردند. نرمال‌سازی با درنظرگرفتن حداکثر و حداقل مقدار هر شاخص به‌منظور ترکیب متغیرها در دسته‌ها و تضمین اینکه متغیرها دارای دامنه یکسانی بین ۰ تا ۱ هستند، انجام شده است. برای متغیرهایی که همبستگی مثبت (تابع صعودی) با آسیب‌پذیری دارند، مقدار نرمال شده با توجه به تغییر خطی عمومی طبق فرمول (۶) محاسبه می‌شود (ناومن و همکاران: ۲۰۱۴).

$$Z_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۶)$$

در اینجا X_i مقدار متغیر برای هر سلول شبکه ، X_{max} و X_{min} بیانگر حداکثر و حداقل مقدار مربوطه در تمام سلول‌های شبکه است. در برخی موارد یک رابطه معکوس بین آسیب‌پذیری و شاخص‌ها وجود دارد. برای متغیرهای با همبستگی منفی (تاب ع نزولی) با آسیب‌پذیری، با ایجاد تغییر در فرمول (۶) از فرمول جایگزین (۷) استفاده می‌گردد تا کمترین مقادیر متغیر را با بیشترین مقادیر آسیب‌پذیری پیوند دهد.

$$Z_i = \frac{X_{max} - X_i}{X_{max} - X_{min}} \quad (۷)$$

رویکرد تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)

معیارهای مورداستفاده در فرآیند ارزیابی دارای اهمیت یکسانی نیستند و دارای تأثیر وزنی مختلفی می‌باشند. بنابراین در فرآیند ارزیابی بایستی اهمیت نسبی هرکدام از معیارها مشخص گردد (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۳). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، به‌ویژه برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه مناسب است. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، فنی است که برای رتبه‌بندی مجموعه‌ای از گزینه‌ها یا برای انتخاب بهترین از یک مجموعه گزینه به‌کار می‌رود و با مقایسه‌های زوجی‌ها امکان بررسی سناریوهای مختلف را فراهم می‌کند (ساعتی، ۱۹۸۰). این روش شامل: ۱) تعریف

[1] Evans et al

و سازمان‌دهی معیارها در یک سلسله‌مراتب، ۲) تشکیل ماتریس ارزیابی با استفاده از پرسش‌نامه و نظر متخصصین که دامنه بین ۱ تا ۹ را به خود اختصاص می‌دهد، ۳) محاسبه وزن هر یک از معیارهاست (ماسام[1] ، ۱۹۸۸).

رویکرد سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)

سیستم اطلاعات جغرافیایی رویکرد مناسبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری به‌عنوان ابزاری کارآمد برای پردازش و تجزیه‌وتحلیل داده‌های فضایی، مدیریت اطلاعات و پوشش مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری مرتبط با تعدادی از پارامترهای مختلف مرتبط با مخاطرات طبیعی و واکنش اجتماعی است. طیف وسیعی از فعالیت‌های زمان‌بر را مانند جمع‌آوری، تجزیه‌وتحلیل فضایی و یکپارچه‌سازی و تجمیع اطلاعات فضایی را تسهیل می‌کند. در این مطالعه، ما از ArcGIS 10.4 برای تهیه نقشه‌های شاخص‌های آسیب‌پذیری، مخاطره خشکسالی و ریسک خشکسالی استفاده می‌کنیم.

وزن شاخص‌های مختلف

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری به خشکسالی، نخست مؤلفه‌ها و فاکتورهای مؤثر بر خشکسالی بر اساس نظرات کارشناسی و مطالعات انجام‌شده، انتخاب شد. اکثر پارامترهای انتخابی این پژوهش هم‌راستا با فاکتورهای انتخابی در مطالعات آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در آفریقا (۲۰۱۴) و ارزیابی ریسک خشکسالی در دلتای رودخانه Yangtze است با این تفاوت که در این پژوهش، برخی مؤلفه‌ها با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌ها با مؤلفه‌های اجتماعی- اقتصادی مشابه جایگزین شده است. جدول ۵ وزن‌های اختصاص‌یافته به هر مؤلفه را نشان می‌دهد. بیشترین وزن به مؤلفه کاربری اراضی اختصاص داده شده است؛ زیرا انسان با دخالت در محیط طبیعی آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی را افزایش می‌دهد. مؤلفه‌های تراکم زهکشی و توپوگرافی نسبت به سایر مؤلفه‌ها تأثیر بسیار کمتری دارند که با توجه به نتایج مطالعات متکان و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی آسیب‌پذیری استان اصفهان به خشکسالی حاکی از وزن‌دهی صحیح مؤلفه‌های موردمطالعه است.

جدول ۵: عوامل آسیب‌پذیری و وزن‌های در نظر گرفته‌شده مربوط به آن‌ها در DVI

دام	زمین‌های دیم	جمعیت	جمعیت کشاورز	GDP_{Agrit} / GDP_{Total}	کاربری اراضی	سیستم آب	توپوگرافی
۰,۱۷۶	۰,۱۵۵	۰,۰۹۹	۰,۱۰۴	۰,۱۴۵	۰,۱۸۵	۰,۰۶۴	۰,۰۷۴

نتایج و بحث

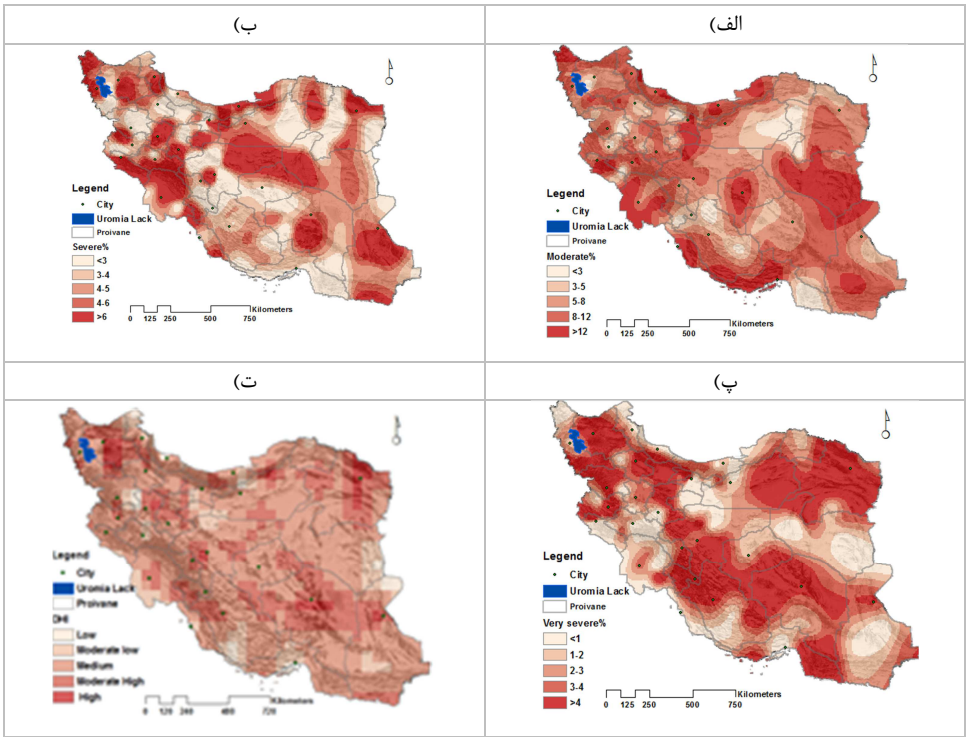
نقشه مخاطره خشکسالی

در شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی درصد وقوع خشکسالی‌های متوسط، شدید و خیلی شدید در دوره آماری موردمطالعه (۲۰۰۲-۲۰۱۶) در مقیاس ۱۲ ماه نشان داده شده است (شکل ۳(الف،ب،پ)) . درصد خشکسالی‌های خیلی شدید در راستای شمال غربی- جنوب شرقی افزایش یافته و در شمال شرق نیز به سمت دشت‌های کم ارتفاع داخلی افزایش نشان می‌دهد. نواحی غربی، شرقی و مرکز کشور با عدم توزیع مکانی منسجم بیشترین درصد وقوع خشکسالی‌های شدید را تجربه کرده‌اند و خشکسالی‌های متوسط با گستردگی مکانی کمتر نسبت به خشکسالی‌های شدید و خیلی شدید در بخشی از شرق کشور ، ناحیه محدودی در مرکز و سواحلی جنوبی کشور از دشت خوزستان در جنوب غرب

[1] Massam et al

کشور در نوار ساحلی خلیج‌فارس بیشترین درصد وقوع خشکسالی را نشان می‌دهند. لایه‌های یادشده با توجه به فرمول (۲) تلفیق و نقشه نهایی شاخص مخاطره خشکسالی به‌دست آمد (۳ت). این لایه با روش تابع خطی فازی استاندارد و میزان خطر خشکسالی بین ۰ تا ۱ در پیکسل سایزهای ۰/۵ ×۰/۵ در ۵ طبقه low، moderate low، medium، moderate high و high گروه‌بندی شد، به‌طوری‌که هرچقدر ارزش Z بیشتر باشد خطر وقوع خشکسالی کمتر است.

بررسی این نقشه نشان می‌دهد بخش‌هایی از جنوب شرق کشور به‌خصوص استان کرمان، بخش‌هایی از مناطق ساحلی استان سیستان و بلوچستان، محدوده شمالی غرب خلیج فارس (استان بوشهر) تا خوزستان، بخش‌هایی از شمال شرق (استان خراسان رضوی) و شرق دریاچه ارومیه در معرض بیشترین میزان خطر خشکسالی (کمبود) بارش است و بخش وسیعی از مناطق ایران در مرکز و شمال- جنوب و شرق- غرب مستعد نسبت به وقوع مخاطره خشکسالی متوسط است.



شکل ۳: گستره مکانی نقشه‌های شدت خشکسالی: (الف) متوسط؛ (ب) شدید؛ (پ) وقوع خشکسالی بسیار شدید در مراحل زمانی ۱۲ ماهه؛ (ت) نقشه نهایی شاخص مخاطره خشکسالی

نقشه‌های شاخص‌های آسیب‌پذیری

برای تهیه نقشه آسیب‌پذیری، لایه‌های رستری مؤلفه‌های فیزیکی شامل توپوگرافی، شبکه هیدروگرافی و کاربری اراضی تهیه شد و مقادیر مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی مانند تولید ناخالص ملی کشاورزی، جمعیت کشاورز، جمعیت، زمین دیم و شاخص دام‌پروری در سطح هر استان در سیستم اطلاعات جغرافیایی در پیکسل سایزهای ۰/۵

× ۰/۵ به فرمت رستری تبدیل شد و برای هریک از این لایه‌ها (نقشه‌ها)، کلاس‌بندی‌ها (طبقه‌بندی‌های ضعیف تا بسیار شدید) صورت گرفت که در شکل‌های (۴ الف) تا (۴خ) ارائه شده است.

* در شکل شماره (۴ الف) همان‌طورکه انتظار می‌رود در دشت‌های کم ارتفاع داخلی مانند دشت کویر و لوت، مناطق کم ارتفاع جنوب شرق و دشت‌های کم ارتفاع پراکنده در گوشه و کنار فلات ایران کمترین آسیب‌پذیری به خشکسالی مشاهده می‌شود.

* در نقشه (۴ب) آسیب‌پذیری به شبکه هیدروگرافی به تصویر کشیده است. مناطق کوهستانی شمال غرب، غرب، ارتفاعات البرز در شمال کشور، ارتفاعات شمال شرق، شرق و جنوب شرق بیشتر بستر رودخانه‌های دائمی هستند و نسبت به بخش‌های مرکزی که از وجود رودخانه‌های دائمی بی‌بهره‌اند از حساسیت بیشتری برخوردارند.

* کاربری اراضی با شرایط محیطی و اقلیمی هر منطقه رابطه نزدیک دارد. بنابراین محیط‌های مصنوعی مانند اراضی آبی، اراضی دیم و مراتع نسبت به سایر کاربری‌ها بیشتر در معرض خطر خشکسالی قرار دارند (۴پ)، به‌طوری‌که توزیع مکانی مناطق در معرض خطر خشکسالی در مرکز کشور (استان اصفهان) با نتایج پژوهش متکان و همکاران (۱۳۹۰) در منطقه مطابقت دارد.

* پهنه‌بندی نسبت تولید ناخالص داخلی در بخش کشاورزی به کل تولید ناخالص داخلی (بدون نفت) نشان می‌دهد قطب‌های کشاورزی کشور نظیر استان‌های فارس، کرمان و خراسان به‌واسطه تولید محصولات ارز آوری نظیر مرکبات، پسته، خرما و زعفران در مقایسه با سایر استان‌ها نسبت خشکسالی آسیب‌پذیرند و رخداد آن تبعات قابل‌ملاحظه‌ای در پی خواهد داشت (۴ت).

* تراکم جمعیت شاغل در بخش کشاورزی به‌واسطه شرایط محیطی از قبیل منابع آب در دسترس، نوع خاک و شرایط محیطی زندگی متغیر است. با توجه به نتایج آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، در ایران بیش از ۸۰ درصد جمعیت ایران در شهرها سکونت دارند و میزان جمعیت مناطق روستایی و به همان نسبت شاغلین بخش کشاورزی کاهش یافته‌اند. با توجه به نقشه (۴ث) بیشترین آسیب‌پذیری شاغلین بخش کشاورزی را نواحی شمال و شمال غرب کشور تجربه می‌کند و در بخش وسیعی از ایران مرکزی از دامنه‌های شرق زاگرس تا مرزهای شرقی کشور کمترین آسیب‌پذیری مشاهده می‌شود که با توجه به توضیحات ارائه‌شده مورد انتظار است.

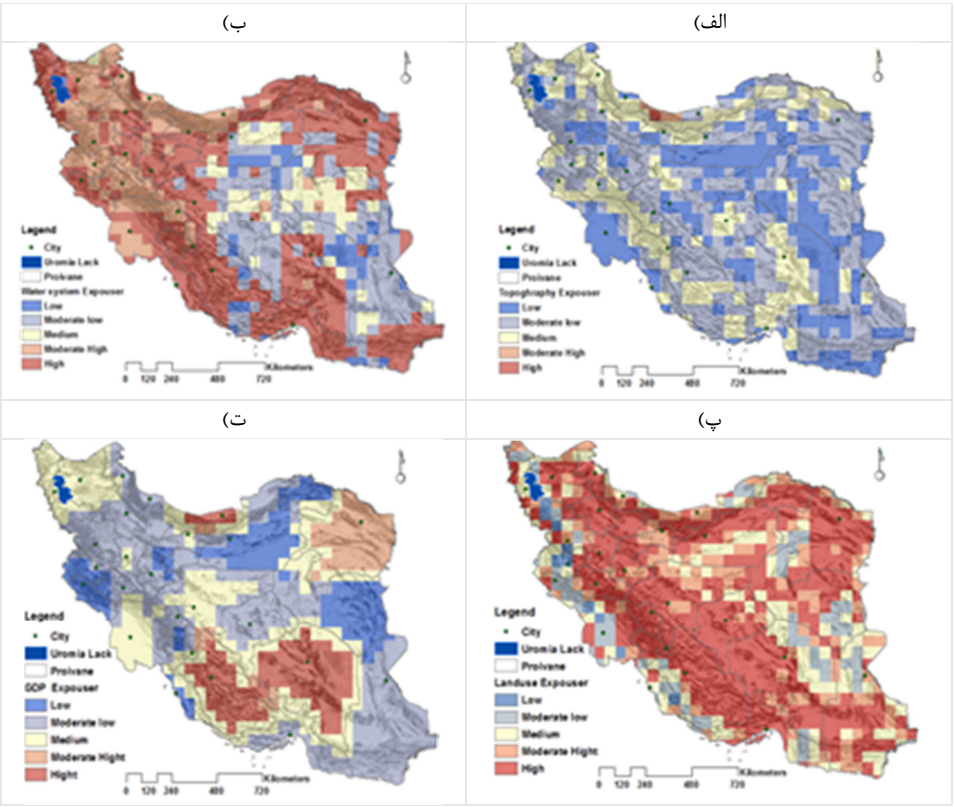
* نیازهای حیاتی جوامع انسانی از قبیل آب و غذا در تمامی جهان به‌شدت با خطر خشکسالی تهدید می‌شود و رشد شهرنشینی این تهدید را پررنگ‌تر کرده است. در سال‌های اخیر تراکم جمعیتی در شهرهای بزرگ و استان‌های مهاجرپذیر به‌شدت افزایش‌یافته است و بیشترین سرانه جمعیت در استان تهران نزدیک به ۱۰۰۰ نفر در هر کیلومترمربع رسیده است که در مقایسه با سایر مناطق به‌شدت آسیب‌پذیر است (۴ج).

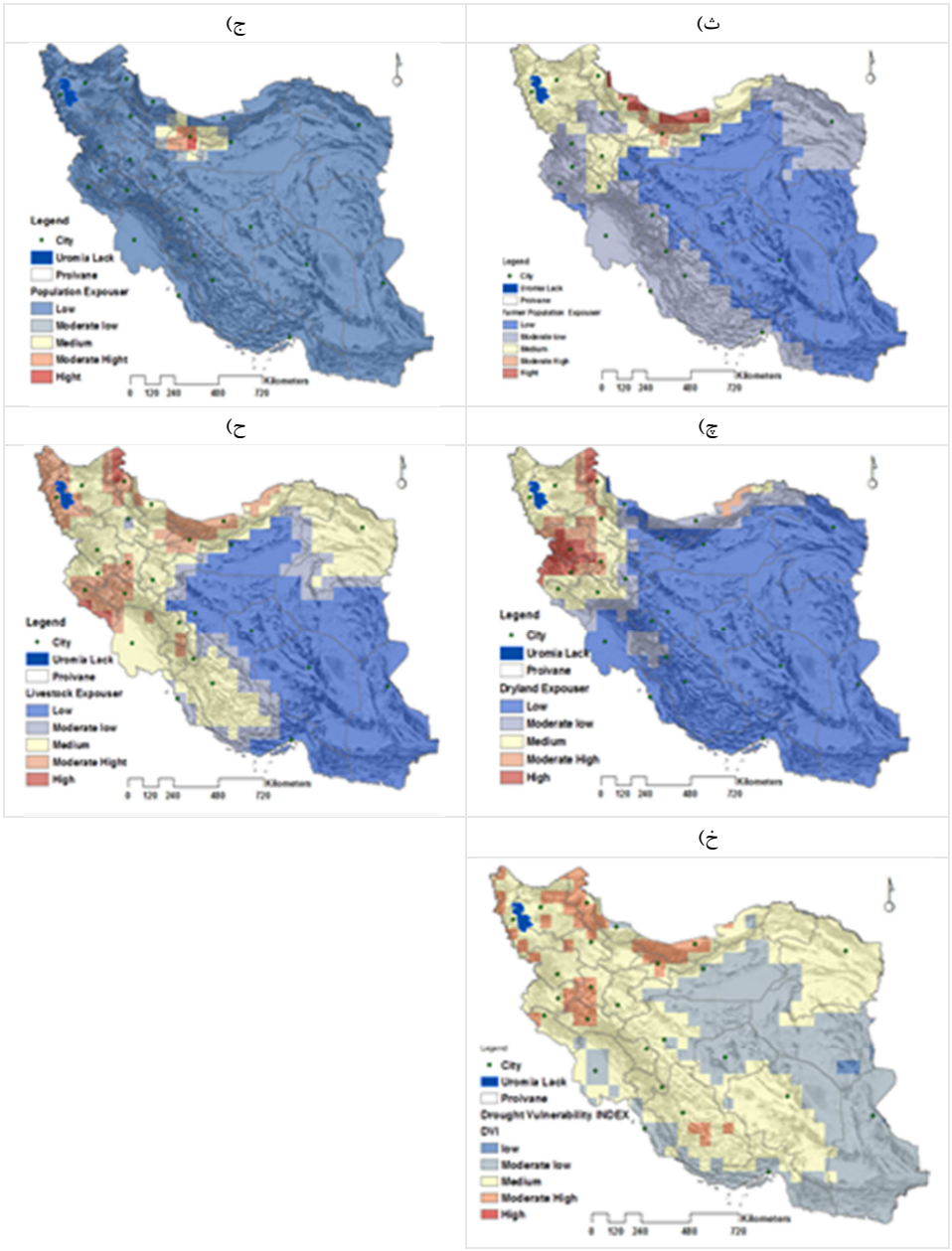
* سالنامه کشاورزی ۱۳۹۴ وزارت جهاد کشاورزی گزارش داده است از سطح برداشت کل محصولات زراعی ایران در آن سال ۵۲,۹۳ درصد اراضی با کشت آبی و ۴۷,۰۷ درصد اراضی با کشت دیم بوده است که این عدد اهمیت اراضی دیم را در بخش تولید محصولات کشاورزی نشان می‌دهد. از سوی دیگر با توجه به رابطه مستقیم بین شاغلین بخش کشاورزی با توزیع اراضی کشاورزی، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری اراضی دیم با نسبت شاغلین بخش کشاورزی از الگوی

مشابهی پیروی می‌کند. حساسیت اراضی دیم در نواحی شمال غربی و بخش‌هایی از غرب، کشاورزی، به‌دلیل قرارداشتن این مناطق در مسیر سامانه‌های بارشی مهاجر که از غرب این مناطق را تحت تأثیر قرار می‌دهند نسبت به سایر مناطق بیشتر است (۴چ).

* دامداری و دامپروری، بخش دیگری از کشاورزی است که در معرض خطر خشکسالی دارد. در نقشه (۴ح) پراکندگی هر ۱۰۰۰ رأس دام در کیلومترمربع نشان می‌دهد مناطق شمالی از غرب تا شرق، مناطق غربی کشور جز مناطق آسیب‌پذیر نسبت به خطر خشکسالی بوده و در بخش‌هایی نظیر بخش‌هایی از استان مازندران و گیلان، اردبیل، آذربایجان غربی، کرمانشاه و لرستان که دامداری از رونق بیشتری برخوردار است، افزایش می‌یابد.

* در ادامه برای تلفیق لایه‌ها، وزن‌های به‌دست‌آمده از جدول ۵ به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی به هرکدام از نقشه‌های آسیب‌پذیری اعمال گردید و نقشه نهایی آسیب‌پذیری ناشی از خشکسالی تهیه شد. نقشه آسیب‌پذیری در شکل (۴خ) به پنج طبقه تقسیم شده است مناطق جنوبی، جنوب شرقی و مرکز جز مناطق نسبتاً کم آسیب‌پذیر نسبت به خشکسالی می‌باشند و هر چه به سمت غرب، شمال و شمال شرق کشور پیش می‌رویم بر میزان آسیب‌پذیری افزوده می‌شود. این شرایط می‌تواند تا حدودی زیادی متأثر از ویژگی‌های اقلیمی و فیزیکی این مناطق باشد، به‌طوری‌که نقش مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی آسیب‌پذیری این مناطق را تحت تأثیر قرار داده است. استان تهران، بخش‌هایی از استان‌های حاشیه دریای خزر (گیلان و مازندران)، بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی و شرقی در شمال غرب و بخشی از استان‌های غرب کشور در معرض آسیب‌پذیری نسبتاً بالا قرار دارند.



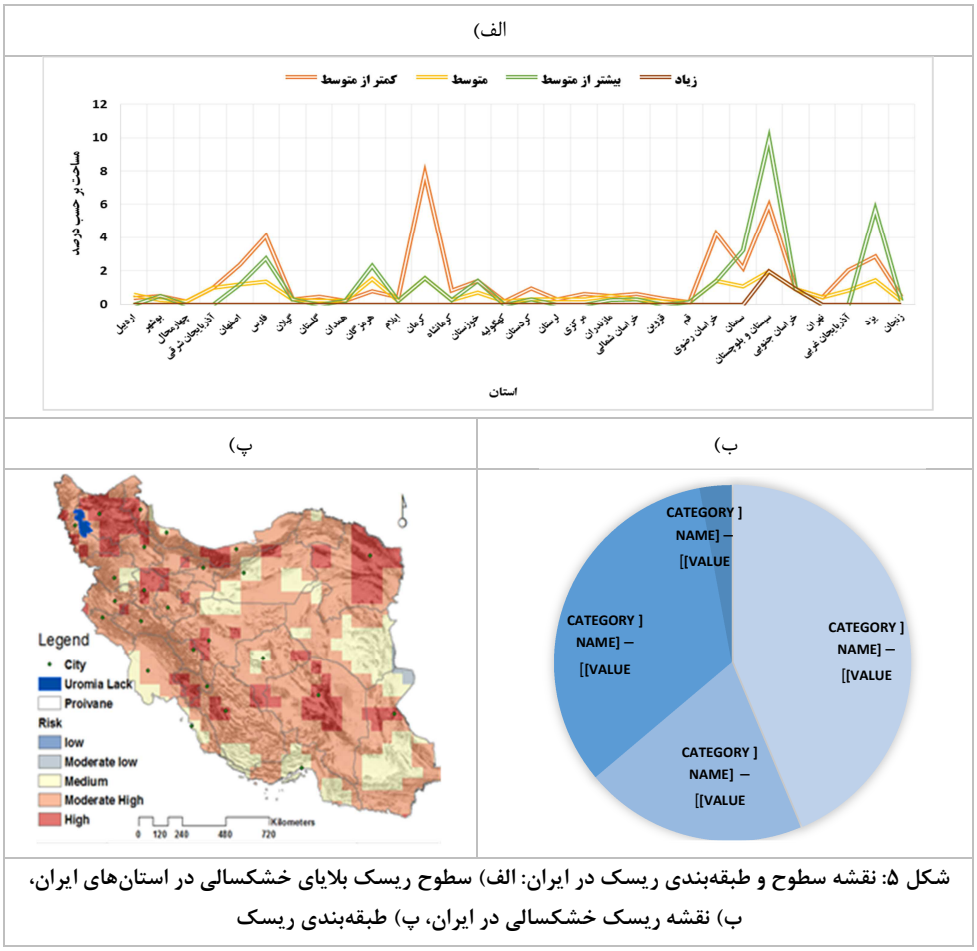


شکل ۴: گستردگی فضایی شاخص‌های آسیب‌پذیری خشکسالی در ایران الف؛ توپوگرافی، ب؛ شبکه هیدروگرافی، پ؛ کاربری اراضی، ت؛ تولید ناخالص داخلی، ث؛ تراکم جمعیت شاغل در بخش کشاورزی، ج؛ تراکم جمعیتی، چ؛ اراضی آبی و دیم، ح؛ دامداری و دامپروری

نقشه ریسک خشکسالی

نقشه ریسک خشکسالی حاکی از سیطره ریسک نسبتاً زیاد خشکسالی در پهنه وسیعی از کشور است که در نواحی از استان کرمان، فارس، سیستان و بلوچستان در جنوب و بخش‌هایی از استان خراسان رضوی در شمال شرق،

بخش‌هایی از استان‌های واقع در شمال و شمال غرب کشور و بعضی از استان‌های غربی بر میزان آن افزوده می‌شود. تنها منتهی‌الیه شرق کشور از ریسک نسبتاً کم به خشکسالی برخوردار است. تحلیل میزان ریسک خشکسالی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد ریسک خشکسالی در ایران تابعی از اقلیم و نشانگرهای آسیب‌پذیری است. پس از تهیه نقشه ریسک، درصد مساحت هر یک از طبقات ریسک در بازه زمانی ۱۲ ماهه محاسبه و به‌صورت نمودار استانی در شکل ۵ ارائه شد. در بازه زمانی۱۲ ماهه بیشترین ریسک خشکسالی در استان‌های کرمان، سیستان و بلوچستان و فارس شکل‌گرفته است. شکل نشان می‌دهد حدود ۴۰ درصد کشور در طبقه ریسک پایین و۲۰ درصد در طبقه متوسط قرار دارد و درمجموع حدود ۳۶ درصد آن با ریسک زیاد و بسیار زیاد مواجه است.



شکل ۵: نقشه سطوح و طبقه‌بندی ریسک در ایران: الف) سطوح ریسک بلایای خشکسالی در استان‌های ایران، ب) نقشه ریسک خشکسالی در ایران، پ) طبقه‌بندی ریسک

نتیجه گیری

خشکسالی یکی از پدیده‌های هواشناختی و جدایی‌ناپذیر از شرایط اقلیمی در کشورهای واقع در عرض‌های میانه مانند ایران است. در این مناطق که بیشترین بیابان‌های جهان حضور دارند، خشکسالی پدیده‌ای تکرارشونده است،

احتمال رخداد آن در هر محلی وجود داشته و پیامدهای نامطلوبی به همراه دارد. ویژگی‌ها و اثرات آن از قبیل شدت، مدت و بزرگی از محلی به محل دیگر متفاوت است. عموماً اثرهای کمبود بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و دارای محدودیت منابع آب، به‌سرعت آشکار می‌شود. خشکسالی با ماهیت آرام و خزنده به‌تدریج محیط را تسخیر و به یک بلای طبیعی تبدیل می‌گردد و برخلاف سایر بلایای طبیعی به یک باره خسارت‌های سنگینی بر جامعه تحمیل نمی‌کند درحالی‌که خسارت‌های ناشی از خشکسالی اغلب سنگین‌تر و گسترده‌تر هستند، به‌دلیل تدریجی بودن برای مردم و مسئولین نامحسوس بوده و کمتر موردتوجه قرار می‌گیرند. ازاین‌رو، شناخت مناطق با ریسک بالای خشکسالی یکی از نیازهای اساسی کشوری مانند ایران است. در این مطالعه پهنه‌بندی شاخص نشان داد بخش‌هایی از جنوب شرق کشور به‌خصوص استان کرمان، بخش‌هایی از مناطق ساحلی استان سیستان و بلوچستان، محدوده شمالی غرب خلیج‌فارس (استان بوشهر) تا خوزستان، بخش‌هایی از شمال شرق (استان خراسان رضوی) و شرق دریاچه ارومیه جزء مخاطره‌آمیزترین مناطق ازلحاظ بارش دریافتی سالانه و وقوع رخداد کمبود بارش قرار دارند. نقشه آسیب‌پذیری از خشکسالی حکایت از آن دارد که مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی در کنار مؤلفه‌های فیزیکی در میزان حساسیت مناطق به آسیب‌پذیری مؤثرند و برآیند مؤلفه‌های اقتصادی- اجتماعی و مؤلفه‌های فیزیکی موجب شده است برخی مناطق آسیب‌پذیری متوسط و به نسبت کمتری نسبت به خشکسالی داشته و برعکس، برخی دیگر از مناطق نسبت به خشکسالی حساس‌تر شوند. این پراکندگی جغرافیایی حاصل از اندرکنش مؤلفه‌های گوناگون فیزیکی و اقتصادی- اجتماعی است. از سوی دیگر، شدت و ضعف مخاطره خشکسالی و نحوه پراکندگی آن شیوه‌های متفاوت مدیریت ریسک و بحران خشکسالی را در مناطق مختلف ایجاب می‌کند و می‌بایست رویکردهای متناسب مدیریت ریسک خشکسالی در هر منطقه‌ای از یک استان یا یک شهرستان و یا یک دهستان وجود داشته باشد. بررسی‌ها نشان داده است برنامه‌ریزی‌ها در زمینه مدیریت خشکسالی در ایران، در سطح کلان و فاقد رویکرد محلی است و سطوح خرد، هیچ‌گاه به‌عنوان واحد تجزیه‌وتحلیلی در برنامه‌ریزی‌های مدیریت خشکسالی درنظر گرفته نشده است (اکرامی و همکاران،۱۳۹۴). بنابراین تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری و ریسک خشکسالی اولین گام در راستای اجرا و پیاده‌سازی مدیریت جامع‌نگر خشکسالی و یا هم‌زیستی با خشکسالی است و برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران به‌خصوص در بخش کشاورزی می‌توانند ریسک خشکسالی را اولویت‌بندی کرده و بر اساس اولویت‌بندی صورت‌گرفته در جهت کاهش ریسک قدم بردارند.

منابع

ابراهیمی، مهرزاد. (۱۳۹۹). آسیب‌پذیری اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی کشاورزان نسبت به خشکسالی: دشت بکان اقلید. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۸(۱)، ۱۹۲-۱۷۱ .

اکرامی، محمد؛ فاتحی مرج، احمد؛ برخورداری، جلال. (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی کشاورزی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک به کمک GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)؛ مطالعه موردی شهرستان تفت یزد، مهندسی آبیاری و آب ایران، ۵(۲۰) ،۱۱۷-۱۰۷.

خسروی، بلیانی؛ عباسی سمنانی، یونس.(۲۰۱۷). پهنه‌بندی مخاطرات بارشی منجر به خشکسالی و سیل در حوضه‌های آبریز حله و مند. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۴) ، ۱۳-۳۴.

حسنی نژاد، آسیه؛ تقدیسی، احمد؛ نوری، سیدهدایت اله؛ اکبریان رونیزی، سعیدرضا. (۱۳۹۷). نقش مدیریت ریسک خشکسالی در کاهش آسیب‌پذیری کشاورزان (موردمطالعه: شهرستان زرین‌دشت)، ۹(۲)، ۲۶۴-۲۷۷.

خلیلی، سید محمد؛ ناجی عظیمی، زهرا؛ حرثی، سمیرا. (۱۳۹۸). مدیریت ریسک خشکسالی کشاورزی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه‌ی فازی در شهرستان فردوس. اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۲۷(۱) ، ۲۷۴-۲۳۷.

صیدی شاهیوندی، مسلم؛ خالدی، شهریار؛ شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ذرت دانه‌ای در استان لرستان با استفاده از فن‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، ۲۹(۲)، ۱۹۵-۲۱۴.

قاسمی نژاد، سعیده؛ سلطانی، سعید؛ سفیانیان، علیرضا. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌وخاک، ۱۸(۶۸) ، ۲۱۳-۲۲۶.

متکان، علی‌اکبر؛ درویش زاده، روشنک؛ حسینی اصل، امین؛ ابراهیمی خوسفی، محسن؛ ابراهیمی خوسفی، زهره. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر خشکسالی مناطق خشک با استفاده از روش‌های دانش مبنا در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه شیطور، یزد. نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲(۵۶)، ۱۰۳-۱۱۶.

نادری، ساسان؛ قنبری موحد، رضوان؛ غلامرضایی، سعید. (۱۳۹۹). ارزیابی آسیب‌پذیری اجتماعی کشاورزان نسبت به خشکسالی (موردمطالعه: شهرستان کرمانشاه). مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی، ۱(۲)، ۹۱-۱۰۵.

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global environmental change, 16(3), 268-281.

Arnold, M., Robert S. Chen, Uwe Deichmann, Maxx Dilley, Arthur L. Lerner-Lam, Randolph E. Pullen, Zoe Trohanis (2006), Natural Disaster Hotspots Case Studies, The World Bank Hazard Management Unit 2006 Washington, D.C. ISBN 0-8213-6332-8, http://hdl.handle.net/10986/7091.

Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global environmental change, 15(2), 151-163.

Carrão, H., Naumann, G., & Barbosa, P. (2016). Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure, and vulnerability. Global Environmental Change, 39, 108-124.

De Souza, K., Kituyi, E., Harvey, B., Leone, M., Murali, K. S., & Ford, J. D. (2015). Vulnerability to climate change in three hot spots in Africa and Asia: key issues for policy-relevant adaptation and resilience-building research. Regional Environmental Change, 15(5), 747-753.

Eriyagama, N., Smakhtin, V. Y., & Gamage, N. (2009). Mapping drought patterns and impacts: a global perspective (Vol. 133). Iwmi.

Evans, B. M., & Myers, W. L. (1990). A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. Journal of Soil and Water Conservation, 45(2), 242-245.

Fan, G., Zhang, Y., He, Y., & Wang, K. (2017). Risk assessment of drought in the Yangtze River Delta based on natural disaster risk theory. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, https://doi.org/10.1155/2017/5682180.

Güneralp, B., Güneralp, İ., & Liu, Y. (2015). Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. Global environmental change, 31, 217-225.

Hallegatte, S., Mook Bangalore, Laura Bonzanigo,Marianne Fay, Tamaro Kane, Ulf Narloch, Julie Rozenberg, David Treguer, and Adrien Vogt-Schilb. 2016. Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty. Climate Change and Development Series. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22787 License: CC BY 3.0 IGO.

Hinkel, J. (2011). “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: towards a clarification of the science-policy interface. Global environmental change, 21(1), 198-208.

Huang, L., Yang, P., & Ren, S. (2013, September). The vulnerability assessment method for Beijing Agricultural Drought. In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (pp. 269-280). Springer, Berlin, Heidelberg.

Jianping Yan, (2010). Drought Risk Assessment: Mapping the Vulnerability of Agricultural Systems, Training Workshop on Drought Risk Assessment for the Agricultural Sector - Ljubljana, Slovenia, Sept. 20-24.

Kim, H., Park, J., Yoo, J., & Kim, T. W. (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. Journal of Hydro-environment Research, 9(1), 28-35.

Massam, B. H. 1988. Multi-criteria decision-making technique in planning. Plan. Program 30: 1-89.

McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.

Mishra, A. K., and V. P. Singh, 2010: A review of drought concepts. J. Hydrol.,391, 202-216.

Moazezi Zadeh Tehrani, M. R. (2014). Vulnerability measures for flood and drought and the application in hydrometric network design (Master's thesis, University of Waterloo), http://hdl.handle.net/10012/8559.

Móring, A., Németh, A., & Bihari, Z. (2012). Estimation and mapping of drought vulnerability based on climate, land use, and soil parameters using the GIS technique. At the Final conference of the DMCSEE project, Ljubljana.

Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A. and J. Vogt. (2013). Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator-based analysis to be used in early warning systems, Hydrology and Earth System Sciences, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 1591-1604, 2014.

O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., ... & West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. Global environmental change, 14(4), 303-313.

Polsky C, Neff R, Yarnal B, 2007. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. Global Environmental Change, 17(3-4): 472-485 .

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process McGraw-Hill. New York, 324, DOI: 10.4236/jss.2019.74025.

Shahid, S., & Behrawan, H. (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. Natural hazards, 46(3), 391-413.

Stone, R. C., & Potgieter, A. (2008). Drought risks and vulnerability in rainfed agriculture: example of a case study in Australia. Options Mediterranean's, 29-40.

Strzepek, K., Yohe, G., Neumann, J. and B. Boehlert, Characterizing changes in drought risk for the United States from climate change, Environmental Research Letters, vol. 5, no. 4, Article ID 044012, 2010.

Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. Water Resour. Manag. 21, 763-774.

Wisner, B. Vulnerability in Disaster Theory and Practice: From Soup to Taxonomy, then to Analysis and Finally Tool. International Work-Conference Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre, 2001; Available online .

World Bank. 2013. Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution - Noncommercial-NoDerivatives3.0 Unported license (CC BY-NC-ND 3.0).

Zarafshania, Kiumars, Lida Sharafia, Hossein Azadib,Gholamhossein Hosseininiac, Philippe De Maeyerb, Frank Witloxb, (2012), Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran, Global, and Planetary Change, Volumes 98-99, December 2012, Pages 122-130.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Biliani Saeed, Khosravi Younes, Abbasi Semnani Alireza. (2015). Zoning of rainfall hazards leads to drought and floods in the Hilleh and Mand catchments. Spatial analysis of environmental hazards. 2016; 3 (4): 34-13. [In Persian]
Ebrahimi, Mehrzad. (2020). Social, economic, and environmental vulnerability of farmers to drought: Bakan Eghlid plain. Agricultural Economics and Development, 28 (1), 171-192. [In Persian]
Ekrami, Mohammad, Fatehi Marj, Ahmad, Barkhordari, Jalal. (2015). Assessment of agricultural drought vulnerability in arid and semi-arid climates using GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP); Case study of Taft city of Yazd. Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering, 5 (20), 107-117. [In Persian]
Ghaseminejad S, Soltani S, Soffianian A. (2014). Drought Risk Assessment in Isfahan Province. 18 (68) :213-226. [In Persian]
Hassaninejad, Asia; Taqdisi, Ahmad; Noori, Syed Hedayatullah; Akbarian Ronizi, Saeed Reza. (2018). The Role of Drought Risk Management in Reducing the Vulnerability of Farmers (Case Study: Zarrin Dasht County), 9 (2), 264-277. [In Persian]
Khalili, Seyed Mohammad; Naji Azimi, Zahra; Harthi, Samira. (2018). Agricultural drought risk management using fuzzy multi-indicator decision-making methods in Ferdows city. Agricultural Economics and Development, 27 (1), 274-237. [In Persian]
Markan, A., Darvishzadeh, R., Hosseiniasl, A., Ebrahimi khusfid, M., Ebrahimi khusfie, Z. (2011). Knowledge-based drought risk zonation in arid regions using GIS (Case study: Sheitoor, Yazd). Journal of Climate Research, 2 (56), 103-116. [In Persian]
Naderi, Sasan; Ghanbari Movahed, Rezvan; Gholamrezaei, Saeed (2020). Assessing the social vulnerability of farmers to drought (Case study: Kermanshah). Geographical Studies of Mountainous Areas, 1 (2): 91-105. [In Persian]
Sidi Shahivandi, Muslim; Khaledi, Shahriar; Shakiba, Alireza; Mirbagheri, Babak. (2013). Zoning of grain maize agricultural climate in Lorestan province using geographic information system technologies, 29 (2), 195-214. [In Persian].

References (in English)

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. Global environmental change, 16(3), 268-281.
Arnold, M., Robert S. Chen, Uwe Deichmann, Maxx Dilley, Arthur L. Lerner-Lam, Randolph E. Pullen, Zoe Trohanis (2006), Natural Disaster Hotspots Case Studies, The World Bank Hazard Management Unit 2006 Washington, D.C. ISBN 0-8213-6332-8, http://hdl.handle.net/10986/7091.
Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global environmental change, 15(2), 151-163.
Carrão, H., Naumann, G., & Barbosa, P. (2016). Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure, and vulnerability. Global Environmental Change, 39, 108-124.
De Souza, K., Kituyi, E., Harvey, B., Leone, M., Murali, K. S., & Ford, J. D. (2015). Vulnerability to climate change in three hot spots in Africa and Asia: key issues for policy-relevant adaptation and resilience-building research. Regional Environmental Change, 15(5), 747-753.
Eriyagama, N., Smakhtin, V. Y., & Gamage, N. (2009). Mapping drought patterns and impacts: a global perspective (Vol. 133). Iwmi.
Evans, B. M., & Myers, W. L. (1990). A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. Journal of Soil and Water Conservation, 45(2), 242-245.
Fan, G., Zhang, Y., He, Y., & Wang, K. (2017). Risk assessment of drought in the Yangtze River Delta based on natural disaster risk theory. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2017, https://doi.org/10.1155/2017/5682180.
Güneralp, B., Güneralp, İ., & Liu, Y. (2015). Changing global patterns of urban exposure to flood and drought hazards. Global environmental change, 31, 217-225.
Hallegatte, S., Mook Bangalore, Laura Bonzanigo,Marianne Fay, Tamaro Kane, Ulf Narloch, Julie Rozenberg, David Treguer, and Adrien Vogt-Schilb. 2016. Shock Waves: Managing the Impacts of Climate Change on Poverty. Climate Change and Development Series. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22787 License: CC BY 3.0 IGO.
Hinkel, J. (2011). “Indicators of vulnerability and adaptive capacity”: towards a clarification of the science-policy interface. Global environmental change, 21(1), 198-208.
Huang, L., Yang, P., & Ren, S. (2013, September). The vulnerability assessment method for Beijing Agricultural Drought. In International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (pp. 269-280). Springer, Berlin, Heidelberg.
Jianping Yan, (2010). Drought Risk Assessment: Mapping the Vulnerability of Agricultural Systems, Training Workshop on Drought Risk Assessment for the Agricultural Sector - Ljubljana, Slovenia, Sept. 20-24.
Kim, H., Park, J., Yoo, J., & Kim, T. W. (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. Journal of Hydro-environment Research, 9(1), 28-35.
Massam, B. H. 1988. Multi-criteria decision-making technique in planning. Plan. Program 30: 1-89.

McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.

Mishra, A. K., and V. P. Singh, 2010: A review of drought concepts. J. Hydrol.,391, 202-216.

Moazezi Zadeh Tehrani, M. R. (2014). Vulnerability measures for flood and drought and the application in hydrometric network design (Master's thesis, University of Waterloo), http://hdl.handle.net/10012/8559.

Móring, A., Németh, A., & Bihari, Z. (2012). Estimation and mapping of drought vulnerability based on climate, land use, and soil parameters using the GIS technique. At the Final conference of the DMCSEE project, Ljubljana.

Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A. and J. Vogt. (2013). Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator-based analysis to be used in early warning systems, Hydrology and Earth System Sciences, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 1591-1604, 2014.

O'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., ... & West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. Global environmental change, 14(4), 303-313.

Polsky C, Neff R, Yarnal B, 2007. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. Global Environmental Change, 17(3-4): 472-485 .

Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process McGraw-Hill. New York, 324, DOI: 10.4236/jss.2019.74025.

Shahid, S., & Behrawan, H. (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. Natural hazards, 46(3), 391-413.

Stone, R. C., & Potgieter, A. (2008). Drought risks and vulnerability in rainfed agriculture: example of a case study in Australia. Options Mediterranean's, 29-40.

Strzepek, K., Yohe, G., Neumann, J. and B. Boehlert, Characterizing changes in drought risk for the United States from climate change, Environmental Research Letters, vol. 5, no. 4, Article ID 044012, 2010.

Wilhite, D.A., Svoboda, M.D., Hayes, M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. Water Resour. Manag. 21, 763-774.

Wisner, B. Vulnerability in Disaster Theory and Practice: From Soup to Taxonomy, then to Analysis and Finally Tool. International Work-Conference Disaster Studies of Wageningen University and Research Centre, 2001; Available online .

World Bank. 2013. Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution - Noncommercial-NoDerivatives3.0 Unported license (CC BY-NC-ND 3.0).

Zarafshania, Kiumars, Lida Sharafia, Hossein Azadib,Gholamhossein Hosseininiac, Philippe De Maeyerb, Frank Witloxb, (2012), Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran, Global, and Planetary Change, Volumes 98-99, December 2012, Pages 122-130.