



Evaluating probability of agricultural drought risk using diffusion theory (Case Study: Shazand, Khomein, and Saveh Plains)

Saeed Sharafi *

Department of Environment Science and Engineering, Arak University, Arak, Iran. Email: s-sharafi@araku.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received May 17, 2023
Revised June 12, 2023
Accepted July 18, 2023
Published online 12 December 2023

Keywords:
Agricultural drought,
Diffusion theory,
Food security,
Resilience.

ABSTRACT

According to the predictions outlined in global warming models, Iran, especially the plains of the central plateau, has been dealing with increasing temperatures and decreasing rainfall. These changes have had harmful effects on agricultural production and the overall sustainability of agriculture and the environment due to ongoing drought conditions. This study utilizes a model to estimate the risk of agricultural drought based on the principles of information diffusion theory. The goal is to assess the likelihood of agricultural drought occurring in the plains of Shazand, Khomein, and Saveh. By using agricultural data and meteorological information, three main aspects were taken into consideration: the susceptibility of environments prone to disasters, the ability to withstand risk, and the collective exposure to risk. To measure the risk of agricultural drought, three indicators were selected: the vulnerability of the area to drought, the percentage of abnormal rainfall, and the frequency of disaster occurrences. The results of the investigation revealed that the assessments of risk, when viewed from the perspective of disaster-prone environments, hazards, and the population exposed to risk, were significantly elevated. Concerning the susceptibility of disaster-prone environments, the examined plains show a concentrated range between severe and extremely severe sensitivities, with values ranging from 0.6 to 0.9. When considering the precariousness of the risk, these regions are facing a notably high level of vulnerability to drought. In evaluating the overall risk, the incidence of drought-related disasters in these areas exceeds 0.5 on the scale. Consequently, the associated probability of such risks materializing is estimated at intervals of approximately 4.8, 3.2, and 1.2 years for the Shazand, Khomein, and Saveh plains, respectively.

Cite this article: Sharafi, S. (2023). Evaluating probability of agricultural drought risk using diffusion theory (Case Study: Shazand, Khomein, and Saveh Plains). *ECO HYDROLOGY*.10 (3), 301-319. Doi: doi.org/10.22059/ije.2023.364593.1757



© Saeed Sharafi **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2023.364593.1757>



انتشارات دانشگاه تهران

ارزیابی احتمال خطر خشکسالی کشاورزی با استفاده از تئوری انتشار (مطالعه موردی: دشت‌های شازند، خمین و ساوه)

سعید شرفی

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: s-sharafi@araku.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

بر اساس مدل‌های گرمایش جهانی، ایران (به‌ویژه دشت‌های فلات مرکزی) با کاهش بارندگی و افزایش دما مواجه بوده، که منجر به اثرات منفی بر کشاورزی و پایداری محیط زیست به دلیل خشکسالی شده است. در این تحقیق از یک مدل تخمین احتمال ریسک خشکسالی مبتنی بر تئوری انتشار اطلاعات برای ارزیابی احتمال خشکسالی کشاورزی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه استفاده شده است. بر اساس آمار کشاورزی و داده‌های هواشناسی، سه بعد در نظر گرفته شد: حساسیت محیط‌های مستعد بلایا، ریسک‌پذیری و بدنه ریسک. سه شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی، درصد ناهنجاری بارش و نرخ فاجعه برای ارزیابی احتمال ریسک خشکسالی کشاورزی انتخاب شد. یافته‌های تحقیق نشان داد نتایج ارزیابی ریسک به‌دست‌آمده از دیدگاه‌های محیط مستعد بلایا، مخاطرات و بدنه دربرگیرنده ریسک بسیار زیاد است. از نظر حساسیت محیط مستعد بلایا، آسیب‌پذیری خشکسالی در دشت‌های یادشده بین حساسیت‌های شدید و بسیار شدید متمرکز شده است که از ۰/۶ تا ۰/۹ متغیر است. از نظر خطرناک بودن ریسک، دشت‌ها با ریسک خشکسالی بسیار زیاد مواجه هستند. از دیدگاه مخاطره‌آمیز بودن ریسک نیز نرخ بالای خشکسالی در این دشت‌ها به طور کلی بیشتر از ۰/۵ است که احتمال ریسک مربوط به آن به‌ترتیب در دشت‌های شازند، خمین و ساوه، هر ۴/۸، ۳/۲ و ۱/۲ سال یک‌بار است.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱

کلیدواژه:

امنیت غذایی،

تاب‌آوری،

تئوری انتشار،

خشکسالی کشاورزی.

استناد: شرفی، سعید. (۱۴۰۲). ارزیابی احتمال خطر خشکسالی کشاورزی با استفاده از تئوری انتشار (مطالعه موردی: دشت‌های شازند، خمین و ساوه). *آب و هیدرولوژی*، ۱۰ (۳) ۳۱۹-۳۰۱. DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2023.364593.1757>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© سعید شرفی

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2023.364593.1757>



۱. مقدمه

بدون شک خشکسالی رایج‌ترین، طولانی‌مدت‌ترین و گسترده‌ترین بلای طبیعی در مقیاس جهانی است [۱]، که تأثیر قابل توجهی بر توسعه پایدار به‌ویژه در کشاورزی و محیط زیست دارد. خشکسالی کشاورزی تأثیر جدی بر امنیت غذایی کشاورزی و توسعه پایدار کشورها دارد [۲]. محققان متعددی اثرات خشکسالی کشاورزی را ارزیابی و برآورد کرده‌اند [۳ و ۴]. در حال حاضر، روش‌های رایج برای ارزیابی خطر خشکسالی کشاورزی شامل ریسک شدید، مدل‌های ریسک احتمال [۵]، روش‌های شاخص ریسک [۶] و نظریه انتشار اطلاعات [۴] است. این روش‌ها کاربردهای متفاوتی دارند، به طوری که مدل‌های ریسک شدید و احتمال ریسک معمولاً به طور گسترده در ارزیابی ریسک بلایای طبیعی استفاده می‌شوند. با این حال، آن‌ها به مقادیر زیادی داده نیاز دارند و برای سناریوهای خشکسالی کشاورزی با حجم داده‌های کم، چندان مناسب نیستند. روش شاخص ریسک به داده‌های نسبتاً کمتری نیاز دارد و می‌توان از آن برای ناحیه‌بندی^۱ و ارزیابی ریسک استفاده کرد، اما دقت آن کمتر است [۲]؛ بنابراین تجزیه و تحلیل کمی ریسک خشکسالی کشاورزی برای بیمه کشاورزی و بازسازی پس از رخداد فاجعه کاربرد دارد. از طرف دیگر به کاهش تلفات ناشی از بلایا و ترویج پیشگیری، بهبود کارایی تولید کشاورزی، مدیریت تغییرات و نوسان‌های شدید اقلیمی و به پایداری کشاورزی در منطقه نیز کمک می‌کند.

۲. پیشینه تحقیق

طی دهه‌های گذشته، تلاش‌های گسترده‌ای برای بهبود ارزیابی‌های خطرات طبیعی و روش‌شناسی آن‌ها در مقیاس‌های مختلف، از ارزیابی ریسک خشکسالی جهانی تا ارزیابی‌های منطقه‌ای انجام شده است. در مقیاس جهانی چندین مطالعه در سال‌های اخیر منتشر شده است که بر ارزیابی ریسک خشکسالی تمرکز دارد [۷-۱۴]. در حالی که پیشرفت‌های عمده‌ای در زمینه نقشه‌برداری، پیش‌بینی و پایش رویدادهای خشکسالی در مقیاس جهانی انجام شده است. به عنوان مثال، مطالعات بسیار کمی قرار گرفتن در معرض خطرات خشکسالی یا ریسک خشکسالی را در سطح جهانی ارزیابی کرده‌اند [۱۵-۱۹]. مطالعه کاررو و همکاران اولین تلاش برای ترسیم خطر خشکسالی در مقیاس جهانی را با در نظر گرفتن خطر خشکسالی (بر اساس کمبود بارش)، قرار گرفتن در معرض (جمعیت، دام، محصولات کشاورزی، تنش آبی) و آسیب‌پذیری اجتماعی (بر اساس شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی) ارائه می‌دهد [۱۹]. در حالی که ارزیابی‌های عمومی ریسک خشکسالی برای ایجاد یک چشم‌انداز کلی از الگوهای کلیدی و نقاط حساس خطر خشکسالی مفید است، به طور فزاینده‌ای ادعان می‌شود که ارزیابی ریسک خشکسالی باید متناسب با نیازهای کاربران خاص و در سطح دشت‌ها تنظیم شود تا بتوان برنامه‌های مدیریتی را برای کاهش اثرات توسعه داد [۱۴ و ۲۰].

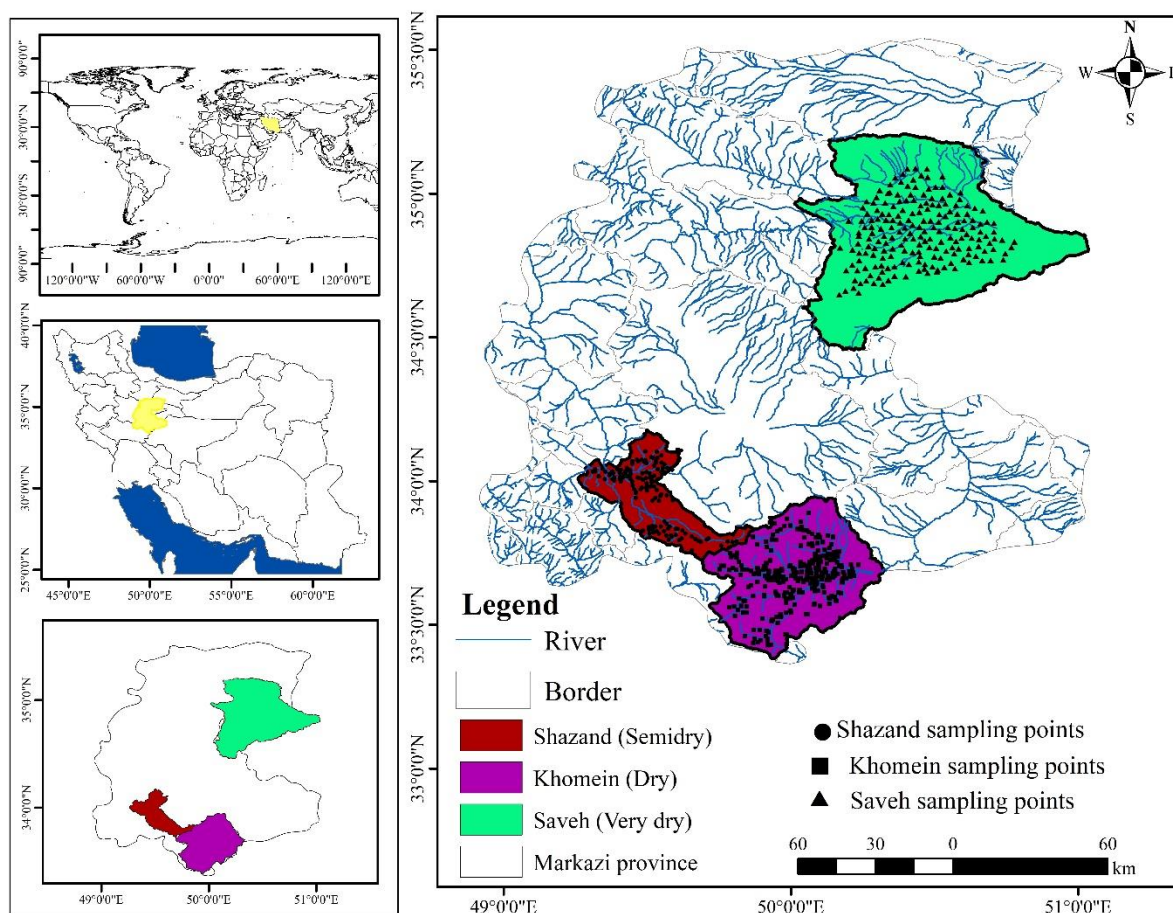
ارزیابی‌های مربوط به تأثیر یا بخش خاص در مورد اینکه چه کسی (به عنوان مثال، کشاورزان) و چه چیزی (مثلاً محصولات زراعی) در معرض خطر هستند و همچنین چه چیزی در معرض خطر هستند (به عنوان مثال، رطوبت خاک به طور غیرعادی کم، کمبود بارندگی، جریان کمتر از حد متوسط)، در کجا آن‌ها در معرض خطر هستند و چرا برای اطلاع‌رسانی هدفمند کاهش ریسک خشکسالی، تاب‌آوری و رهیافت‌های سازگاری مورد نیاز است [۲۱]. در حال حاضر چنین تحلیل‌هایی وجود ندارد. علاوه بر این، در تجزیه و تحلیل مواجهه خود، کاررو و همکاران بین کشاورزی دیم و آبی تمایز قائل نشدند، اگرچه شاخص‌های مختلف ریسک، هنگام ارزیابی ریسک خشکسالی برای این سیستم‌ها مرتبط هستند [۲۲]. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری ارائه شده توسط کاررو و همکاران بر اساس مجموعه خلاصه‌شده‌ای از شاخص‌های اجتماعی، اقتصادی و مرتبط با زیرساخت است و نقش شاخص‌های مرتبط با زیست‌بوم را به عنوان محرک ریسک خشکسالی در نظر نگرفته‌اند. بنابراین شکافی که اخیراً در بررسی سیستماتیک خشکسالی موجود برجسته شده است؛ ارزیابی ریسک در سراسر جهان [۲۳]. از دیدگاه سیستم کشاورزی-اکولوژیک منطقه‌ای، به‌ویژه هنگام ارزیابی ریسک خشکسالی در زمینه اثرات آن بر پایداری محیط زیست است، که در آن معیشت به زیست‌بوم‌ها و خدمات آن‌ها بستگی دارد، می‌تواند به درک بهتر نقش زیست‌بوم‌ها و خدمات آن‌ها تنها به عنوان محرک ریسک خشکسالی، بلکه به عنوان یک عامل برای پیشگیری و پایش اثرات منفی خشکسالی کمک کند [۲۴].

در مطالعات اقلیمی، اثرات عوامل مختلف مربوط به خاک، اقلیم و سیستم‌های زراعی را می‌توان با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر مدل‌های عملیاتی تحلیل کرد [۲۵]. از طرف دیگر، چنین شاخص‌هایی هنوز تعریف نشده‌اند، به‌ویژه برای ارزیابی تأثیر وقوع خشکسالی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای که عمدتاً در کشاورزی پایدار مطرح می‌شود [۲۶]. به عنوان مثال در مطالعه مانسلینی و همکاران ویژگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی خاک، تولید و کیفیت زی‌توده و عوامل اقلیمی به منظور شناسایی شاخص‌های خشکی در سطح مزرعه برای ارزیابی زود هنگام نتایج عملکرد گیاه، اندازه‌گیری شده در اقلیم مدیترانه‌ای انجام شد [۲۷]. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد مقادیر شاخص خشکی، در زمان کشت گیاه ممکن است باعث افزایش مقادیر ماده آلی خاک شده و کانی‌سازی خاک را طی فصل رشد محصولات سبزی را بهبود بخشیده باشد. در سال‌های اخیر، تحقیقات محدودی در زمینه تأثیر و ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی و پایداری محیط زیست انجام شده است و اکثر تحقیقات از روش‌های پهنه‌بندی ریسک بر اساس یک عامل ایجادکننده استفاده کرده‌اند. به عنوان مثال، ژانگ و همکاران ناحیه‌بندی ریسک و ارزیابی خشکسالی گندم را انجام دادند [۲۸]. گوان و همکاران احتمال خطر موج گرما با دمای زیاد در شمال چین را بر اساس داده‌های هواشناسی از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۹ و تئوری انتشار اطلاعات ارزیابی کردند [۲۹]. با این حال، از منظر تئوری سیستم بلایای طبیعی، خشکسالی نتیجه ترکیبی از اثرات مخاطره‌آمیز، محیط‌های مستعد بلایا و بدنه مخاطره‌آمیز است. خشکسالی اولین دروازه یا مرحله از بروز فجایع طبیعی در کشور است [۳۰]. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۳، متوسط سالانه منطقه تحت تأثیر خشکسالی در ایران، ۹۶۶ هزار هکتار رسیده است. طی سال‌های خشکسالی شدید، میزان فاجعه خشکسالی در کشور از ۹۰ درصد فراتر رفته است [۳۱]. علی‌رغم تلاش‌های پیشگیرانه مدیریت خشکسالی که توسط دولت و مردم انجام شده است، همراه با بهبود قابلیت‌های پیشگیری و امداد از بلایا، کشور شاهد کاهش قابل توجهی در نسبت خشکسالی‌های کشاورزی بوده و به طور مؤثر شدت آن افزایش یافته است. با این حال، با توجه به پس‌زمینه رویدادها و نوسان‌های اقلیمی، وظیفه جلوگیری از خطرات خشکسالی کشاورزی در کشور همچنان چالش برانگیز است. در حال حاضر، تحقیقاتی که این عوامل را جامع در سیستم‌های بلایای منطقه‌ای در نظر می‌گیرد، نادر است. با توجه به موارد یادشده، این تحقیق از تئوری انتشار اطلاعات برای ایجاد یک مدل ارزیابی برای تخمین و ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه از منظر خطرات، بدنه مخاطره‌آمیز و محیط‌های مستعد بلایا در چارچوب تئوری انتشار اطلاعات استفاده کرده است.

۳. مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده و داده‌های اقلیمی

دشت‌های شازند، خمین و ساوه در بخش مرکزی فلات ایران، با زمین نسبتاً هموار واقع شده‌اند. این دشت‌ها اقلیم نیمه‌خشک، خشک و بسیار خشک دارند که با تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد و خشک مشخص می‌شوند. این دشت‌ها بارش سالانه نسبتاً کمی را تجربه می‌کنند و میانگین دمای سالانه پایینی دارند. توپوگرافی منطقه عمدتاً با دشت‌ها و تپه‌ها مشخص می‌شود و چاه‌های متعدد نقش مهمی در آبیاری کشاورزی و تأمین آب دارند. پوشش گیاهی آن‌ها عمدتاً از علفزارها، زمین‌های کشاورزی و باغ‌های میوه تشکیل شده است. کشاورزی یک فعالیت اقتصادی قابل توجه در این دشت‌ها است و محصولات عمده آن شامل گیاهان زراعی (گندم، جو، ذرت، یونجه، لوبیا، زعفران، کلزا و سیب‌زمینی)، صیفی‌جات (خربزه، طالبی و هندوانه) و درختان میوه (بادام، گردو، انگور، گیلان، هلو، سیب، پسته، انار و زردآلو) است. این دشت‌ها مشخصات انواع خاک‌های متنوعی از جمله لس، خاک آبرفتی رودخانه‌ها، و خاک شور-قلیایی را نشان می‌دهند. انواع مختلف خاک به بهره‌وری کشاورزی و بهره‌برداری از زمین در این منطقه کمک می‌کند. کشاورزی یک صنعت ستون حیاتی است، اما با چالش‌هایی مانند تغییرات اقلیمی، کمبود آب و فشار استفاده از زمین مواجه است. حفاظت از محیط زیست، استفاده پایدار از منابع طبیعی و نوسازی کشاورزی از وظایف مهم برای دستیابی به پایداری در منطقه است. منطقه تحقیق و موقعیت آن در کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. موقعیت مکانی دشت‌های شازند، خمین و ساوه

بر اساس مطالعات گرمایش جهانی، فلات مرکزی با افزایش مداوم دما و کاهش بارندگی مواجه بوده است که منجر به اثرات نامطلوب بر تولیدات کشاورزی از جمله کاهش عملکرد گیاهان شده است [۳۲]. این وضعیت امنیت غذایی منطقه را با چالش‌ها و تهدیدهایی مواجه کرده است، زیست‌بوم‌های کشاورزی و تولیدات زراعی در منطقه به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و مانع توسعه پایدار آن‌ها شده است [۳۳]. بنابراین این مطالعه با هدف ارائه مبانی علمی برای پیشگیری و کنترل خشکسالی در منطقه با ارائه احتمالات خشکسالی کشاورزی در دیدگاه‌ها و شرایط اقلیمی مختلف، توسعه پایدار محصولات کشاورزی در دشت‌های مرکزی کشور انجام شد. جدول ۱ توصیفی از سه دشت متمایز شازند، خمین و ساوه را ارائه می‌دهد که ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی و هیدرولوژیکی آن‌ها را در بر می‌گیرد. اطلاعات بلندمدت هواشناسی طی سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۱ برای این سه دشت از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. با استفاده از طبقه‌بندی ایوانف-کوپن، دشت شازند در یک ناحیه اقلیمی نیمه‌خشک قرار دارد. توپوگرافی آن که از کوه‌ها تشکیل شده است، تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد دارد. دشت شازند یکی از مناطق سرد استان مرکزی است که دمای بیشینه $19/4$ درجه سانتی‌گراد، دمای کمینه $4/71$ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی آن $8/24$ میلی‌متر در هفته است. دشت ساوه در رده اقلیمی بسیار خشک (کوپری) قرار دارد، در حالی که دشت خمین جزء مناطق اقلیمی خشک طبقه‌بندی می‌شود. بر اساس شاخص‌های مختلف، مشخص می‌شود که شرایط هیدرولوژیکی دشت شازند و خمین تقریباً مشابه است (هر دو در قالب دشت‌های ممنوعه طبقه‌بندی می‌شوند)، در حالی که دشت ساوه (طبقه‌بندی شده به عنوان دشت ممنوعه بحرانی) ویژگی‌های اقلیمی مشخصی از خود نشان می‌دهد. این اختلاف‌ها به چالش‌های منابع آب در هر یک از آن‌ها انجامیده است که عمدتاً از استخراج بیش از حد آب‌های زیرزمینی برای اهداف کشاورزی ناشی می‌شود. تجزیه و تحلیل جدول ۱ نشان می‌دهد دشت شازند در ارتفاع نسبتاً بالاتری از سطح دریا (۱۹۱۳ متر) قرار دارد. بنابراین، این دشت میانگین دمای بیشینه و

شاخص تابش خورشیدی کمتری را نشان می‌دهد. در نتیجه، مقادیر متوسط تبخیر و تعرق مرجع هفتگی نیز کمتر است. در مقابل، هر دو دشت خمین و ساوه دمای بیشینه بالاتری را به ترتیب ۱/۲ و ۴/۶۳ درجه سانتی‌گراد ثبت کردند. همچنین، این دو دشت نسبت به دشت سازند تابش خورشیدی قابل توجهی دریافت می‌کنند. این منجر به افزایش مقادیر تبخیر و تعرق مرجع هفتگی گزارش شده برای دشت خمین و ساوه به ترتیب با افزایش ۲/۳۵ و ۵/۵۹ میلی‌متر در هفته در مقایسه با دشت سازند می‌شود [۳۴].

جدول ۱. شرایط جغرافیایی، اقلیمی و هیدرولوژیکی دشت‌های سازند، خمین و ساوه

مشخصات جغرافیایی						
دشت	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه‌بندی اقلیم	شرایط دشت
سازند	۳۳/۵۷	۴۵/۲۹	۱۹۱۳	۹۸۴	نیمه‌خشک	ممنوعه
خمین	۳۳/۳۷	۵۰/۰۵	۱۸۳۴	۲۱۲۶	خشک	ممنوعه
ساوه	۳۵/۰۳	۵۰/۲۰	۱۱۰۸	۴۰۶۶	فراخشک	ممنوعه بحرانی
مشخصات اقلیمی						
دشت	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	دمای میانگین (سانتی‌گراد)	بارش (میلی‌متر در هفته)	تشنه (مگاژول بر مترمربع در روز)	تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر در هفته)
سازند	۴/۷۱	۱۹/۴	۱۲/۰۸	۸/۲۴	۱۶/۰۵	۲۷/۹۹
خمین	۶/۵	۲۱/۶	۱۳/۷	۵/۱۷	۱۸/۸۷	۳۳/۵۱
ساوه	۱۲/۶۹	۲۴/۰۳	۱۸/۰۳	۳/۵۵	۲۲/۷۶	۵۴/۹۵

محاسبه ریسک خشکسالی

در ارزیابی ریسک خشکسالی، نتایج به دست آمده از روش‌های ریسک احتمالی بر اساس قانون اعداد زیاد، زمانی که حجم نمونه کافی نباشد، قابل اعتماد نیستند. در این مطالعه، از نظریه انتشار اطلاعات برای تخمین احتمال ریسک خشکسالی استفاده شد. این روش نتایج مطلوبی را در سناریوهایی با نمونه داده‌های محدود نشان داده است [۲۹]. نظریه انتشار اطلاعات روشی برای مواجه شدن با اطلاعات ناقص بر اساس ریاضیات فازی است. اصل اساسی آن مبتنی بر مفهوم توابع انتشار است. با وارد کردن نمونه‌ها در تابع انتشار، نقاط داده مشاهده شده را می‌توان کمی‌سازی کرد، کمبود اطلاعات ناشی از داده‌های ناکافی را جبران کرد و دقت را بهبود بخشید [۳۵]. تئوری انتشار اطلاعات بر این فرض استوار است که یک نمونه اطلاعات معین می‌تواند برای تخمین یک رابطه استفاده شود. استفاده مستقیم از چنین نمونه‌ای منجر به تخمین غیر انتشار می‌شود. تنها زمانی که حجم نمونه ناقص است، باید یک تابع انتشار مناسب و الگوریتم مربوطه وجود داشته باشد که بتواند تخمین انتشار را به وضعیت واقعی نزدیک‌تر کند. از آنجا که داده‌های خشکسالی کشاورزی اغلب به صورت سالانه گزارش می‌شوند، با موقعیت‌های نمونه کوچک همسو می‌شوند و آن را برای تجزیه و تحلیل با استفاده از روش انتشار اطلاعات نرمال بسیار مناسب می‌سازند. بنابراین طبق رابطه ۱ مفروض است که X یک مجموعه نمونه از مقادیر واقعی مشاهده شده شاخص‌های ارزیابی ریسک در یک منطقه خاص طی m سال گذشته باشد:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \quad (1)$$

که در آن x_i یک نقطه نمونه مشاهده شده را نشان می‌دهد و m تعداد کل نمونه‌های مشاهده شده است. فرض بر این است که U مجموعه محدوده انتشار اطلاعات برای هر نمونه مقدار واقعی مشاهده شده در مجموعه باشد (رابطه ۲)

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (2)$$

که در آن u هر مقدار واقعی گسسته‌ای را نشان می‌دهد که در فواصل ثابت در بازه به دست می‌آید (u_1, \dots, u_n) برای هر مقدار x_i مشاهده شده یک مقدار نمونه در مجموعه نمونه X ، از رابطه ۳ برای انتشار اطلاعات به تمام نقاط حوزه نشانگر استفاده می‌شود:

$$f_i(u_j) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - u_j)^2}{2h^2}\right] \quad (۳)$$

که h ضریب انتشار اطلاعات است و بیان تحلیلی آن به صورت رابطه ۴ است:

$$h = \begin{cases} 0.8146 \times (b-a) & m=5 \\ 0.5690 \times (b-a) & m=6 \\ 0.4560 \times (b-a) & m=7 \\ 0.3860 \times (b-a) & m=8 \\ 0.3362 \times (b-a) & m=9 \\ 0.2986 \times (b-a) & m=10 \\ 2.6851 \times (b-a) & m=11 \end{cases} \quad (۴)$$

که در آن a کمترین $(x_i, i=1, 2, \dots, m)$ بیشترین b تعداد کل نمونه‌های مشاهده شده است. همچنین بر اساس رابطه ۵ فرض بر این است که:

$$C_i = \sum_{j=1}^n f_i(u_j), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (۵)$$

سپس طبق رابطه ۶ توزیع اطلاعات نرمال شده x_i نمونه به صورت زیر داده می‌شود:

$$u_{xi}(u_j) = \frac{f_i(u_j)}{C_i} \quad (۶)$$

بنابراین طبق رابطه‌های ۷-۹ فرض بر این است که:

$$q(u_j) = \sum_{i=1}^m u_{xi}(u_j), \quad j=1, 2, \dots, m \quad (۷)$$

$$Q = \sum_{j=1}^m q(u_j) \quad (۸)$$

در نتیجه:

$$p(u_j) = \frac{q(u_j)}{Q} \quad (۹)$$

همان‌طور که اشاره شد، رابطه ۹ مقادیر فرکانس تمام نمونه‌های موجود در $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ را نشان می‌دهد به عنوان تخمین احتمال عمل می‌کند. عبارت بیش از حد احتمال به صورت رابطه ۱۰ است:

$$P(u \geq u_j) = \sum_{k=j}^n q(u_k), \quad i=1, 2, \dots, m \quad (۱۰)$$

ساخت مدل ارزیابی ریسک خشکسالی

انتخاب شاخص

بر اساس تئوری سیستم‌های بلایای منطقه‌ای، بلایای طبیعی نتیجه ترکیبی از اثرات مخاطرات، محیط‌های مستعد و بدنه مخاطره‌آمیز است [۳۶]؛ بنابراین، هنگام ساخت مدل ریسک خشکسالی و در مقایسه با رویکردهای مرسوم که بر تحلیل ریسک خشکسالی از یک شاخص تکیه دارند، انتخاب شاخص‌ها نیاز به در نظر گرفتن این سه جنبه (محیط‌های مستعد، ریسک، بدنه حامل ریسک) دارد تا وضعیت واقعی خشکسالی را بهتر منعکس کند. آسیب‌پذیری خشکسالی به عنوان شاخص ارزیابی محیط‌های مستعد بلایا انتخاب می‌شود [۳۷]. آسیب‌پذیری خشکسالی ویژگی‌های گیاهان، آسیب به زیست‌بوم‌های طبیعی و عوامل اجتماعی و اقتصادی را در نظر می‌گیرد. با توجه به کامل بودن و در دسترس بودن داده‌های شاخص‌ها، برای تعیین اهمیت آن‌ها در ارزیابی

حساسیت به خشکی از وزن دهی توسط کارشناسان و کشاورزان پیشرو استفاده شد و در نهایت با استفاده از برنامه فراتصمیم^۱ (نسخه ۳/۲) وزن هر یک از پارامترها صورت پذیرفت (جدول ۲). ایجاد آسیب پذیری خشکسالی شرایط اقلیمی و کشاورزی در دشت‌های سازند، خمین و ساوه را در نظر می‌گیرد. بنابراین شاخص‌های مربوطه در سیستم گنجانده شده تا وضعیت واقعی منطقه را منعکس کند. به عنوان مثال، منطقه کنترل فرسایش خاک و آب به عنوان یک شاخص مثبت در شاخص آسیب‌پذیری مناطق مستعد خشکسالی در دشت‌های یادشده در نظر گرفته شد [۳۴]. این نشان‌دهنده برخی از سیاست‌های توسعه پایدار اجراشده در کشور در سال‌های اخیر است، همان‌طور که در گزارش‌هایی مانند گزارش چشم‌انداز برنامه هفتم توسعه نیز ذکر شده است.

جدول ۲. تنظیم شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی نشانگر D مقدار اولیه وزن

شاخص D	مقداردهی اولیه نشانگر	وزن
بارش سالانه	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱۵
کنترل فرسایش خاک	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱
نسبت کشت گندم به سایر گیاهان زراعی	-	۰/۰۵
شاخص آبیاری	سطح زیر آبیاری تقسیم بر مساحت کل	۰/۱۵
شاخص کشت مجدد	-	۰/۰۵
توان کشاورزی در واحد سطح	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۰۵
مصرف کودهای شیمیایی در واحد سطح	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۰۵
عملکرد دانه در واحد سطح	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱
سطح درآمد سرانه	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱
سرانه در اختیار داشتن غلات	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱
سرانه زمین زراعی	تقسیم بر حداکثر مقدار	۰/۱

بر اساس سیستم شاخص یادشده، مدل با استفاده از رابطه ۱۱ برای محاسبه آسیب‌پذیری سه دشت ساخته شد:

$$V_j = 1 - \sum D_{ij}^* W_i + \min \sum D_{ij}^* W_i \quad (11)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 11 \quad j = 1, 2, 3$$

جایی که V_j ؛ نشان‌دهنده مقدار عددی آسیب‌پذیری است، D_{ij}^* ؛ مقدار اولیه شاخص i برای زمین دشت است، W_i ؛ وزن i زمین شاخص است، $\max \sum D_{ij}^* W_i$ ؛ مقدار بیشینه دشت در یک سال معین است، $\min \sum D_{ij}^* W_i$ ؛ حداقل مقدار مجموع وزنی شاخص‌ها در بین سه دشت در یک سال معین است. همچنین درصد ناهنجاری بارش به عنوان نمونه ارزیابی در جنبه ریسک انتخاب شد. این شاخص نشان‌دهنده انحراف میانگین بارش در یک سال خاص از میانگین بلندمدت بارش است که طبق رابطه ۱۲ محاسبه شد:

$$PA = \frac{R_i - \bar{R}}{\bar{R}} \times 100 \quad (12)$$

PA؛ نشان‌دهنده درصد ناهنجاری بارندگی است، R_i ؛ بارش در یک سال معین است، \bar{R} ؛ میانگین بلندمدت بارش است.

جدول ۳. طبقه‌بندی درصد ناهنجاری بارش

سطح	درصد ناهنجاری بارندگی (RA)	سطح خشکسالی/سبیل
۱	$PA \leq -45$	خشکسالی بسیار شدید
۲	$-45 < PA \leq -40$	خشکسالی شدید
۳	$-40 < PA \leq -30$	خشکسالی متوسط
۴	$-30 < PA \leq -15$	خشکسالی ملایم
۵	$-15 < PA < 15$	نرمال

نرخ فاجعه به عنوان شاخص ارزیابی بدنه حامل ریسک انتخاب شد. نرخ فاجعه به نسبت مساحت آسیب‌دیده ناشی از بلایای کشاورزی یا خشکسالی به سطح زیر کشت گیاهان زراعی اشاره دارد که نشان‌دهنده میزان تأثیر خشکسالی کشاورزی در یک دشت است. مقدار بالاتر نشان‌دهنده تأثیر بیشتر خشکسالی است. بنابراین نرخ فاجعه بر حسب درصد برابر با وسعت منطقه آسیب‌دیده از بلایا تقسیم بر مساحت زمین‌های زراعی است.

متغیرهای مدل

بر اساس توضیحات یادشده، داده‌های آماری کشاورزی و داده‌های اقلیمی به عنوان منابع داده‌های اساسی شامل سالنامه‌های آماری استانی، سالنامه‌های آماری روستایی، سایت‌های رسمی اداره هواشناسی و غیره انتخاب شدند. طی یک دوره دوساله، توجه دقیقی به هر جنبه از کشت، اندازه‌گیری سطح زیر کشت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، تعیین عملکرد محصول و رکوردگیری تولید محصول شد. برای اطمینان از ارزیابی دقیق عملکرد محصول، عملیات رکوردگیری با دقت و توسط کارشناسان انجام شد. این تحقیق شامل ارزیابی ۲۹۷۲ مزرعه در دشت شازند (اقلیم نیمه‌خشک)، ۱۸۵۹ مزرعه در دشت خمین (اقلیم خشک) و ۵۰۵۳ مزرعه در دشت ساوه (اقلیم فراخشک) بود (شکل ۱).

طبق تعریف شاخص محیط‌های مستعد فاجعه؛ تعداد نمونه‌ها (m) از روی مقادیر درصد ناهنجاری بیشتر از ۱۶ (جدول ۳)، در نظر گرفته شد. دامنه گسسته به صورت $U=[0.35, 0.375, \dots, 0.8]$ تعریف شد. سپس ضریب انتشار اطلاعات به صورت $h=2.6851 \times (b-a)/(m-1)$ محاسبه شد. برای ارزیابی جنبه ریسک، تعداد نمونه‌ها (m)؛ روی ۲۰ تنظیم شد. دامنه گسسته به صورت $U=[-100, -95, \dots, 100]$ تعریف شد، و ضریب انتشار اطلاعات به صورت $h=2.6851 \times (b-a)/(m-1)$ محاسبه شد. همچنین برای ارزیابی جنبه بدنه تحمل‌پذیری خطر، تعداد نمونه‌ها (m) روی ۳۷ تنظیم شد. دامنه گسسته به صورت $U=[0, 0.05, \dots, 1]$ تعریف شد و ضریب انتشار اطلاعات به صورت $h=2.6851 \times (b-a)/(m-1)$ محاسبه شد.

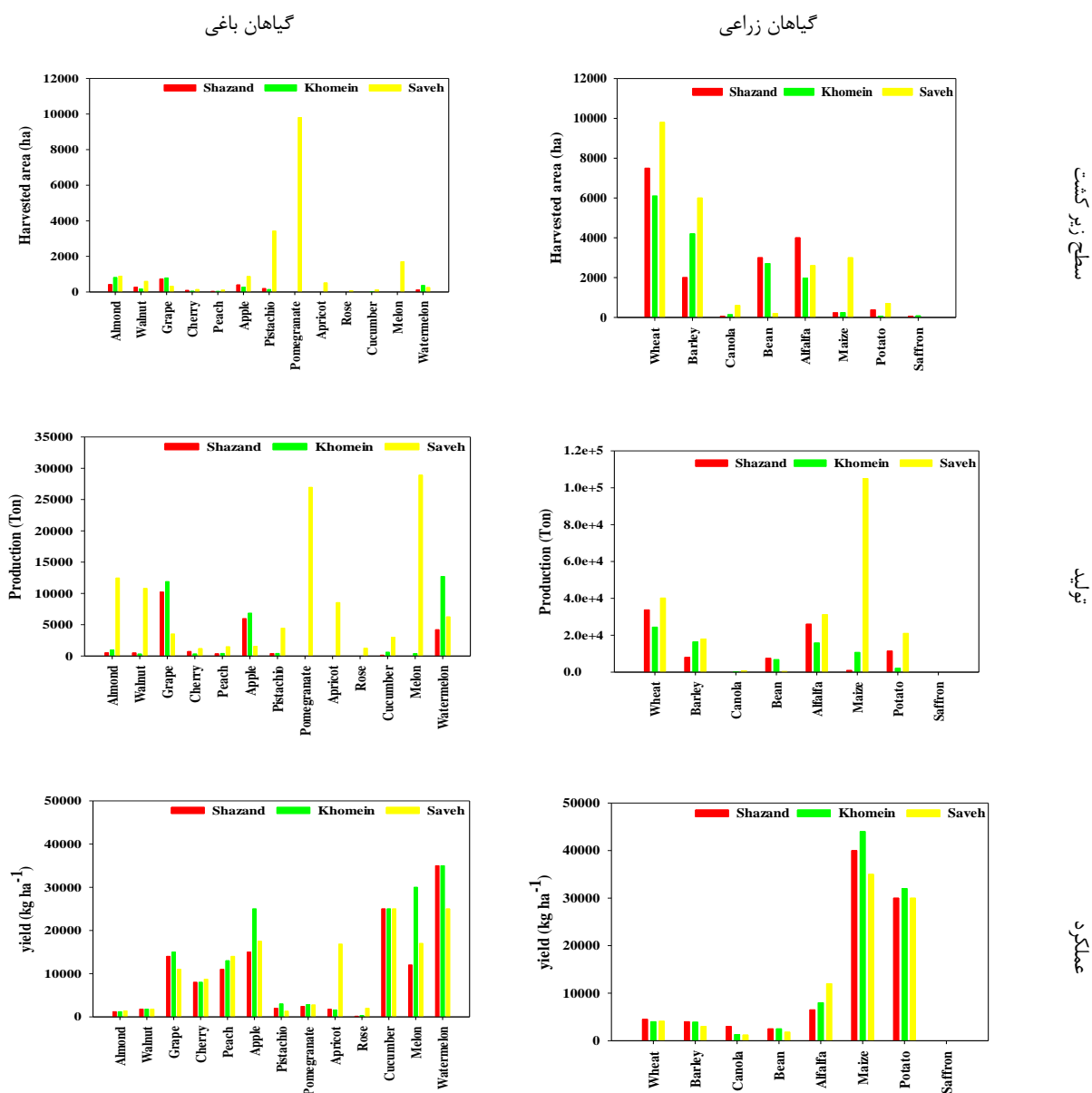
۴. یافته‌ها

وضعیت کشاورزی دشت‌ها

شکل ۲ بر اساس ویژگی‌های کشاورزی خاص دشت‌های مورد مطالعه، جزئیات جامعی را در مورد سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گیاهان ارائه می‌دهد. تحقیقات اخیر تأکید می‌کند که دشت‌های محصور در اقلیم‌های نیمه‌خشک، خشک و فراخشک در دسته دشت‌های ممنوعه قرار می‌گیرند، که کاهش سطح زیر کشت را به عنوان یک بخش حیاتی از استراتژی‌های مدیریت بلندمدت تضمین می‌کند. با این وجود، به دلیل چالش‌های معیشتی، کشاورزان زیادی به حفر چاه‌های غیرمجاز متوسل شده‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد در دشت‌های شازند، خمین و ساوه، سطح زیر کشت به ترتیب ۱۹۴۷۹ هکتار، ۱۸۱۶۶ هکتار و ۴۱۶۸۲ هکتار بوده است. از این تعداد ۸۸، ۸۵ و ۵۵ درصد به گیاهان زراعی اختصاص یافته است. همچنین ۱۱، ۱۳ و ۴۰ درصد به باغ‌ها و فقط ۱، ۲ و ۵ درصد برای محصولات صیفی که شامل خیار، خربزه و هندوانه است. درخت‌های یادآوری است، در دشت ساوه، بخش قابل توجهی از زمین‌ها برای محصولات باغی کم‌آب‌بر مانند انار به دلیل بهره‌برداری از آب‌های سطحی تعیین شده است [۳۳]. این استراتژی در حفظ آب مؤثرتر است و در نتیجه بر میراث کشاورزی (نگهداری از باغ‌های انار) سرمایه‌گذاری می‌کند. به‌عکس، کشت محصولات درختی مانند پسته و انار در دشت‌های شازند و خمین به دلیل کوهستانی بودن و دمای پایین طی فصل رشد، چالش‌های بیشتری را پیش رو دارند. در نتیجه، این اقلیم‌ها عمدتاً بر کشت گیاهان زراعی پاییزه تأکید دارند. متأسفانه به دلیل اقدامات مدیریتی ناکافی در دهه‌های اخیر، محصولات درختی مانند گردو، بادام و به‌ویژه انگور از بی‌توجهی رنج برده‌اند. علاوه بر این، بسیاری از باغ‌ها به کشت گیاهان زراعی تبدیل شده‌اند. شایان یادآوری است که محصولات عمده در این اقلیم‌ها ۴۴، ۳۹ و ۴۳ درصد از مناطق زیر کشت را به گندم اختصاص می‌دهند که همچنان یک گیاه استراتژیک و حیاتی برای کشور است (شکل ۲).

همچنین نتایج نشان داد مجموع تولیدات کشاورزی در دشت‌های شازند (۱۱۰۶۲۷ تن)، خمین (۱۱۱۰۹۷ تن) و ساوه (۳۲۶۷۰۶ تن)، نسبت قابل توجهی (بیش از ۷۹، ۶۹ و ۶۶ درصد) مربوط به گیاهان زراعی، ۱۷، ۱۹ و ۲۲ درصد برای محصولات

باغی و به ترتیب فقط ۴، ۱۲ و ۱۲ درصد برای محصولات جالیزی است. با مقایسه مقادیر تولید در این دشت‌ها، گندم به عنوان مهم‌ترین سهم در میان گیاهان ظاهر می‌شود، در حالی که انگور بر تولید محصولات باغی در دشت‌های شازند و خمین غالب است و انار در دشت ساوه برتری دارد. در هر سه دشت، ذرت و سیب به طور مداوم بالاترین عملکرد را در بین محصولات زراعی و باغ‌ها نشان می‌دهند (شکل ۲).



شکل ۲. مقادیر سطح زیر کشت، تولید و عملکرد گیاهان زراعی و باغی دشت‌های شازند، خمین و ساوه

به دلیل اینکه در این مقاله مفهوم ریسک خشکسالی منطقه‌ای پیشنهاد شده است، بنابراین باید اهمیت کاربرد مدل تحلیل شود. با در نظر گرفتن عوامل ریسک، حساسیت و ظرفیت تطبیقی، مفهوم ریسک خشکسالی مطرح می‌شود. ریسک خشکسالی مشابه مفهوم تولید ناخالص داخلی سرانه در اقتصاد است و خطر خشکسالی را در بین مناطق مختلف قابل مقایسه می‌کند. در غیر این صورت، مناطق با سطح زیر کشت وسیع و خطر کم به عنوان مناطق پرخطر شناخته می‌شوند. خطر خشکسالی منطقه‌ای بر اساس در نظر گرفتن ریسک واحد پیشنهاد شده است و بر اساس یک دیدگاه کلی در سطح دشت انجام می‌شود، ولی خطرات بروز خشکسالی منطقه‌ای را منعکس می‌کند. بنابراین، بر اساس ویژگی‌های ریسک واحد و ریسک منطقه‌ای، ارزیابی مقایسه‌ای

ریسک خشکسالی منطقه‌ای دارای ارزش مرجع بالایی برای بهینه‌سازی ساختار کشاورزی است [۳۸]. بر اساس روش ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی پیشنهاد شده در این مقاله، اگر عملکرد دانه یک گیاه با عملکرد محصول همان گیاه جایگزین شود، می‌توان خطر خشکسالی کشاورزی یک گیاه معین را محاسبه کرد. زمانی که محصولی دارای خطر خشکسالی واحد بیشتری باشد، خطر منطقه‌ای را می‌توان با کاهش سطح زیر کشت آن گیاه کاهش داد و در نتیجه، نسبت محصولات با ریسک واحد بالا را کاهش داد. به طور مشابه، هنگامی که یک گیاه دیگر دارای ریسک خشکسالی نسبتاً پایینی باشد، خطر منطقه‌ای را می‌توان با افزایش سطح زیر کشت آن گیاه افزایش داد، بنابراین نسبت کاشت گیاه با ریسک واحد کمتر، را باید افزایش داد. از آنجا که سطح زیر کشت (در معرض) به طور کلی بدون تغییر است، محصولات با ریسک واحد پایین می‌توانند خطر کلی منطقه را کاهش دهند و در نتیجه خطر از بین رفتن کشاورزی را در سطح دشت، به دلیل خشکسالی کاهش می‌دهند [۳۹-۴۱].

تجزیه و تحلیل احتمال خشکسالی

بسیاری از شاخص‌های خشکسالی برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی استفاده می‌شود، به عنوان مثال، SPEI، SPI، PDSI و غیره [۴۶-۴۸]. این شاخص‌ها تنها عوامل ایجادکننده خطرات خشکسالی کشاورزی را در نظر می‌گیرند. با این حال، کمبود آب لزوماً منجر به خشکسالی کشاورزی نمی‌شود. خشکسالی رویدادی است که در آن کمبود آب پایدار بر محیط زیست و جامعه انسانی تأثیر منفی می‌گذارد. همچنین دارای هر دو ویژگی طبیعی و اجتماعی است [۴۹]. بلایای خشکسالی نه تنها به عوامل مخاطره‌آمیز مربوط می‌شود، بلکه با قرار گرفتن در معرض، حساسیت و توانایی مقاومت در برابر خشکسالی بدنه‌های فاجعه‌بار نیز ارتباط دارند. بنابراین، ارزیابی خشکسالی کشاورزی از نظر عوامل ریسک، قرار گرفتن در معرض، حساسیت و ظرفیت تطبیقی واقع‌بینانه‌تر است. در ارزیابی‌های قبلی ریسک خشکسالی، شاخص‌های خاصی برای نشان دادن حساسیت و ظرفیت سازگاری انتخاب می‌شدند [۵۰-۵۱]، که تحت تأثیر تعداد و همبستگی شاخص‌ها قرار می‌گرفتند. در حالی که تحقیق حاضر، مستقیم‌ترین نتیجه کشاورزی یعنی عملکرد دانه را به کار گرفته است. بر اساس تحلیل حساسیت و ظرفیت تطبیقی، بازده حساس به عنوان نماینده حساسیت و بازده روند به عنوان نماینده ظرفیت تطبیقی در نظر گرفته شد. روش‌های محاسبه حساسیت و ظرفیت تطبیقی ساده و نزدیک به مفاهیم خود هستند. بنابراین مفهوم ریسک خشکسالی واحد در واقع همان ریسک خشکسالی منطقه‌ای است. بر اساس مدل طراحی شده در بخش مواد و روش‌ها، انتشار اطلاعات بر نمونه‌ها در سه جنبه (محیط‌های مستعد، ریسک، بدنه حامل ریسک) برای تجزیه و تحلیل احتمال خشکسالی انجام شد.

جنبه فاجعه‌آمیز خشکسالی

بر اساس مدل تئوری انتشار اطلاعات، شاخص آسیب‌پذیری خشکسالی (V) دشت‌های شازند، خمین و ساوه به عنوان نمونه انتخاب شدند. با انجام انتشار اطلاعات بر شاخص آسیب‌پذیری U، احتمال برآورد سطوح مختلف آسیب‌پذیری محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۴. برآورد حساسیت به خشکسالی

V	۰/۶ - ۰/۷	۰/۵ - ۰/۶	۰/۴ - ۰/۵	< ۰/۴
شازند	6×10^{-10}	۰/۹۰۳	۰/۰۱۹	.
خمین	1×10^{-5}	۰/۷۸۲	۰/۴۲۴	8×10^{-10}
ساوه	1×10^{-10}	۰/۰۰۸	۰/۹۹۲	.

وقتی $0/6 < V \leq 0/7$ باشد حساسیت به خشکی بسیار زیاد است، یعنی نشان‌دهنده نسبت بیشتری از وقوع خشکسالی است. وقتی $0/5 < V \leq 0/6$ باشد، حساسیت به خشکی نسبتاً زیاد است. هنگامی که $0/4 < V \leq 0/5$ باشد، حساسیت به خشکی متوسط است. هنگامی که $V \leq 0/4$ باشد، حساسیت به خشکی کمترین است. هر محدوده V در جدول ۴ مربوط به ارزیابی از انتشار اطلاعات است. به عنوان مثال، احتمال $0/5 < V \leq 0/6$ برابر ۰/۹۰۳ است که حساسیت نسبتاً بالا به خشکی در آن منطقه را نشان

می‌دهد. اگرچه شاخص‌های انتخاب‌شده ممکن است جامع نباشند، نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری خشکسالی به طور کلی با وضعیت حساسیت ریسک خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه مطابقت دارد. نتایج پژوهش محققان تأیید می‌کند که ریسک خشکسالی کشاورزی الگوی ناهمگونی را در سطح جهانی نشان می‌دهد. تجزیه و تحلیل ارائه‌شده با ارائه اطلاعات در مورد محرک‌ها و الگوهای فضایی ریسک خشکسالی در همه ابعاد ریسک، مواجهه و آسیب‌پذیری، می‌تواند از شناسایی اقدامات مناسب برای کاهش ریسک خشکسالی و افزایش تاب‌آوری سیستم‌های کشاورزی حمایت کند [۱۲].

جنبه خطر

بر اساس مدل ریسک انتشار اطلاعات، درصد ناهنجاری بارش در دشت‌های مورد مطالعه تعیین شدند. سپس با ارزیابی انتشار اطلاعات، احتمال خطرناک بودن خشکسالی در بعد ریسک ارزیابی شد. از نتایج جدول ۵ چنین استنباط می‌شود که هر سطح ریسک با یک برآورد احتمال خطر مطابقت دارد. برآورد ریسک خشکسالی متوسط برای دشت شازند $0/091$ که معادل ریسک خشکسالی شدید $0/007$ است و در نتیجه، نشان‌دهنده احتمال $0/071$ برای خشکسالی متوسط و احتمال $0/007$ برای خشکسالی شدید در دشت شازند است. نتایج جدول ۵ وجود گسترده خطرات خشکسالی را در منطقه مرکزی کشور، با احتمال خشکسالی شدید را نشان می‌دهد که با وضعیت خشکسالی واقعی در منطقه نیز همسو است.

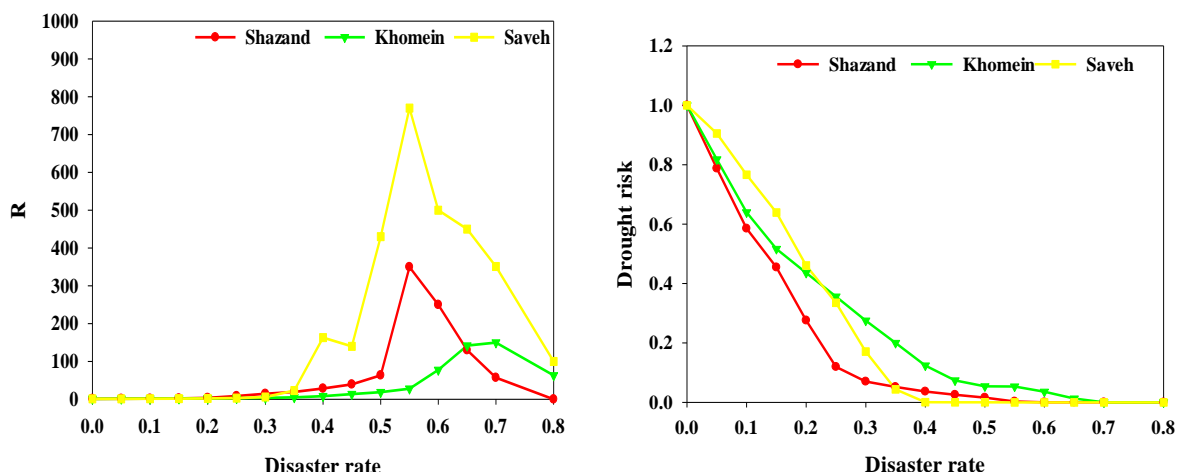
جدول ۵. برآورد خطر خشکسالی

دشت	بسیار شدید	شدید	متوسط	ملازم	نرمال
شازند	۰	$0/007$	$0/091$	$0/352$	$0/469$
خمین	$0/002$	$0/022$	$0/101$	$0/333$	$0/456$
ساوه	$0/019$	$0/038$	$0/122$	$0/282$	$0/420$

جنبه بدنه تحمل‌کننده خطر

با استفاده از مدل ریسک انتشار اطلاعات، نرخ بلایا به عنوان نمونه برای انجام انتشار اطلاعات و به دست آوردن احتمال خطر خشکسالی در سطح بلایا (همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است) گرفته شد. هر نرخ بلایا در شکل ۳ مربوط به احتمال خطر خشکسالی است. به عنوان مثال، در شازند، احتمال خطر خشکسالی برای نرخ بلایا $0/05$ ، $0/1$ و $0/15$ به ترتیب $0/78777$ ، $0/58543$ و $0/45462$ بود. همچنین R نشان‌دهنده ریسک سالانه است که متقابل احتمال است. به عنوان مثال، زمانی که نرخ فاجعه $0/05$ است مقدار R برابر با $1/3$ است که نشان می‌دهد احتمال ریسک خشکسالی در دشت شازند با نرخ وقوع $0/05$ هر یک تا دو سال رخ می‌دهد. به طور مشابه، هنگامی که نرخ فاجعه $0/2$ است، مقدار R برابر با $3/6$ است که نشان‌دهنده احتمال ریسک خشکسالی در دشت شازند با نرخ فاجعه $0/2$ یک بار در هر $3-4$ سال رخ می‌دهد.

از طرف دیگر، در دشت خمین احتمال ریسک خشکسالی برای نرخ بلایا $0/05$ ، $0/1$ و $0/15$ به ترتیب $0/81823$ ، $0/64003$ و $0/51685$ است. به عنوان مثال، زمانی که نرخ فاجعه $0/05$ است، مقدار R برابر با $1/2$ است که نشان می‌دهد احتمال خطر خشکسالی در دشت خمین با نرخ وقوع $0/05$ هر یک تا دو سال است. به طور مشابه، هنگامی که نرخ فاجعه $0/2$ است، مقدار R برابر با $2/3$ است که احتمال خطر خشکسالی در دشت خمین را با نرخ فاجعه $0/2$ یک بار در هر $2-3$ سال نشان می‌دهد. در دشت ساوه، احتمال خطر خشکسالی برای نرخ بلایا $0/05$ ، $0/1$ و $0/15$ به ترتیب $0/90530$ ، $0/76657$ و $0/63933$ است. به عنوان مثال، زمانی که نرخ فاجعه $0/05$ است، مقدار R برابر با $1/1$ است که احتمال خطر خشکسالی در دشت ساوه را با نرخ وقوع $0/05$ یک بار در هر یک تا دو سال نشان می‌دهد. به طور مشابه، هنگامی که نرخ فاجعه $0/2$ است، مقدار R برابر با $2/2$ است که احتمال خطر خشکسالی در دشت ساوه را با نرخ فاجعه $0/2$ یک بار در هر $1-2$ سال نشان می‌دهد.



شکل ۳. برآورد ریسک خشکسالی و ریسک سالانه خشکسالی (R) در دشت‌های شازند، خمین و ساوه

سطوح طبقه‌بندی خطر خشکسالی

پس از تخمین مقادیر ریسک از منظر جنبه بلایا با استفاده از تئوری انتشار اطلاعات، ملاحظات بیشتری برای تعیین طبقه‌بندی سطوح خطر خشکسالی بر اساس یک روش درجه‌بندی مشخص انجام شد. این موضوع به عنوان مبنایی برای ارزیابی ریسک، تولید پایدار کشاورزی و تصمیم‌گیری عمل می‌کند. بر اساس نتایج انتشار اطلاعات، این تحقیق سطوح خطر خشکسالی را به کم، متوسط و زیاد با در نظر گرفتن احتمال خطرات فراتر از مرزهای طبقه‌بندی به عنوان ریسک‌های بسیار زیاد یا بسیار کم طبقه‌بندی می‌کند. خطر بالا به مناطقی با احتمال و فراوانی وقوع خشکسالی نسبت داده می‌شود که نشان‌دهنده بالاترین سطح خطر است. معیارهای طبقه‌بندی برای سطوح خطر خشکسالی در جدول ۶ ارائه شده است. مقادیر R با مقادیر R به دست آمده از بخش قبلی مطابقت دارد، که احتمال متقابل، یعنی خطر احتمالی را نشان می‌دهد.

جدول ۶. معیارهای طبقه‌بندی خطر خشکسالی [۵۲]

ریسک پایین	ریسک متوسط	ریسک بالا	نرخ فاجعه
$R > 2$	$1 \leq R \leq 2$	$R = 1$	≥ 0.05
$R > 4$	$2 \leq R \leq 4$	$1 \leq R \leq 2$	≥ 0.1
$R > 6$	$4 \leq R \leq 6$	$2 \leq R \leq 4$	≥ 0.15
$R > 12$	$6 \leq R \leq 12$	$2 \leq R \leq 6$	≥ 0.20
$R > 16$	$8 \leq R \leq 16$	$2 \leq R \leq 8$	≥ 0.25
$R > 20$	$10 \leq R \leq 20$	$2 \leq R \leq 10$	≥ 0.30
$R > 24$	$12 \leq R \leq 24$	$2 \leq R \leq 12$	≥ 0.35
$R > 28$	$14 \leq R \leq 28$	$2 \leq R \leq 14$	≥ 0.40

بر اساس معیارهای طبقه‌بندی در جدول ۶ سطوح خطر خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه تعیین شد و نتایج در جدول ۷ ارائه شد. بر اساس نتایج در دشت شازند خطرات بالا مشاهده شد، در حالی که خطرات خشکسالی در دشت خمین بسیار بالا یا حتی فوق بالا هستند. وقوع خشکسالی در دشت ساوه نیز با نرخ فاجعه کمتر از 0.3 به عنوان پرخطر و فوق بحرانی طبقه‌بندی می‌شود. هرچند که به طور کلی، با افزایش نرخ فاجعه، خطر به تدریج کاهش می‌یابد.

جدول ۷. طبقه‌بندی سطوح خطر خشکسالی

نرخ فاجعه	سازند	خمین	ساوه
$\geq 0/05$	بالا	بالا	بالا
$\geq 0/01$	بالا	بالا	بالا
$\geq 0/15$	بالا	بسیار بالا	فوق بحرانی
$\geq 0/20$	بالا	بالا	فوق بحرانی
$\geq 0/25$	متوسط	بالا	بالا
$\geq 0/30$	متوسط	بالا	بالا
$\geq 0/35$	متوسط	بالا	متوسط
$\geq 0/40$	پایین	بالا	بالا

۵. بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی ریسک خشکسالی کشاورزی و پایداری اغلب با چالش‌هایی در به دست آوردن داده‌های جامع مواجه است. بر اساس این فرض، این پژوهش به طور آزمایشی شاخص‌ها را انتخاب کرد و انتشار اطلاعات را از سه عامل در سیستم بلایای منطقه‌ای انجام داد. تئوری انتشار اطلاعات یک رویکرد بهینه برای اطلاعات ناقص است. این تحقیق از یک مدل انتشار اطلاعات برای انتشار اطلاعات ناقص خطر خشکسالی و دستیابی به برآورد احتمالی و ارزیابی خطرات خشکسالی کشاورزی در دشتهای سازند، خمین و ساوه بر اساس جنبه‌های محیط‌های مستعد بلایا، مخاطرات و بدنه مخاطره‌آمیز استفاده کرد.

یافته‌های این تحقیق، طبقه‌بندی دشتهای محصور را در دشتهای سازند، خمین و ساوه به عنوان مناطق ممنوعه تأیید می‌کند و کاهش در سطح زیر کشت آن‌ها را به عنوان جنبه‌ای جدایی‌ناپذیر از استراتژی‌های مدیریت بلندمدت تضمین می‌کند. این رویکرد با اصول مدیریت پایدار زمین و محیط زیست، با هدف جلوگیری از تخریب و ترویج حفظ منابع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، همسو با دستورالعمل‌های تعیین‌شده توسط سازمان خواربار و کشاورزی، منطبق است [۴۱]. علاوه بر این، نتایج بر چالش ناشی از حفر چاه‌های غیرمجاز، پاسخی به چالش‌های کمبود آب رایج تأکید دارد [۴۲]، به‌ویژه در مناطقی که دارای اقلیم فراخشک (دشت ساوه) هستند، تأکید بر استفاده از آب‌های سطحی برای کشت محصولات باغی کم‌آب‌بر مانند انار و انگور است که به صرفه‌جویی در مصرف آب کمک می‌کند. این رویکرد با مفهوم انتخاب گیاهان سازگار با در دسترس بودن آب هماهنگ است و به طور مؤثر استفاده از آب را در اقلیم‌های خشک بهینه می‌کند [۴۳]. مناطق کوهستانی و دماهای پایین که بر درختان سازگار مانند انار و انگور تأثیر می‌گذارد، بر اهمیت مناسب بودن اقلیم در انتخاب محصول تأکید می‌کند [۴۴].

با توجه به روند مدل ارزیابی خشکسالی و نمونه‌های کاربردی آن، مدل استفاده‌شده در این تحقیق جهانی نیست، اما شرایط قابل اجرای خود را دارد. این مدل برای مناطق خشک و نیمه‌خشک که عملکرد دانه به عوامل ریسک حساس بوده، مناسب است. از تعریف حساسیت، زمانی که بین عملکرد دانه و عوامل ریسک رابطه رگرسیونی معناداری وجود داشته باشد، عملکرد حساس را می‌توان تفکیک کرد. این مدل‌ها در مناطق مرطوب با بارندگی فراوان، معمولاً رابطه رگرسیونی بین عوامل اقلیمی و عملکرد دانه معنادار نمی‌شود [۵۳]. همچنین این مدل را می‌توان در مناطقی که عملکرد دانه دارای روند است باید اعمال کرد، زیرا با توجه به تعریف ظرفیت تطبیقی می‌توان دریافت که محاسبه عملکرد روند مستلزم آن است که عملکرد دانه روندی را نشان دهد. از طرفی عملکرد دانه با عوامل اجتماعی-اقتصادی، عوامل علمی و فناوری، مقاومت به خشکی و غیره مرتبط است. این عوامل معادل مفهوم ظرفیت تطبیقی هستند، بنابراین بازده روند می‌تواند نشان‌دهنده ظرفیت تطبیقی باشد [۵۴]. به عنوان مثال، در چین، توسعه پایدار اقتصاد، افزایش پایداری در نهادهای کشاورزی، کشت انواع محصولات با عملکرد بالا، کاربرد کودهای با راندمان بالا و افزایش مستمر راندمان آبیاری به تدریج توانایی مقاومت در برابر خشکسالی را افزایش داده است. بنابراین، ظرفیت تطبیقی به تدریج بهبود یافته است. این عوامل در نهایت در تولید غلات منعکس شده‌اند. در چنین شرایطی، عملکرد دانه در واحد سطح سال به سال افزایش یافته و روند تولید دانه و روند ظرفیت تطبیقی منسجم بوده و مبنای نظری را برای نمایش ظرفیت تطبیقی با روند عملکرد فراهم می‌کند [۲۸-۳۸].

همچنین نتایج نشان داد پراکندگی بارش ارتباط معناداری با افزایش ریسک خشکسالی در دشت‌های مورد بررسی دارد. بر اساس نتایج پژوهش شرفی و قلعه‌نی طی نیم‌قرن گذشته خشکسالی در تمامی اقلیم‌ها و فصل‌های ایران مشاهده شده است. به عنوان مثال، نقطه تغییر^۱ در تمامی حوضه‌های کشور از سال ۱۹۹۸ شروع شده و تقریباً در تمام فصل‌های سال یکسان بوده است. این موضوع نشان می‌دهد تغییرات این حوضه‌ها ناشی از تأثیرات انسانی سال‌های گذشته بوده است. عواملی مانند تخریب جنگل‌ها و مراتع (تبدیل به مزارع کشاورزی به‌ویژه در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک) و احداث بی‌رویه سدها در این دوره و سال‌های قبل از وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی تأثیر مستقیمی بر وقوع آن داشته است [۵۵]. بر اساس نتایج تحقیقات طبری و همکاران، تقریباً تمام اقلیم‌های ایران خشکسالی شدید را تجربه کردند. نقطه تغییر وقایع خشکسالی عمدتاً بین سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۹ رخ داده است (مشابه با روند کاهش بارش) و سال‌های هیدرولوژیکی ۱۹۹۸-۱۹۹۹، ۱۹۹۹-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۰۱ خشک‌ترین سال‌ها طی دوره مورد مطالعه بوده‌اند [۵۶]. بنابراین نتایج نشان می‌دهند تأثیر روند کاهش بارش و مقادیر بارش و روند افزایشی در مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل بر افزایش نرخ خشکسالی در اقلیم‌های خشک‌تر (نظیر خمین و ساوه) شدیدتر بوده است. این در حالی است که در اقلیم نیمه‌خشک (مانند شازند) روند افزایش نرخ خشکسالی با شیب کمتری صورت پذیرفته است. با این حال، نوع پوشش گیاهی و چرخه مواد غذایی به طور مستقیم با مقدار و توزیع فصلی بارش و تبخیر و تعرق مرجع مرتبط است. به طور ویژه، در زیست‌بوم‌های دارای اقلیم خشک و فراخشک نرخ این فرایندها عمدتاً توسط ورودی‌های بارندگی نابجا، نامنظم و ناپیوسته کنترل می‌شود [۲۷]. هرچند چندین مطالعه نوسان‌های فصلی فرایندهای مربوط به خاک (به عنوان مثال تنفس میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی) که در نتیجه تغییرات شرایط اقلیمی است را گزارش کرده‌اند [۵۷-۵۸].

همان‌طور که در بخش یافته‌ها نیز اشاره شد؛ ماهیت چندبعدی آسیب‌پذیری سیستم‌های کشاورزی با مجموعه‌ای از شاخص‌های وزن‌دهی توسط کارشناسان انجام می‌شود. بنابراین یکی از محدودیت‌های اصلی این رویکرد داده‌محور، اطلاعات جزئیات مکانی برای محاسبه مدل است. با این حال، استفاده از آن در سطح جهانی امکان‌پذیر نیست که بتوان یک مجموعه داده هماهنگ از همه متغیرها را جمع‌آوری کرد، هرچند هنگام بزرگنمایی در سطح کلان (فراتر از منطقه‌ای) نیز باید کمی احتیاط کرد [۵۹]. بنابراین هنگام تفسیر نتایج، لازم است که برخی از شاخص‌های بسیار همبسته در تجزیه و تحلیل حفظ شوند، زیرا آن‌ها محرک‌های مختلف آسیب‌پذیری و در نتیجه نقاط ورودی متفاوتی را برای کاهش آسیب‌پذیری ارائه می‌دهند. شاخص‌های انتخاب‌شده شامل عوامل اجتماعی، اقتصادی، محیطی، فیزیکی و مرتبط با هر منطقه است که به حساسیت اجتماعی-اکولوژیکی و فقدان ظرفیت مقابله‌ای کمک می‌کنند. مطالعه حاضر فراتر از ارزیابی‌های موجود خطر خشکسالی جهانی است [۲۲]، که بر اساس وزن‌های مساوی هستند و شاخص‌های آسیب‌پذیری زیست‌محیطی مربوطه را محرک خطر خشکسالی در نظر نمی‌گیرند. با این حال، مورد دوم هنگام ارزیابی خطر خشکسالی برای سیستم‌های کشاورزی مرتبط است، جایی که عواملی مانند تخریب زمین و فرسایش خاک نشان داده می‌شود که خطر خشکسالی را تشدید می‌کنند [۶۰-۶۲]. در ارزیابی‌های آتی، جایگزینی برای وزن‌دهی مبتنی بر نظر متخصصان شاخص‌های آسیب‌پذیری می‌تواند استفاده از رویکردهای آماری (به عنوان مثال، تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و یا استفاده از ماشین‌های یادگیری و...) برای شناسایی شاخص‌های مرتبط استفاده کند.

بنابراین نتایج تخمین ریسک به‌دست‌آمده از حساسیت محیط‌های مستعد بلایا، خطرپذیری خطرات و بدنه حامل خطر نسبتاً ثابت است. احتمال وقوع خشکسالی خفیف و متوسط در دشت‌های شازند، خمین و ساوه بیشتر است. اگرچه هیچ همبستگی دقیقی بین سه شاخص وجود ندارد، اما روند مشابهی را نشان می‌دهند که در آن احتمال خطرات با شدت خشکسالی کاهش می‌یابد. از نظر حساسیت محیط‌های مستعد بلایا، آسیب‌پذیری نسبت به خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه نسبتاً مشابه است، عمدتاً بین حساسیت متوسط و بالا (۰/۴-۰/۶) متمرکز شده است. دشت‌های خمین و شازند حساسیت بیشتری نسبت به دشت ساوه داشتند. از نظر میزان حساسیت ریسک، تفاوت‌های منطقه‌ای در خطرات خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه وجود دارد، با خطرات کمتر در دشت جنوب غربی (شازند) در مقایسه با دشت شمالی (ساوه) احتمال تجربه خشکسالی شدید در دشت‌های شازند، خمین و ساوه به ترتیب ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳ و ۰/۰۲ گزارش شد. همچنین احتمال خطر برای

1. Changing point (CP)

دشت‌های شازند، خمین و ساوه، با نرخ فاجعه در محدوده ۰/۱۵ تا ۰/۳ یک تا دو سال یک‌بار رخ خواهد داد، که منعکس‌کننده ویژگی‌های فرکانس بالا و مدت طولانی خشکسالی‌های و همراه با شدت‌های بالا است. در سال‌های خشکسالی شدید، نرخ فاجعه در دشت‌های شازند، خمین و ساوه می‌تواند به ۰/۵ برسد. به طور کلی، معمولاً از ۰/۴۵ تجاوز نمی‌کند. زمانی که نرخ فاجعه ۰/۳ تا ۰/۴ باشد، احتمال خطر خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه، به ترتیب هر ۴/۸، ۳/۲ و ۱/۲ سال یک‌بار است که در دشت ساوه احتمال خطر نسبتاً بالاتری دارد. اگرچه خطر خشکسالی در دشت‌های شازند، خمین و ساوه عمدتاً بر خشکسالی‌های بالا تا بسیار بالا متمرکز است، که با نرخ فاجعه بالاتر از ۰/۴ نیز تجاوز می‌کند. بنابراین ترکیب خشکسالی‌های شدید با بلایای طبیعی متعدد می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تولید کشاورزی در کشور و به‌ویژه در مناطق مرکزی داشته باشد. بنابراین این نتایج می‌تواند توسط سیاست‌مداران و سازمان‌های مربوطه برای بهبود بهره‌وری تولیدات کشاورزی، کاهش استراتژیک مسائل مربوط به گرمایش جهانی، مدیریت سیستم‌های کشاورزی و فناوری‌های نوین و افزایش معیشت کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر تغییر تولیدات کشاورزی فعلی به محصولاتی که سازگاری بهتری دارند می‌تواند برنامه‌ریزی شود. به‌علاوه به دلیل وجود تنوع فضایی زیاد و پیچیدگی خشکسالی‌ها نیاز به ایجاد شاخص‌های دقیق و مؤثر برای پایش خشکسالی در سطح کشور را برجسته می‌کند.

منابع

- [1]. Pachauri RK. Intergovernmental panel on climate change (IPCC): Keynote address. *Environmental Science and Pollution Research*. 2007, 9:436-438.
- [2]. Hong ZH, Dihua CA, Heling WA, Yang YA, Runyuan WA, Kai ZH, Yue QI, Funian ZH, Fei CH, Ping YU, Xing WA. Progress and prospect on impact of drought disaster on food security and its countermeasures. *Journal of Arid Meteorology*. 2023, 41(2):187.
- [3]. Potop V, Türkott L, Kožnarová V, Možný M. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and applied climatology*. 2010, 99:373-88.
- [4]. Luo D, Ye L, Sun D. Risk evaluation of agricultural drought disaster using a grey cloud clustering model in Henan province, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2020, 1;49:101759.
- [5]. Xu K, Xu X, Li A, Yang D. Assessing agricultural drought disaster risk in Chengde city using stochastic method. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2013, 29(14):139-46.
- [6]. Ailian CH, Sijian ZH, Yuxia ZH, Wei SU. Application Scenarios and Research Progress of Remote Sensing Technology in Plant Income Insurance. *Smart Agriculture*. 2022, 30;4(1):57.
- [7]. Hirabayashi Y, Mahendran R, Koirala S, Konoshima L, Yamazaki D, Watanabe S, Kim H, Kanae S. Global flood risk under climate change. *Nature climate change*. 2013 Sep;3(9):816-21.
- [8]. Ward PJ, Jongman B, Weiland FS, Bouwman A, van Beek R, Bierkens MF, Ligtoet W, Winsemius HC. Assessing flood risk at the global scale: model setup, results, and sensitivity. *Environmental research letters*. 2013, 8(4):044019.
- [9]. Ward PJ, Jongman B, Kumm M, Dettinger MD, Sperna Weiland FC, Winsemius HC. Strong influence of El Niño Southern Oscillation on flood risk around the world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014, 111(44):15659-64.
- [10]. Peduzzi P, Chatenoux B, Dao H, De Bono A, Herold C, Kossin J, Mouton F, Nordbeck O. Global trends in tropical cyclone risk. *Nature climate change*. 2012, 2(4):289-94.
- [11]. Garschagen M, Doshi D, Reith J, Hagenlocher M. Global patterns of disaster and climate risk—an analysis of the consistency of leading index-based assessments and their results. *Climatic Change*. 2021, 169(1-2):11.
- [12]. Meza I, Siebert S, Döll P, Kusche J, Herbert C, Eyshi Rezaei E, Nouri H, Gerdener H, Popat E, Frischen J, Naumann G. Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2020, 20(2):695-712.
- [13]. Koks EE, Rozenberg J, Zorn C, Tariverdi M, Vousdoukas M, Fraser SA, Hall JW, Hallegatte S. A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature communications*. 2019, 10(1):2677.
- [14]. Deubelli TM, Mechler R. Perspectives on transformational change in climate risk management and adaptation. *Environmental Research Letters*. 2021, 16(5):053002.
- [15]. Yuan X, Wood EF. Multimodel seasonal forecasting of global drought onset. *Geophysical Research Letters*. 2013, 40(18):4900-5.
- [16]. Geng G, Wu J, Wang Q, Lei T, He B, Li X, Mo X, Luo H, Zhou H, Liu D. Agricultural drought hazard analysis during 1980–2008: a global perspective. *International Journal of Climatology*. 2016, 36(1):389-99.
- [17]. Spinoni J, Barbosa P, Bucchignani E, Cassano J, Cavazos T, Christensen JH, Christensen OB, Coppola E, Evans J, Geyer B, Giorgi F. Future global meteorological drought hot spots: a study based on CORDEX data. *Journal of Climate*. 2020, 33(9):3635-61.
- [18]. Hao Z, AghaKouchak A, Nakhjiri N, Farahmand A. Global integrated drought monitoring and prediction system. *Scientific data*. 2014, 1(1):1-0.
- [19]. Carrão H, Naumann G, Barbosa P. Global projections of drought hazard in a warming climate: a prime for disaster risk management. *Climate dynamics*. 2018, 50(5-6):2137-55.
- [20]. Vogt JV, Naumann G, Masante D, Spinoni J, Cammalleri C, Erian W, Pischke F, Pulwarty R, Barbosa P. Drought risk assessment and management: A conceptual framework.
- [21]. Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, Church JA, Clarke L, Dahe Q, Dasgupta P, Dubash NK. *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ippc*; 2014.
- [22]. Carrão H, Naumann G, Barbosa P. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Global Environmental Change*. 2016, 39:108-24.
- [23]. Hagenlocher M, Meza I, Anderson CC, Min A, Renaud FG, Walz Y, Siebert S, Sebesvari Z. Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*. 2019, 14(8):083002.

- [24]. Kloos J, Renaud FG. Overview of ecosystem-based approaches to drought risk reduction targeting small-scale farmers in Sub-Saharan Africa. *Ecosystem-Based Disaster Risk Reduction and Adaptation in Practice*. 2016:199-226.
- [25]. Heydari F, Sharafi S, Mohammadi Ghaleni M. The relationship between drought indicators and greenhouse gas emissions in Iran's agricultural sector. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 2023, 17(2): 261-275 [Persian].
- [26]. Bockstaller C, Guichard L, Makowski D, Aveline A, Girardin P, Plantureux S. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for sustainable development*. 2008, 8:139-49.
- [27]. Mancinelli R, Marinari S, Di Felice V, Savin MC, Campiglia E. Soil property, CO₂ emission and aridity index as agroecological indicators to assess the mineralization of cover crop green manure in a Mediterranean environment. *Ecological indicators*. 2013, 34:31-40.
- [28]. Zhang L, Qin R, Chai N, Wei H, Yang Y, Wang Y, Li FM, Zhang F. Optimum fertilizer application rate to ensure yield and decrease greenhouse gas emissions in rain-fed agriculture system of the Loess Plateau. *Science of The Total Environment*. 2022, 823:153762.
- [29]. Guan X, Zang Y, Meng Y, Liu Y, Lv H, Yan D. Study on spatiotemporal distribution characteristics of flood and drought disaster impacts on agriculture in China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2021, 64:102504.
- [30]. Sharafi S, Mohammadi Ghaleni M. Enhancing drought monitoring and prediction in diverse climates by using composite drought indices. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2023, 37(9): 41-55.
- [31]. Sharafi S. Predicting Iran's future agro-climate variability and coherence using zonation? based PCA. *Italian Journal of Agrometeorology*. 2022(2):17-30.
- [32]. Sharafi S, Kazemi A, Amiri Z. Estimating energy consumption and GHG emissions in crop production: A machine learning approach. *Journal of Cleaner Production*. 2023, 408:137242.
- [33]. Sharafi S, Nahvinia MJ, Salehi F. Assessing water footprints (WFs) of agricultural products across arid regions: insights and implications for sustainable farming. *Journal of Water*, 2023, 15(3): 14-29.
- [34]. Sharafi S, Nahvinia MJ, Salehi Arjmand H, Akbari, M. Determining the pattern of optimal cultivation of agricultural products in the plains of Central Province (Case study: Shazand, Saveh and Khomein plains). *Final Report*. 2022; 479 pp.
- [35]. Liu Y, Liu L, Xu D, Zhang S. Risk assessment of flood and drought in major grain-producing areas based on information diffusion theory. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2010, 26(8):1-7.
- [36]. Huang CF, Zhang JX, Liu J. Applications of fuzzy information optimization technology. *Information and Control-Shenyang*, 2004, 33(1):61-6.
- [37]. Shi P, Ye T, Wang Y, Zhou T, Xu W, Du J, Wang JA, Li N, Huang C, Liu L, Chen B. Disaster risk science: A geographical perspective and a research framework. *International Journal of Disaster Risk Science*. 2020, 11:426-40.
- [38]. Pei W, Fu Q, Liu D, Li T, Cheng K, Cui S. A novel method for agricultural drought risk assessment. *Water Resources Management*. 2019, 3:2033-47.
- [39]. Roy P, Pal SC, Chakraborty R, Chowdhuri I, Saha A, Shit M. Climate change and groundwater overdraft impacts on agricultural drought in India: Vulnerability assessment, food security measures and policy recommendation. *Science of The Total Environment*. 2022, 849:157850.
- [40]. Marengo JA, Galdos MV, Challinor A, Cunha AP, Marin FR, Vianna MD, Alvala RC, Alves LM, Moraes OL, Bender F. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. *Climate Resilience and Sustainability*. 2022, 1(1):e17.
- [41]. Savari M, Damaneh HE, Damaneh HE. Drought vulnerability assessment: Solution for risk alleviation and drought management among Iranian farmers. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022, 67:102654.
- [42]. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2019.
- [43]. Awan AB, Khan MN, Zubair M, Bellos E. Commercial parabolic trough CSP plants: Research trends and technological advancements. *Solar Energy*. 2020, 211:1422-58.
- [44]. Shahnazari A, Liu F, Andersen MN, Jacobsen SE, Jensen CR. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research*. 2007, 100(1):117-24.
- [45]. Luedeling E, Kunz A, Blanke MM. Identification of chilling and heat requirements of cherry trees—a statistical approach. *International Journal of Biometeorology*. 2013, 57:679-89.
- [46]. Hernandez EA, Uddameri V. Standardized precipitation evaporation index (SPEI)-based drought assessment in semi-arid south Texas. *Environmental Earth Sciences*. 2014, 471:2491-501.

- [47]. Sharafi S, Ghaleni MM. Spatial assessment of drought features over different climates and seasons across Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 2022, 1:1-7.
- [48]. Nam WH, Hayes MJ, Svoboda MD, Tadesse T, Wilhite DA. Drought hazard assessment in the context of climate change for South Korea. *Agricultural Water Management*. 2015, 160:106-17.
- [49]. Kim H, Park J, Yoo J, Kim TW. Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research*. 2015, 9(1):28-35.
- [50]. Murthy CS, Laxman B, Sai MS. Geospatial analysis of agricultural drought vulnerability using a composite index based on exposure, sensitivity and adaptive capacity. *International journal of disaster risk reduction*. 2015, 12:163-71.
- [51]. Zhang D, Wang G, Zhou H. Assessment on agricultural drought risk based on variable fuzzy sets model. *Chinese Geographical Science*. 2011, 21:167-75.
- [52]. Hoque MA, Pradhan B, Ahmed N, Sohel MS. Agricultural drought risk assessment of Northern New South Wales, Australia using geospatial techniques. *Science of the Total Environment*. 2021 Feb 20;756:143600.
- [53]. Wang Z, Huang L, Yin L, Wang Z, Zheng D. Evaluation of sustainable and analysis of influencing factors for agriculture sector: Evidence from Jiangsu Province, China. *Frontiers in Environmental Science*. 2022, 10:836002.
- [54]. Mohammed S, Alsafadi K, Enaruvbe GO, Bashir B, Elbeltagi A, Széles A, Alsalman A, Harsanyi E. Assessing the impacts of agricultural drought (SPI/SPEI) on maize and wheat yields across Hungary. *Scientific Reports*. 2022, 12(1):8838.
- [55]. Sharafi S, Ghaleni MM, Sadeghi S. Spatial and temporal analysis of drought in various climates across Iran using the Standardized Precipitation Index (SPI). *Arabian Journal of Geosciences*. 2022, 15(14):1279.
- [56]. Tabari H, Nikbakht J, Hosseinzadeh Talaee P. Hydrological drought assessment in Northwestern Iran based on streamflow drought index (SDI). *Water resources management*. 2013, 27:137-51.
- [57]. Manzoni S, Porporato A. Soil carbon and nitrogen mineralization: Theory and models across scales. *Soil Biology and Biochemistry*. 2009, 41(7):1355-79.
- [58]. Kabba BS, Aulakh MS. Climatic conditions and crop-residue quality differentially affect N, P, and S mineralization in soils with contrasting P status. *Journal of Plant Nutrition and soil science*. 2004, 167(5):596-601.
- [59]. Naumann G, Carrão H, Barbosa P. Indicators of social vulnerability to drought. Chapter 6 In *Drought: Science and Policy, Part II: Vulnerability, risk and policy*, 111-125.
- [60]. Hagenlocher M, Meza I, Anderson CC, Min A, Renaud FG, Walz Y, Siebert S, Sebesvari Z. Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environmental Research Letters*. 2019, 14(8):083002.
- [61]. Yang P, Zhang S, Xia J, Chen Y, Zhang Y, Cai W, Wang W, Wang H, Luo X, Chen X. Risk assessment of water resource shortages in the Aksu River basin of northwest China under climate change. *Journal of Environmental Management*. 2022, 305:114394.
- [62]. Yue GU, Jia-hong LI, Qi-jin HE, Ruo-chen LI, Xin-yuan MI, Zhi-heng QI. Risk probability of heat injury during summer maize flowering period in North China Plain based on information diffusion theory. *Chinese Journal of Agrometeorology*. 2021, 42(07):606.