

Assessment of drought condition in Guilan Province using the Keetch–Byram Drought Index (KBDI) in accordance with the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI)

Mohammad Hossein Jahangir^{*1}, Mohammad Sadegh Hossein Dost², Mina Arast³

¹Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

²M.Sc. Student, Department of Sciences and Environmental Technologies, Faculty of Science and Technology, Tehran University, Tehran, Iran

³Former Ph.D. Student, Department of Combat Desertification, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract

Introduction

Drought is a natural disaster that occurs over a long period of time, and affects human societies through negative effects on water resources and agriculture, and consequently the economy. Forests are an important part of the ecosystem that covered about a third of the land surface. Occurrence of wild fires has been degraded the quantity and quality of the forest. The phenomenon of fire is one of the drought complications that cause irreparable damage to the ecosystems. The drought duration and its repetition have been reported more than other natural disasters. The definition of drought has continually been a key issue for drought monitoring and analysis. The drought is a condition of insufficient moisture caused by a deficit in precipitation over some period of time. Difficulties are primarily related to the time period over which deficits accumulate and to the connection of the deficit in precipitation to deficits in usable water resources and the underlying impacts.

Materials and Methods

There are several indicators for drought identification and interpretation. The calculation of Keetch–Byram Drought Index (KBDI) requires a long series of meteorological data. When the data are available its calculation is straightforward. However, it is strictly valid for the location of the meteorological station and its immediate vicinity. The temporal and spatial characteristics of drought were investigated using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI) and KBDI, at 4 stations in Rasht, Bandar Anzali, Astara and Manjil in Guilan province during a 30-year time period (1987-2017).

Results and Discussion

According to the results, the drought index KBDI, the monthly time series of the available data were categorized as follows; normal drought class, 96.3%, medium drought, 3.6%, and severe drought, 0.5%. On the other hand, by analyzing the PNPI index, the percentages of normal, moderate, severe and very severe drought classes were 68.9% and 8.1% and 7.5% and 15.4%, respectively, which are almost same as the KBDI results. Taking into account the cumulative percentages of the drought classes of the area, can be deduced from the normal dryness of the area. On the other hand, the most severe dry year, according to the KBDI index was observed in 1988, while 2010 year was the most severe drought year based on the PNPI index. The longest dry period was roughly the same in both indicators, which was determined between 2004 and 2007 years.

Conclusion

The results showed that the probability of severe drought based on the analysis of the past time series is widespread in the months of June and July, which is important in the management of water resources and vegetation. Also, the drought intensity in this province is gradually increasing. Considering the decreasing trend of rainfall in the region, we can expect more droughts in the future. It is recommended that the managers and experts pay special attention to the prevention and management of water resources and vegetation in the two months of July and August during their executive activities.

Keywords: Fire Management, Measurement, Spatial-Temporal Drought Analysis, Water Recourses Management.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: mh.jahangir@ut.ac.ir

Citation: Jahangir, M.H., Hossein Dost, M.S., & Arast, M. (2021). Assessment of drought condition in Guilan province using the Keetch–Byram Drought Index (KBDI) in accordance with the Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). *Water and Soil Management and Modeling*, 1(4), 57-67.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9407.1038

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.5.9

Received: 14 August 2021, Accepted: 19 September 2021

Water and Soil Management and Modeling, 2021, Vol. 1, No. 4, pp. 57-67

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی وضعیت خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچ-بایرام (KBDI) در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)

محمد حسین جهانگیر^{۱*}، محمدصادق حسین دوست^۲، مینا ارست^۳

^۱ دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و فناوریهای محیطی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۳ دانش‌آموخته دکتری، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

خشکسالی از جمله بلاهای طبیعی است که نسبت به سایر پدیده‌های طبیعی در یک بازه زمانی طولانی اتفاق می‌افتد که به صورت متناوب جوامع بشری را از طریق اثرات منفی بر روی منابع آب و کشاورزی و به دنبال آن اقتصاد را دچار مشکل می‌سازد. پدیده آتش‌سوزی از جمله عوارض خشکسالی است که باعث صدمات جبران‌ناپذیری به محیط زیست و اکوسیستم‌ها می‌شود. برای بیان کمی خشکسالی شاخص‌های گوناگونی وجود دارد. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های درصد از نرمال بارندگی (PNPI) و شاخص خشکسالی کچ-بایرام (KBDI) به بررسی ویژگی‌های زمانی و مکانی خشکسالی در چهار ایستگاه رشت، بندر انزلی، آستارا و منجیل استان گیلان، طی یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۳۹۶-۱۳۶۶) پرداخته شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، طبق شاخص خشکسالی KBDI طبقه خشکسالی نرمال ۹۶/۳ درصد طبقه خشکسالی متوسط، ۳/۶ درصد و طبقه خشکسالی شدید ۰/۵ درصد از سری‌های زمانی ماهانه منطقه را به‌طور میانگین به‌خود اختصاص داده است. از سوی دیگر نیز با تحلیل شاخص PNPI نیز درصد فراوانی طبقات خشکسالی نرمال، متوسط، شدید و خیلی شدید به‌ترتیب ۶۸/۹، ۱/۸، ۷/۵ و ۱۵/۴ درصد بوده است که به‌طور تقریباً مشابه تحلیل شاخص KBDI، با در نظر گرفتن درصد تجمعی طبقات خشکسالی منطقه، می‌توان خشک بودن عادی منطقه را استنباط کرد. از سوی دیگر شدیدترین سال خشک برحسب شاخص KBDI، سال ۱۳۶۷ و برحسب شاخص PNPI، سال ۱۳۸۹ بوده است. همچنین طولانی‌ترین دوره خشکی به‌طور تقریباً مشترک در هر دو شاخص بین سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ رخ داده شده است. در نهایت می‌توان اشاره داشت احتمال وقوع خشکسالی شدید بر اساس تحلیل سری زمانی گذشته به‌طور گسترده در ماه‌های تیر و مرداد بیش‌تر خواهد بود. نتایج مبین این واقعیت است که خشکسالی در این استان رو به افزایش است که به تدریج بر شدت آن نیز افزوده شده است. همچنین با توجه به روند کاهشی بارش منطقه می‌توان انتظار رخداد خشکسالی بیش‌تری را داشت. بنابراین بهتر است، مدیران و کارشناسان در طی فعالیت‌های اجرایی خود از حیث پیش‌گیری و مدیریت منابع آبی و پوشش گیاهی در دو ماه تیر و مرداد توجه ویژه‌ای داشته باشند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل زمانی-مکانی خشکسالی، مدیریت آتش‌سوزی، مدیریت منابع آبی، هم‌مقیاس‌سازی

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mh.jahangir@ut.ac.ir

استناد: جهانگیر، م.ح.، حسین دوست، م.ص.، و ارست، م. (۱۴۰۰). ارزیابی وضعیت خشکسالی استان گیلان با استفاده از شاخص کچ-بایرام (KBDI) در انطباق با شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI). *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۴)، ۵۷-۶۷

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9407.1038

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.4.5.9

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۵۷ تا ۶۷

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

انسان همیشه با بلایای طبیعی مانند خشکسالی^۱، سیل، زلزله و غیره درگیر بوده است و به همین علت پژوهش‌های بسیاری در این زمینه‌ها جهت پیش‌بینی و کنترل آن به‌منظور جلوگیری و کاهش خسارت‌ها انجام داده است (Adhami Mojarad et al., 2011). خشکسالی یک بلای طبیعی است که به اقشار مختلف جامعه در زمینه‌های مختلف اجتماعی، اقتصادی و محیطی صدمات قابل توجهی وارد می‌کند و این صدمات با روند افزایش جمعیت و تغییرات مختلف در تمام ابعاد زندگی بشری روبه تشدید است (Bonsal and Regier, 2007). خشکسالی یک پدیده مستمر و قابل تکرار است که می‌تواند همه اقلیم‌های گیاهی، جانوری را تحت تأثیر خود قرار دهد و تقریباً هر ساله نصف خاک‌کره زمین و حتی بیش‌تر از آن مستعد وقوع خشکسالی است (Wilhelmi and Wilhite, 2002). از اثرات خشکسالی، آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، ریزگردها و طوفان‌های شدید است مدیریت آن قبل از وقوع، در محیط‌های جنگلی و مرتعی باعث جلوگیری از آسیب‌های مختلف مانند نیروهای مولد جنگل و مرتع، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، صدمات انسانی می‌شود (Adhami Mojarad et al., 2011). در کل خشکسالی را می‌توان به چهار گروه عمده هواشناسی شامل (معمولاً برگرفته از انحراف از میانگین بارش بلند مدت)، هیدرولوژیکی (بیان آب در سطوح بالایی و زیرین زمین)، کشاورزی (درصد رطوبت خاک و راندمان گیاهان در تولید) و اقتصادی-اجتماعی (تورم‌های ناشی از کمبود مواد غذایی و مهاجرت) طبقه‌بندی نمود (McKee et al., 1993).

متداول‌ترین راه برای اندازه‌گیری و پایش خشکسالی استفاده از شاخص‌های خشکسالی است (Chu et al., 1993). تعیین یک شاخص مناسب جهت رصد خشکسالی، یکی از اقدامات مهم و اساسی در مطالعه، ارزیابی و برنامه‌ریزی در جهت کنترل وضعیت شرایط است (Barooty et al., 2013). دلایلی از جمله پراکنش زیاد، فراوانی مکانی و زمانی پدیده خشکسالی هم‌چنین متعدد بودن پارامترهای تأثیرگذار بر این پدیده، ارائه یک تعریف واحد و جامع را برای خشکسالی مشکل ساخته است (Heim, 2002). برای بیان کمی پدیده خشکسالی و هم‌چنان تجزیه و تحلیل آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی از شاخص‌های متفاوتی می‌توان استفاده کرد که برای محاسبه آن‌ها دسترسی به داده‌های درازمدت هیدروکلیماتیکی بسیار ضروری است. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به PNPI (Willeke et al., 1994)، CZI (Kendall and Stuart, 1977)، RAI (Ghodrati et al., 2011)، KBDI (Keetch and Byram, 1968) اشاره کرد.

شاخص‌های خشکسالی مقادیر کمی وضعیت را ارائه می‌دهد و درکی از توسعه‌یافتگی یا به‌اصطلاح گسترش خشکسالی در منطقه ندارد. بنابراین، نیاز است در یک مطالعه خشکسالی علاوه بر استفاده از شاخص‌های مناسب، از روش‌های تقریب استاتیک و عدم وابسته به زمان استفاده شود. عموم این تکنیک‌ها به‌عنوان روش‌های میان‌یابی^۲ خوانده می‌شوند. این تکنیک‌ها که در نهایت به نقشه وضعیت منطقه در هر واحد زمانی مشخص منتهی می‌شوند، برای تحلیل‌های زمانی و مکانی مطالعات خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله روش‌های پهنه‌بندی می‌توان به روش زمین آماری اشاره کرد. در این روش علاوه بر اینکه مقدار یک کمیت در یک نمونه مورد توجه قرار می‌گیرد به موقعیت مکانی نمونه نیز توجه می‌شود. از روش‌های عمده درون‌یابی، روش IDW بیش‌تر در تحلیل و پایش خشکسالی استفاده شده است (Eivazi and Mosaedi, 2011). از آن‌جا که متخصصان علوم جنگل‌داری و هواشناسی نخستین‌بار در سال ۱۹۲۰ اعلام کردند که رابطه نزدیکی بین شرایط اقلیمی و آتش‌سوزی جنگل‌ها وجود دارد (Dowdy, 2009)، در ذیل تلاش شده است تا به برخی از مطالعات مشهور جهان و ایران، مختصر اشاره‌ای شود.

اخیراً محققان بسیاری در ایران سعی بر این داشته‌اند تا مطالعات خشکسالی را فراتر از مرزهای حوضه‌ای و استانی مطالعه کنند. در همین راستا Vafakha and Rajabi (2005)، سه شاخص درصد نرمال بارندگی (PNPI)، دهک‌های بارندگی (DPI) و ناهنجاری بارش (RAI) را در حوزه آبخیز دریاچه‌های بختگان، طشک و مهارلو مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شاخص‌های DPI و PNPI کارایی بیش‌تری نسبت به سایر شاخص‌ها دارند. هم‌چنین Khaosravi et al., (2013)، از ۴۸ ایستگاه سینوپتیک برای ارزیابی و پهنه‌بندی خشکسالی کشور ایران با استفاده از روش‌های تحلیل فضایی درون‌یابی (IDW) و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و با استفاده از شاخص‌های RAI، PMPI و SPI برای تعیین شدت خشکسالی در سال ۲۰۰۱ پرداختند. پس از بررسی نتایج مشخص شد که دو شاخص RAI و PMPI حساسیت و دقت بیش‌تری دارند (Masoudi and Hakimi, 2014). به ارزیابی وضعیت خشکسالی کشور ایران بر اساس ۴۰ ایستگاه سینوپتیک با به‌کارگیری شاخص PNPI پرداختند. آن‌ها به تحلیل‌های زمانی و مکانی احتمال شدت و مدت خشکسالی را در سراسر ایران بررسی کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، شمال غرب، جنوب شرق و هم‌چنین مرکز ایران بیش‌تر از سایر مناطق دیگر مستعد خشکسالی بوده‌اند.

² Approximation Function¹ Drought

استان گیلان یکی از استان‌های شمالی کشور با مساحت ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع است که در ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد. منابع طبیعی استان گیلان شامل اراضی ملی، جنگل‌ها، مراتع، اراضی ساحلی، اراضی مستحدث و اراضی موات است که مساحت آن‌ها به ترتیب ۸۰۸۱۱۲ هکتار، ۵۶۴۷۱۲ هکتار، ۲۶۷۳۱۱ هکتار، ۴۵۸۹ هکتار، ۱۶۴۵ هکتار، ۹۷۸۶۴ هکتار است (Ghodrati et al., 2011) (شکل ۱).

اقلیم سرزمین گیلان به آب و هوای معتدل خزری معروف است. کوهستان تالش با جهت شمالی، جنوبی و کوهستان البرز با امتداد غربی-شرقی، مانند سدی از عبور بخار آب دریای مازندران و بادهای مرطوب شمال‌غربی به‌داخل ایران جلوگیری می‌کند و به‌علت ارتفاع زیاد، موجب بارندگی‌های فراوان در استان گیلان می‌شود. میانگین دمای سالانه این منطقه در حدود ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد و نیز بارش تجمعی سالانه نیز برابر ۱۰۱۹ میلی‌متر است که بر اساس طبقه‌بندی کوپن دو اقلیم مرطوب و استپی را تشکیل داده است (Ghodrati et al., 2011). در این پژوهش از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی رشت، بندر انزلی، آستارا و منجیل که حداقل ۳۰ سال آمار داشتند، استفاده شده است (جدول ۱).

۲-۲- معرفی شاخص‌های خشکسالی

۲-۲-۱- شاخص خشکسالی کچ-بایرام (KBDI)

شاخص خشکسالی کچ-بایرام شاخصی است که بر مبنای کاهش رطوبت بنا شده و بسیاری از جنبه‌های فیزیکی عامل بیلان رطوبت خاک را مد نظر قرار داده است. شاخص خشکسالی KBDI برای اولین بار با هدف ارزیابی مناطق مستعد آتش‌سوزی جنوب شرق ایالات متحده معرفی شد (جدول ۲) (Melton, 1989). این شاخص خشکسالی برای اولین بار در چندین مطالعه باوجود محدودیت‌های موجود در خارج از ایالات متحده انجام شد که به‌نظر محققان بسیار کاربردی اعلام شد. هم‌چنین می‌توان این شاخص را بر اساس زمان احتمال وقوع به چهار طبقه به قرار ذیل تنظیم کرد: «فصل خواب بهاری که در ادامه بارش‌های زمستانی آمده، انتهای بهار و ابتدای فصل رویش، انتهای تابستان و ابتدای فصل پاییز و در نهایت فصل پاییز که احتمال آتش‌سوزی بالایی دارد». محاسبه KBDI به شرح زیر است: (رابطه ۱).

$$I_{(t)} = I_{(t-1)} - R_n + E \quad (1)$$

که در آن، $I_{(t)}$: شاخص خشکی کچ-بایرام در روز t ام، R_n : بارش خالص است که در آن فرض بر این است که ۵/۱ میلی‌متر اولیه بارش جذب زمین و پوشش گیاهی می‌شود و بقیه بارش در شاخص تأثیرگذار خواهد بود:

از سری مطالعات مقایسه‌ای بین شاخص خشکسالی KBDI با شاخص‌های آب و هواشناسی، Altan و Turkes و به‌رابطه قوی بین آتش‌سوزی و شرایط آب و هوایی (دما و بارش) دست در مطالعه‌ای برای UNCCD پی‌بردند (Taufik et al., 2015). طی بررسی‌های صورت گرفته از رابطه بین شاخص خشکی کچ-بایرام و آتش‌سوزی‌های به‌وقوع پیوسته در جزایر هاوایی در یک دوره ۲۰ ساله، همبستگی شدیدی بین خشکسالی و تعداد وقوع آتش‌سوزی‌ها و افزایش مقدار این شاخص به‌دست آمده است (Dolling et al., 2015). در نهایت Ainuddin and Ampun (2008) به بررسی وضعیت خشکسالی در پنج ایستگاه مالزی پرداختند. آن‌ها با محاسبه شاخص خشکسالی KBDI به‌صورت روزانه و تحلیل آن به‌صورت ماهانه، خطر آتش‌سوزی در هر ماه را برای منطقه مورد مطالعه محاسبه کردند. Vogt et al., (2018) به بررسی میزان و شدت خشکسالی پرداختند. در این مطالعه تعدادی شاخص خشکسالی هم‌چون PNPI و KBDI با هم مقایسه شد. Jahangir and Saranirad (2019) به بررسی وضعیت خشکسالی در استان خراسان جنوبی توسط شاخص‌های PNPI و Z پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان‌داد شاخص PNPI نشان‌داد که در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های خور بیرجند با پنج ماه، ایستگاه‌های بشرویه، قاین و فردو با چهار ماه و ایستگاه‌های بیرجند و نهبندان با سه ماه دارای دوره بسیار مرطوب بوده‌اند. خشکسالی اکثر ایستگاه‌ها در محدوده خشکی متوسط تا رطوبت متوسط بوده است.

به‌منظور مدیریت و ارزیابی بهتر وضعیت خشکسالی چه در گذشته و چه در آینده نیاز است تا از شاخص‌ها و متدهای متعددی استفاده شود. اما از آن‌جا که شاخص‌ها دارای مقیاس‌های سنجش کیفی و کمی متفاوتی هستند، ارزیابی آن‌ها به‌طور مقایسه‌ای نتیجه‌گیری وضعیت با دشواری‌های خاص خود روبه‌رو می‌شود. در استان گیلان به‌دلیل کاربردی‌های نامناسب، آتش‌سوزی در نتیجه خشکسالی و نابودی پوشش گیاهی در مناطق گوناگون، خشکسالی روبه افزایش است. از طرفی در مطالعات قبلی کم‌تر به بررسی تحلیل کمی و کیفی این خشکسالی‌ها متناسب با دوره زمانی پرداخته شده است. بنابراین، در پژوهش حاضر به تحلیل کمی و کیفی ویژگی‌های زمانی و مکانی خشکسالی در استان گیلان با استفاده از دو شاخص خشکسالی کچ-بایرام (KBDI) و درصد نرمال بارندگی (PNPI) و بررسی تداوم و شدت خشکسالی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش IDW است پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

نیست و اندازه‌گیری آن به‌صورت دستی مشکل است، می‌توان از رابطه ۲ به‌دست آورد (Taufik et al., 2015).

$$E = \frac{\{203 - I_{(T-1)}\} - \{0.968e(0.8756) - 8.30\}}{1 + 10.88e \times (-0.001736R)} \times 10^{-2} \quad (2)$$

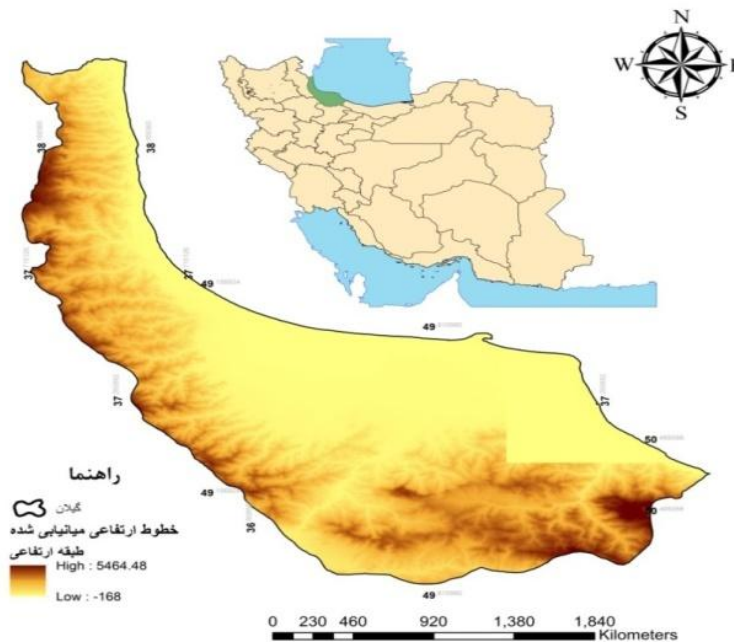
که در آن T بیشینه دما، I_(T-1) شاخص خشکی روز قبل و R میانگین بارش سالانه است.

$$Rn = R - 5.1$$

یا اگر روز قبل دارای بارش باشد، مقدار کمیت این‌گونه خواهد شد:

$$Rn = R$$

E: میزان تبخیر و تعرق از سطح خاک را نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین از آنجاکه میزان تبخیر و تعرق از سطح خاک همه‌جا در دسترس



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Characteristics of the study stations

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین دمای سالانه	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	ارتفاع از دریا (متر)
رشت	49:49	37:25	18.5	1359	3
بندر انزلی	49:30	37:50	16.7	1853.3	-22
آستارا	48:82	38:41	16.3	1345.5	57
منجیل	49:45	36:81	19.1	1269.1	306

جدول ۲- مشخصات شروع خشک‌سالی KBDI بر حسب روز و مقدار بارش (Keetch and Byram, 1968)

Table 2 - KBDI drought start specification by day and precipitation

ردیف	میانگین بارش سالانه	روزهای خشکی مورد نیاز برای رسیدن به KBDI 500
1	10-19	157
2	29-20	109
3	30-39	78
4	40-59	52
5	60<	36

شاخص خشکی؛ یعنی ۸۰۰ که خشکسالی شدید است، برسد. البته اگر بارش بالاتر از ۵/۱ میلی‌متر و مقدار تبخیر کم‌تر از بارش مؤثر باشد این عدد کاهش پیدا می‌کند، در غیر این صورت در بیشینه مقدار خود باقی می‌ماند (جدول ۳) (Taufik et al., 2015).

برای نقطه شروع KBDI، خاک در حالت ظرفیت زراعی است. برای شناسایی این مورد، می‌توان از میزان بارش استفاده کرد. در این پژوهش نقطه شروع را در حالتی که دو الی سه روز بارش متوالی باشد، در نظر گرفته می‌شود. شاخص خشکی برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. طبق رابطه ادامه می‌یابد تا به نقطه حداکثر

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص خشکسالی KBDI (Minghua)

Table 3- Classification of KBDI drought index (Minghua)

شماره طبقه	مقدار شاخص	تشریح وضعیت
1	0-200	لایه بالایی خاک از آب اشباع است و احتمال آتش‌سوزی ندارد.
2	200-400	بستری نیمه‌خشک با احتمال آتش‌سوزی کم اما کاملاً قابل کنترل
3	400-600	بستر پایین‌تر لایه خاک به‌طور فعال به شدت آتش کمک می‌کند و به شدت سوزانده می‌شود.
4	600-800	آتش‌سوزی‌های شدیدی اتفاق می‌افتد و باید تا رسیدن شاخص به ۵۰۰ تمام فعالیت‌های حساس حذف شوند.

مطالعات صورت گرفته شده است. در این بخش از مطالعه سعی شد که به‌مفاهیم این تکنیک پرداخته شود. روش‌های هم‌مقیاس‌سازی به‌طور کلی بر دو محور مطالعات (ریاضی و آماری) و (استنتاج کیفی) تقسیم می‌شود. مبحث هم‌مقیاس‌سازی بر محور مطالعات ریاضی و آماری اصولاً نیازمند تکنیک‌های خاص خود است که لازم به‌ذکر است از این تکنیک به‌اصطلاح پیچیده‌ی زمانی استفاده می‌شود که تعاریف کیفی و رای هر تعریف کمی وجود نداشته است. اما زمانی که برابر هر بازه عددی یک تعریف کیفی لحاظ شده است، لذا هم‌مقیاس‌سازی بر اساس محور استنتاج کیفی کاری شایسته‌تر است.

در مطالعه حاضر دو شاخص KBDI و PNPI مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. در ابتدا لازم است به‌تشریح مختصری از طبقه‌بندی هر دو شاخص پرداخته شود تا بستر هم‌مقیاس‌سازی (استنتاج کیفی) فراهم شود. اصولاً مبنای تحلیل‌های مطالعاتی از این دست که در زمینه خشکسالی انجام می‌شوند، تنش است؛ لذا پرداختن به طبقاتی که محدوده‌ها ترسالی یا نرمال نزدیک به ترسالی را مشخص می‌کنند حائز اهمیت نیست. بر اساس شاخص خشکسالی KBDI، چهار طبقه تعریف شده است که نکته مورد نظر ما در طبقه اول این شاخص نهفته است. از آنجا که این طبقه برای شرایطی وضع شده است که حالت نرمال بوده و آتش‌سوزی اتفاق نخواهد افتاد، پس از نظر تنش‌های هیدروکلیماتیکی برابر طبقاتی است که در محدوده ترسالی و یا نرمال نزدیک به ترسالی یا حتی خشکسالی خفیف تعریف شده‌اند. لذا با در نظر گرفتن دو شاخص KBDI و PNPI بر اساس توضیحات بالا می‌توان ادعا کرد که هم‌مقیاس‌سازی بر اساس جدول ۵ است. در ادامه نیز، نظر به آنکه مطالعات بسیاری همبستگی بالای شاخص KBDI با پارامترهای اقلیمی را اثبات کرده‌اند، با افزایش تنش در شاخص‌های خشکسالی PNPI

۲-۲-۲- شاخص خشکسالی PNPI

شاخص درصد نرمال بارش از جمله ساده‌ترین دستگاه عددی برای سنجش وضعیت بارش و خشکی برای یک منطقه به‌شمار می‌رود. تحلیل‌های صورت‌گرفته از این شاخص اطلاعات بسیار خوبی از وضعیت خشکسالی را در اختیار محقق قرار می‌دهد. این شاخص را می‌توان برای مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، ماهانه متحرک، فصلی یا سالانه و سالانه متحرک) استفاده کرد (جدول ۴).

بارش نرمال برای هر منطقه ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شده است که به‌معنای برابر بودن بارش واحد زمانی مورد نظر با میانگین طولانی مدت بارش منطقه است (رابطه ۳) (Wilks, 2011).

$$PNPI = \frac{P_i}{P} \times 100 \quad (3)$$

که در آن: P_i میزان بارندگی در ماه i ام و P میانگین دراز مدت بارندگی در همان ماه است. این نمایه همواره مثبت و دارای جدول طبقه‌بندی زیر است:

جدول ۴- طبقات شاخص خشکسالی PNPI (Dogan et al., 2012)
Table 4- PNPI drought index profile classes (Dogan et al., 2012)

طبقه بندی خشکسالی	ترسالی	نرمال	خشکسالی
خفیف	120-130		70-80
متوسط	130-145		55-70
شدید	145-160	80-120	40-50
بسیار شدید	160 ≤		40 ≥

۲-۲-۳- هم‌مقیاس‌سازی طبقات خشکسالی

هم‌مقیاس‌سازی از جمله مفاهیمی است که در مطالعات مقایسه‌ای جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. این سبک از نگاه مطالعاتی بدون هیچ ساختاری و به‌صورت تجربی در بسیاری از

اغلب ماه‌های این استان در طبقه یک این شاخص، یعنی همان میزان صفر تا ۲۰۰ بوده است. با این حال، شدیدترین سال خشک برای ایستگاه منجیل با مقدار میانگین ماهانه ۳۷/۶ در سال ۱۳۸۶، ایستگاه بندر انزلی با مقدار میانگین ماهانه ۴۲ در سال ۱۳۶۷ و رشت و آستار نیز در به ترتیب با میانگین ماهانه‌های ۳۷/۲ و ۳۷/۶ در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۸۶ رخ داده است. شدیدترین دوره خشکسالی مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ الی ۱۳۶۷ در ایستگاه بندر انزلی، در سال‌های ۲۰۰۵ الی ۲۰۰۷ در ایستگاه آستارا، سال‌های ۱۳۸۴ الی ۱۳۸۷ در ایستگاه منجیل و در ایستگاه رشت در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۶ مشاهده شده است. (Abbasi et al., 2015) نتایج بررسی پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها با استفاده از شاخص کج-بایرام نشان دادند که این شاخص، در گراس لندهای مناطق خشک و نیمه‌مرطوب کارایی خوبی داشته است که با نتایج مطالعه حاضر نیز مطابق است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، ایستگاه‌ها دارای نوسانات خشکی متعددی هستند. علت این تفاوت می‌تواند بستگی به عوامل مختلفی همچون اختلاف ارتفاع، مدت و پراکنش بارندگی، رطوبت نسبی باشد (Kchouk et al., 2021). علاوه بر این، (Kchouk et al., 2021) در مرور شاخص‌های خشکسالی بیان کردند که ویژگی‌های دما، بارش و ارتفاع از عوامل مؤثر در اختلاف میزان خشکسالی در هر منطقه مورد مطالعه خواهد بود. نتایج حاصل از ارزیابی وقوع خشکسالی در خراسان جنوبی نشان دهنده خشکسالی بسیار شدید بود که در سال وقوع کمینه بارندگی اتفاق افتاده است و در این مطالعه شاخص PNPI شاخص مناسبی برای این منطقه ارزیابی شد (Jahangir and Saranirad, 2019).

شاخص خشکسالی KBDI هم افزایش تنش را به همراه خواهد داشت. با این تفاسیر طبقه‌بندی هر دو شاخص با نگاه هم‌مقیاس‌سازی در شرایط افزایش تنش خشکی به فرض جدول ۶ تعریف می‌شود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تجزیه و تحلیل شاخص‌ها

با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های KBDI و PNPI نمودارهای مربوط به هر چهار ایستگاه رسم شد. در ادامه به ارزیابی فراوانی طبقات جدید در هر شاخص برای ایستگاه‌های مورد مطالعه پرداخته شد و در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده پهنه‌بندی خشکسالی برای هر چهار ایستگاه در شکل ۲ نشان داده شد. همچنین با تجزیه و تحلیل داده‌های شاخص، جدول مربوط به شدیدترین سال و شدیدترین دوره خشکسالی تهیه شد.

شکل ۲ مقادیر به دست آمده برای شاخص خشکسالی KBDI طی یک بازه زمانی ۳۰ ساله برای چهار ایستگاه آستارا، بندر انزلی، منجیل و رشت را نشان می‌دهد. استان گیلان به دلیل رطوبت بالای آن و همچنین دمای نسبی پایین آن نسبت به سایر مناطق ایران از وضعیت خشکی بالایی برخوردار نبوده است به همین دلیل انتظار می‌رود که شرایط حادی تجربه نشده باشد. با این توضیح، مطابق شکل ایستگاه رشت دارای وضعیت خشکسالی متوسط تا خفیف، ایستگاه منجیل دارای وضعیت خشکسالی متوسط، ایستگاه بندر انزلی دارای وضعیت متوسط تا شدید و ایستگاه آستارا دارای وضعیت خشکسالی متوسط تا شدید است. به‌طور کلی استان از نظر شاخص خشکی KBDI شرایط نرمال و بدون تنش را تجربه کرده است و

جدول ۵- هم‌مقیاس‌سازی طبقات بدون تنش خشکی برای شاخص‌های خشکسالی KBDI و PNPI

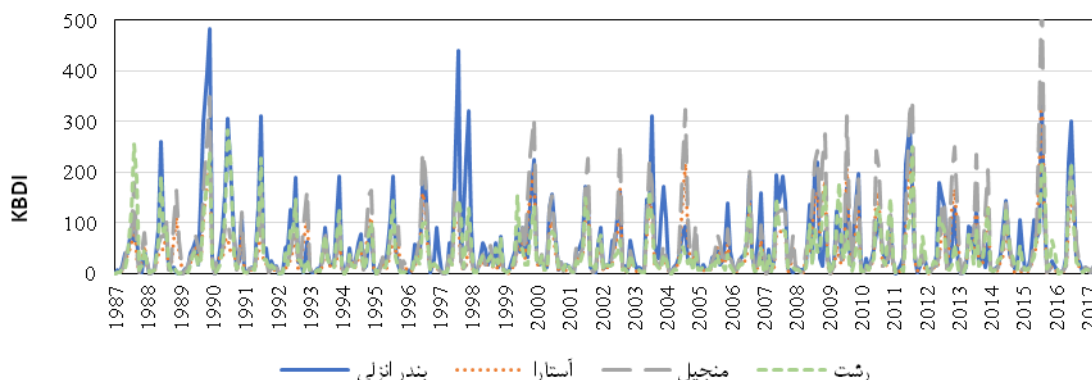
Table 5- Co-scaling of non-drought classes for PNPI and KBDI drought indices

شاخص	طبقه‌بندی کیفی	طبقه‌بندی کمی	طبقه جدید
KBDI	لایه بالایی خاک از آب اشباع است و احتمال آتش‌سوزی ندارد.	0-200	شرایط بدون تنش
PNPI	تر سالی (بسیار شدید، شدید، متوسط، خفیف)، نرمال و خشکسالی خفیف	70-160 ≤	

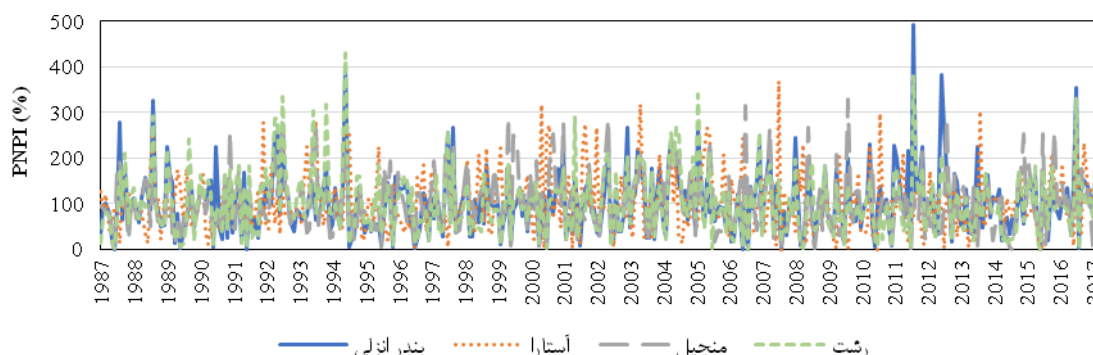
جدول ۶- هم‌مقیاس‌سازی طبقات دارای تنش خشکی برای شاخص‌های خشکسالی KBDI و PNPI

Table 6- Co-scaling of drought stress classes for PNPI and KBDI drought indices

طبقه‌بندی جدید	شرایط تنش‌دار مرتبه اول	شرایط تنش‌دار مرتبه دوم	شرایط تنش‌دار مرتبه سوم
KBDI	بستری نیمه‌خشک با احتمال آتش‌سوزی کم اما کاملاً قابل کنترل	بستر پایین تر لایه خاک به‌طور فعال به شدت آتش کمک می‌کند و به شدت سوزانده می‌شود.	آتش‌سوزی‌های شدیدی اتفاق می‌افتد و باید تا رسیدن شاخص به ۵۰۰ تمام فعالیت‌های حساس لغو شود.
	201-400	401-600	601-800
طبقه کمی	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
طبقه کیفی			
طبقه کمی	55-69	40-54	39 ≥



شکل ۲- مقادیر شاخص KBDI برای دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۶ (۱۹۸۷-۲۰۱۷) در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 2- KBDI index values for the period 1987-2017 at the stations under study



شکل ۳- مقادیر شاخص PNPI برای دوره زمانی ۱۳۹۶-۱۳۶۶ (۱۹۸۷-۲۰۱۷) در ایستگاه‌های مورد مطالعه
Figure 3- PNPI index values for the period 1987-2017 at the study stations

داده است. بیش‌ترین تداوم دوره خشکسالی برای ایستگاه منجیل در سال‌های ۱۳۹۵ الی ۱۳۹۶ و برای ایستگاه آستارا در سال‌های ۱۳۶۸ الی ۱۳۶۹ رخ داده است. بیش‌ترین نوسانات و تناوب خشکسالی و ترسالی در ایستگاه رشت مشاهده می‌شود (جدول ۷). هم‌چنین، Derakhshan et al. (2011) در بررسی وضعیت خشکسالی سه ایستگاه سینوپتیک شیراز، آباده و لارستان در طول دوره آماری ۲۰ ساله، نشان دادند که بر اساس شاخص فراوانی خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید در ایستگاه لارستان بیش‌تر است و با این شاخص می‌توان به‌خوبی خشکسالی را تحلیل کرد. که با نتایج به‌دست آمده در این بخش مطابقت داشت. Khaligh et al. (2007) در تحقیقی، برای ارزیابی پدیده‌های ترسالی و خشکسالی از نمایه PNPI استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که PNPI به‌علت تفکیک طبقه‌های خشکسالی با شدت‌های مختلف از کارایی خوبی برخوردار هستند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

شکل ۳ نشان دهنده مقادیر به‌دست آمده برای شاخص خشکسالی PNPI طی یک بازه زمانی ۳۰ ساله برای چهار ایستگاه رشت، منجیل، بندر انزلی و آستارا است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ایستگاه بندر انزلی در وضعیت خشکسالی متوسط تا خفیف، ایستگاه آستارا خشکسالی خفیف تا نرمال، ایستگاه منجیل خشکسالی خفیف تا نرمال و حتی تا وضعیت ترسالی متوسط و ایستگاه رشت دارای وضعیت خشکسالی متوسط تا نرمال است. به‌طور کلی در این بازه زمانی در وضعیت خشکسالی متوسط تا نرمال است. طبق جدول ۱ هرچه مقدار عددی شاخص کم‌تر باشد خشکسالی بیش‌تر است. به‌طوری که شدیدترین خشکسالی برای ایستگاه بندر انزلی با میانگین ماهانه ۶۵/۲ در سال ۱۳۷۴، ایستگاه آستارا با میانگین ماهانه ۷۵/۵ در سال ۱۳۶۹، ایستگاه منجیل با میانگین ماهانه ۶۸/۸ در سال ۱۳۹۶ و در ایستگاه رشت با میانگین ماهانه ۶۳/۸ در سال ۱۳۸۹ رخ داده است. شدیدترین دوره خشکسالی طی سال‌های ۱۳۸۷ الی ۱۳۸۹ برای ایستگاه رشت، پس از آن برای ایستگاه بندرانزلی طی سال‌های ۱۳۷۳ الی ۱۳۷۴ رخ

جدول ۷- مشخصات زمانی شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 7- Time profile of drought indices at the stations under study

ایستگاه	شاخص خشکسالی KBDI				شاخص خشکسالی PNPI			
	طولانی‌ترین دوره خشک	مقدار میانگین	شدیدترین سال خشک	مقدار	طولانی‌ترین دوره خشک	مقدار میانگین	شدیدترین سال خشک	مقدار
بندر انزلی	1986-1988	29.2	1988	42	1994-1995	84	1995	65.2
منجیل	2004-2007	20.8	20.7	37.6	2016-2017	87.3	2017	68.8
آستارا	2005-2007	27.3	2007	37.5	1989-1990	87.8	1990	75.7
رشت	2016-2017	29.1	2017	37.2	2008-2010	77.9	2010	63.8

مقدار ۶۳/۸ و در شاخص KBDI برای سال ۱۳۶۷ با مقدار ۴۲ بوده است.

از نظر تحلیل زمانی برای شاخص KBDI شدیدترین دوره خشکسالی مربوط به ایستگاه منجیل بوده است که طی سال‌های ۱۳۸۳ الی ۱۳۸۶ رخ داده است. اما شدیدترین سال خشک مربوط به ایستگاه بندر انزلی و در سال ۱۳۶۷ بوده است. در شاخص PNPI نیز شدیدترین خشکسالی در ایستگاه رشت و در سال ۱۳۸۹ و شدیدترین دوره خشکسالی نیز در ایستگاه رشت بین سال‌های ۱۳۹۰ الی ۱۳۸۹ رخ داده است.

در تحلیل مکانی این دو شاخص مشاهده می‌شود که هر دو شاخص شمال استان را برای شدیدترین سال خشک مشخص کرده‌اند با این تفاوت که شاخص PNPI مکان گسترده‌تری را نسبت به شاخص KBDI مشخص می‌کند؛ یعنی مساحت بیش‌تری از استان دارای سال خشک شدید بوده‌اند. در شدت و تداوم خشکسالی در شاخص KBDI مناطق شمال و شمال‌شرقی نشان دهنده مناطق با تداوم بالای دوره خشکی است.

اما شاخص PNPI مناطق جنوبی استان را برای تداوم شدت خشکسالی نشان می‌دهد. به‌طور کلی شدیدترین سال خشکسالی در استان گیلان مربوط به ایستگاه بندر انزلی و شدیدترین سال‌تر مربوط به ایستگاه آستارا بوده است. با تحلیل هر دو شاخص خشکسالی این نتیجه حاصل می‌شود که نواحی شمالی استان از تنش بسیار بالای خشکی و آتش‌سوزی، به‌خصوص در دوره‌های خشک برخوردار بوده است و از نظر مطالعات و مدیریت منابع آبی و پوشش گیاهی، باید به این مناطق نگاه ویژه‌تری وجود داشته باشد. با سنجش هر دو شاخص برای یک دوره زمانی در یک منطقه می‌توان ادعان داشت که این دو شاخص در سنجش منطقه به خوبی عمل کرده‌اند و دارای ارتباط خوبی در شناسایی ویژگی‌های زمانی-مکانی خشکسالی بوده‌اند.

۳-۲- تجزیه و تحلیل بر اساس هم‌مقیاس‌ها

به‌جهت آن که بتوان دو شاخص غیرهم‌مقیاس در یک منطقه به‌کار برده شود و مقایسه شود، نیاز است آن‌ها را، با تعاریف ریاضی یا استنتاجی-کیفی هم‌طبقه نمود. در این مطالعه سعی شد تا به این مهم نیز پرداخته شود. بر اساس تعاریف، چهار طبقه به‌طور هم‌سان برای شاخص‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شد. این شاخص‌ها از قبیل ۱- شرایط بدون تنش، ۲- شرایط تنش‌دار مرتبه اول، ۳- شرایط تنش‌دار مرتبه دوم و در نهایت ۴- شرایط تنش‌دار مرتبه سوم طبقه‌بندی شد که شرح کامل فرآیند این طبقه‌بندی در بخش هم‌مقیاس‌سازی توضیح داده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، بر اساس شاخص خشکسالی PNPI، ۶۸/۹ درصد منطقه شرایط بدون تنش، ۸/۱ درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه اول، ۷/۵ درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه دوم و در نهایت ۱۵/۴ درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه سوم و هم‌چنین از سوی دیگر بر اساس شاخص خشکسالی KBDI، ۹۶/۳ درصد منطقه شرایط بدون تنش، ۳/۶ درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه اول، ۰/۵ درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه دوم و در نهایت صفر درصد منطقه شرایط تنش‌دار مرتبه سوم را تجربه کرده است (جدول ۷).

۴- نتیجه‌گیری

استان گیلان بر اساس نتایج به‌دست آمده دارای وضعیت خشکسالی نرمال و خفیف بوده و خطر خشکسالی بسیار شدید نه در شاخص PNPI و نه در شاخص KBDI این منطقه را تهدید نکرده است. شدیدترین خشکسالی این منطقه بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه در شاخص PNPI برای سال ۱۳۸۹ با

منابع

بین‌المللی آتش‌سوزی در عرصه‌های منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
باروتی، ح.، ذوالفقاری، م.، سلیمانپور، س.م. (۱۳۹۲). مقایسه شاخص‌های PNPI و SPI در پایش و پهنه‌بندی روند

ادهمی‌مجرد، ا.، مستوری، م.، و هنردوست، ف. (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر آتش‌سوزی و تجزیه و تحلیل آن با استفاده از روش فرانسویس، مطالعه موردی: (منابع طبیعی استان گلستان). اولین کنفرانس

تأکید بر ایستگاه‌های شیراز، آباده و لارستان. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، دانشگاه تهران.

عباسی، ن.، سلطانی، س.، و جعفری، ر. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع با استفاده از شاخص خشکسالی کیچ-بایرام (مطالعه موردی: استان اصفهان). *بوم‌شناسی کاربردی*، ۳(۱۰)، ۵۳-۶۲.

قدرتی، ع.، خواجوی، ا.، نظامی، م.ط.، و امیری، آ. (۱۳۹۰). برآورد خشکسالی در استان گیلان با استفاده از شاخص‌های بارش مؤثر روزانه ERI و نمایه استاندارد شده بارش SPI در امر کشاورزی. اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم، مرکز تحقیقات کم آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی.

مودت، ا.، و ملکی، س. (۱۳۹۳). طیف‌بندی و سنجش فضایی آسیب فیزیکی- اجتماعی شهرها در برابر زلزله با بکارگیری تکنیک VIKOR و GIS؛ موردشناسی شهر یزد. *فصلنامه جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای*، ۴(۱۱)، ۸۵-۱۰۳.

خشکسالی در استان قزوین، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی.

جهانگیر، م.ج.، و سرانی‌راد، م. (۱۳۹۸). ارزیابی خشکسالی در استان خراسان جنوبی با استفاده از شاخص بارش نرمال (PNPI) و شاخص روش استاندارد (Z). *علم و فناوری محیط‌زیست*، ۲۱(۴)، ۱-۱۴.

خسروی، م.، موقری، ع.، منصوری دانشور، م.ر. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های RAI، PNI، SIP و SPI برای پهنه‌بندی شدت خشکسالی ایران با مقایسه دو روش درونیایی IDW و مدل ارتفاعی رقومی DEM. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۲(۴)، ۵۳-۷۰.

خلیقی‌سیگارودی، س.ح.، صادقی‌سنگدهی، ا.، اوسطی، خ.، و قویدل رحیمی، ی. (۱۳۸۷). بررسی مدل‌های ارزیابی خشکسالی و سال‌های مرطوب برای ایستگاه‌های استان مازندران. *مرتع و تحقیقات بیابان*، ۱۶(۱)، ۴۴-۵۴.

درخشان، ح.، عظیمی، ف.، و عزتیان، و. (۱۳۹۰). مقایسه شاخص‌های SIAP، PNPI و RAI در مطالعه خشکسالی‌های استان فارس با

References

- Abbasi, N., Soltani, S., & Jafari, R. (2015). Rangeland and forest fire risk mapping using KBDI drought index (Case study: Isfahan Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(10), 53-62 (in Persian).
- Adhami Mojarad, A., Mastoori, M., & Honardoost, F. (2011). Fire hazard zonation and its analysis using the Francis method (Case study: Natural Resources Areas of Golestan Province). 1st International Firefighting Conference on Natural Resources, Gorgan, Iran (in Persian).
- Ainuddin, N.A., & Ampun, J. (2008). Temporal analysis of the Keetch-Byram drought index in Malaysia: implications for forest fire management. *Journal of Applied Sciences*, 8(21), 3991-3994.
- Barooty, H., Zolfaghari, M., & Soleymannpur, S.M. (2013). Comparison of PNPI and SPI indices in monitoring and zoning of drought trend in Qazvin Province. Fifth Iranian Water Resources Management Conference, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Bonsal, B., & Regier, M. (2007). Historical comparison of the 2001/2002 drought in the Canadian Prairies. *Climate Research*, 33(3), 229-242.
- Chu, P.S., Nash, A.J., & Porter, F.Y. (1993). Diagnostic studies of two contrasting rainfall episodes in Hawaii: Dry 1981 and wet 1982. *Journal of Climate*, 6(7), 1457-1462.
- Derakhshan, H., Azimi, F., & Ezatian, V. (2011). Comparison of SIAP, PNPI and RAI indicators in the study of droughts in Fars Province with emphasis on Shiraz, Abadeh and Larestan stations. First National Conference on Meteorology and Agricultural Water Management, Karaj, Iran (in Persian).
- Dogan, S., Berkday, A., & Singh, V.P. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470, 255-268.
- Dolling, K., Chu, P.S., & Fujioka, F. (2005). A climatological study of the Keetch/Byram drought index and fire activity in the Hawaiian Islands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 133(1-4), 17-27.
- Dowdy, A.J., Mills, G.A., Finkele, K., & de Groot, W. (2009). Australian fire weather as represented by the McArthur forest fire danger index and the Canadian forest fire weather index. CAWCR Technical Report No. 10, Australian Bureau of Meteorology.
- Eivazi, M., & Mosaedi, A. (2011). Monitoring and spatial analysis of meteorological drought in Golestan Province using geostatistical methods. *Journal of Range and Watershed Management*, 64(1), 65-78.
- Ghodrati, A., Khajavi, E., Nezami, M.T., & Amiri, A. (2011). Estimation of drought in Gilan province using ERI effective daily precipitation indicators and SPI standardized precipitation index in agriculture. First National Conference on Drought and Climate Change, Karaj, Iran (in Persian).
- Heim J.R.R., (2002). A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1166.

- Jahangir, M.H., & Saranirad, M. (2019). Evaluation of drought in South Khorasan Province (Iran) using normal precipitation index (PNPI) and standardized method index (Z). *Environmental Science and Technology*, 21(4), 1-14. (in Persian)
- Kendall, M., & Stuart, A. (1977). The advanced theory of statistics. Vol. 1: Distribution theory. Griffin, London, 4th edition, 484 pages.
- Keetch, J.J., & Byram, G.M. (1968). A drought index for forest fire control. Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: US Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station. 35, 38.
- Khosravi, M., Movaqari, A., & Mansouri Daneshhvar, M.R. (2013). Evaluating the PNI, RAI, SIP AND SPI indices in mapping drought intensity of Iran: Comparing the interpolation method and digital elevation model (DEM). *Geography and Sustainability of Environment*, 2(4), 53-70 (in Persian).
- Khalighi Sigaroudi, S.H., Sadeghi Sangdehi, A., Awsati, KH., & Ghavidel Rahimi, Y. (2007). The Study of Drought and Wet Year Assessment models for Stations in Mazandaran province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 16(1), 44- 54 (In Persian).
- Kchouk, S., Melsen, L.K., Walker, D.W., & Van Oel, P.R. (2021). A review of drought indices: predominance of drivers over impacts and the importance of local context. *Natural Hazard and Earth System Sciences*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2021-152>
- Liu, Y., Stanturf, J., & Goodrick, S. (2010). Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 685-697.
- Mavedat, E., & Maleki, S. (2014). Classification and spatial measurement of social-physical damages of the cities against earthquakes by using VIKOR technique and GIS, case study: Yazd city. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 4(11), 85-103 (in Persian).
- Masoudi, M., & Hakimi, S. (2014). A new model for vulnerability assessment of drought in Iran using Percent of Normal Precipitation Index (PNPI). *Iranian Journal of Science and Technology (Sciences)*, 38(4), 435-440.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, California, Pp. 179-184.
- Melton, M. (1989). The Keetch/Byram Drought Index: a guide to fire conditions and suppression problems. *Fire Management Notes*, 50(4), 30-34.
- Minghua, N.R.Z.P.S. College of Atmospheric Sciences of Lanzhou University, 730000. *National Meteorological Center*, 2006-12.
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Research paper No. 45. US Department of Commerce Weather Bureau, Washington DC.
- Taufik, M., Setiawan, B.I., & Van Lanen, H.A. (2015). Modification of a fire drought index for tropical wetland ecosystems by including water table depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 203, 1-10.
- Türkeş, M., Tatlı, H., Altan, G., & Öztürk, M.Z. (2011). Analysis of forest fires for the year of 2010 in Çanakkale and Muğla with the Keetch-Byram drought index. In Proceedings of the National Geographical Congress with International Participation, Istanbul, Turkey.
- Vafakhah, M., & Rajabi, M. (2005). Efficiency of meteorological drought indices for monitoring and assessment of drought in Bakhtegan, Tashk, and Maharlo Lakes Watershed. *Ecopersia*, 2 (1), 441-453.
- Van Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.
- Vogt, J.V., Naumann, G., Masante, D., Spinoni, J., Cammalleri, C., Erian, W., Pischke, F., Pulwarty, R., & Barbosa, P. (2018). Drought risk assessment and management. EUR 29464 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Willeke, G., Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., & Guttman, N.B. (1994). The national drought atlas. U.S. Army Corps of Engineers, Water Resources Support Center, Institute for water resources, 587 pages.
- Wilhelmi, O.V., & Wilhite, D.A. (2002). Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards*, 25(1), 37-58.
- Wilks, D.S. (2011). Statistical methods in the atmospheric sciences (Vol. 100). Academic press.
- Xanthopoulos, G., Maheras, G., Gouma, V., & Gouvas, M. (2006). Is the Keetch-Byram drought index (KBDI) directly related to plant water stress? *Forest Ecology and Management*, 234(1), S27.