

Research Paper

Analyzing Agricultural Drought in Mazandaran Province Using Remote Sensing and Meteorological Ind

Kaka. Shahedi¹, Sajad. Rouzbeh Koshahi²,

¹ Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran

² Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran



10.22125/IWE.2022.243015.1400

Received:
March.08.2021
Accepted:
September.03.2021
Available online:
October.05.2022

Keywords: Drought, Landsat Satellite Series, Normal Distribution Method, VCI Index

Abstract

Agricultural drought has become a major concern worldwide due to the severe impact on crops and the indirect impact on occupation as well as per capita income. The use of reflective remote sensing techniques to evaluate the effects of drought is recognized as one of the most efficient methods. Therefore, the purpose of the present study is to analyze agricultural drought in Mazandaran province using Remote sensing and meteorological indicators. At the first, SPI, ZSI and EDI indices were calculated at different time scales and the best index was selected based on the normal distribution method. Then, using Landsat 5, 7 and 8 satellite images, NDVI, EVI and VCI remote sensing indices were extracted and the best index was selected based on the highest correlation with appropriate drought index. Finally, using the best meteorological and remote sensing indices, the agricultural drought in Mazandaran province was evaluated in two very dry (89) and very wet (92) years for different seasons. The results showed that based on the normal distribution method, the sum of the difference from normal distribution for the SPI index is lower than the other indices. The results also showed that the highest correlation was observed between VCI spectral index and SPI meteorological index with time delay of three and six months. The results also showed that the mean VCI in all seasons of very dry year (89) for all stations was below 0.50 and maximum stations had a VCI value of less than 0.35 but in all seasons of very wet year (92) for most stations is above 0.5.

1. Introduction

Among natural hazards, drought is known as a hazard with heavy damages and affecting people's lives (Wilhite, 2000). Drought occurs in most parts of the world, even in humid regions. Iran has always faced large and small droughts. Mazandaran province has not been exempted from the mentioned incidents and the fluctuations of the humidity in the province are very high and it is not possible to be sure of the occurrence of drought with complete certainty (Karimi et al., 2016).

Therefore, in order to reduce the damage caused by drought, it is necessary to know the characteristics of drought.

The main goal of this study is to monitor the long-term patterns of meteorological and agricultural drought in Mazandaran province. SPI, ZSI and EDI indices were used to monitor meteorological drought. While Landsat satellite images based on NDVI, EVI and VCI remote sensing indicators were used to monitor agricultural drought. Another goal of this study is to introduce optimal meteorological and remote sensing indicators to assess drought through a quantitative approach.

2. Materials and Methods

Mazandaran province in the north of Iran, with an area of 23756.4 square kilometers, covers about 1.46% of the total area of the country. The average annual rainfall is 713 mm, which decreases from west to east. In order to determine the optimal index and analyze the meteorological drought in Mazandaran province, the monthly rainfall data of 21 synoptic, rain gauge and evapotranspiration stations in the region were used during a period of 14 years (2003-2016).

Then, using DIP software, SPI index (3, 6, 9 and 12-month scale), ZSI index (3, 6, 9 and 12-month time scale) and EDI index (monthly scale) were calculated.

The used satellite images include images of the Landsat series of TM, ETM+ and OLI. Images related to Mazandaran province were extracted from 2003 to 2016 for each season (preferably the middle month of each season). In the next step, NDVI, EVI and VCI indices were extracted and monitored using ENVI 5.3 and ArcGIS 10.3 software.

3. Results

Based on the normal distribution method (Steinman method), the percentage difference of each drought index was calculated with the percentage of normal distribution, and then the total difference in each of the drought conditions was calculated in each station (Table 2). The results showed that the total difference from the normal distribution for the SPI index is less than other indices. Therefore, the SPI index was selected as the first and the ZSI index as the second.

To ensure the results obtained from the satellite indicators and also to choose the appropriate remote sensing index, the correlation coefficients between the remote sensing indexes (NDVI, EVI and VCI) and the appropriate meteorological index (SPI) in different time scales (3, 6, 9 and 12 months) was done at each station. Due to the large number of meteorological and remote sensing indicators, only the results related to the very dry year (2010) and the very wet year (2013) have been included (Table 3). The results showed that the SPI index with a delay of 3 months had the highest correlation with the VCI remote sensing index, followed by NDVI and EVI. Also, the SPI results with a six-month delay have similar results to the three-month SPI index and also have the highest correlation in the studied stations.

4. Discussion and Conclusion

The results showed that the VCI index has the ability to evaluate the beginning, continuation and spatio-temporal expansion of agricultural drought. Unlike meteorological point data with irregular distribution, the VCI index based on remote sensing can be used with high accuracy to characterize the temporal and spatial distribution of agricultural drought. It should be noted that the results of the present research clearly defined the necessity of using remote sensing technology in drought analysis.

5. Six important references

1. Ajaz, A., Taghvaeian, S., Khand, K., Gowda P. H., Moorhead J. E., 2019. Development and evaluation of an agricultural drought index by harnessing soil moisture and weather data. *Water*, 11(7), 1375.
2. Bayarjargal, Y., Adyasuren T., Munkhtuya, S., 2000. Drought and vegetation monitoring in the arid and semi-arid regions of the Mongolia using remote sensing and ground data. In *Proceedings of 21st Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, Taiwan (Vol. 1, pp. 372-377)*.

3. Belayneh, A., Adamowski J., Khalil B., Ozga-Zielinski, B., 2014. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 508, 418-429.
4. Caccamo, G., Chisholm L.A., Bradstock R. A., Puotinen, M.L., 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2626-2639.
5. Peng, J., Loew A., Merlin, O., Verhoest, N.E., 2017. A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Geophysics*, 55(2), 341-366.
6. Poonia, S., Rao, A.S., 2012. Analysis of meteorological drought at arid Rajasthan using Standardized Precipitation Index. 92nd America. Meteorol. Soc. Annual. Meeting (January 22–26).

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to the Research Vice-Chancellor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University to support this study in the form of a research project with code 05-1396-04.

.....

تحلیل خشکسالی کشاورزی استان مازندران با استفاده از شاخص‌های مناسب سنجش از دور و هواشناسی

کاکا شاهی^{۱*}، سجاد روزبه کوشاهی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۲

مقاله برگرفته از طرح پژوهشی

چکیده

خشکسالی کشاورزی به دلیل تاثیر شدید بر روی محصولات زراعی و تاثیر غیرمستقیم بر اشتغال و همچنین درآمد سرانه، در سراسر جهان به یک نگرانی اصلی تبدیل شده است. استفاده از روش‌های سنجش از دور انعکاسی، جهت ارزیابی اثرات خشکسالی، به عنوان یکی از کارآمدترین روش‌ها شناخته شده است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر تحلیل خشکسالی کشاورزی استان مازندران با استفاده از شاخص‌های مناسب سنجش از دور و هواشناسی می‌باشد. ابتدا شاخص‌های SPI، ZSI و EDI در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه گردید و بهترین نمایه بر اساس روش توزیع نرمال انتخاب گردید. سپس با استفاده از تصاویر سری ماهواره‌های لندست ۵، ۷ و ۸، شاخص‌های سنجش از دور NDVI، EVI و VCI استخراج گردید و بهترین نمایه بر اساس بیشترین همبستگی با شاخص خشکسالی مناسب انتخاب گردید. در نهایت با استفاده از بهترین نمایه هواشناسی و سنجش از دور، خشکسالی کشاورزی استان مازندران در دو سال خیلی خشک (۸۹) و خیلی مرطوب (۹۲) برای فصول مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که براساس روش توزیع نرمال، مجموع اختلاف از توزیع نرمال برای شاخص SPI نسبت به شاخص‌های دیگر کمتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بالاترین همبستگی بین نمایه طیفی VCI و نمایه‌های هواشناسی SPI با تاخیر زمانی سه و شش ماهه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد، میانگین VCI در تمام فصول سال خیلی خشک (۸۹) برای همه ایستگاه‌ها منطقه مورد مطالعه زیر ۰/۵۰ و حداکثر ایستگاه‌ها دارای ارزش VCI کمتر از ۰/۳۵ اما در تمام فصول سال خیلی مرطوب (۹۲) برای اکثر ایستگاه‌ها بالای ۰/۵۰ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی خشکسالی، سری ماهواره‌های لندست، روش توزیع نرمال، شاخص VCI.

* (نویسنده مسئول) استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن ۰۹۱۱۶۹۶۷۹۲۲، آدرس الکترونیکی: (k.shahedi@sanru.ac.ir)

^۲ دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تلفن ۰۹۲۱۷۵۶۸۰۱۹، آدرس الکترونیکی: (roozbeh.koshahi@gmail.com)



مقدمه

در میان سوانح طبیعی، خشکسالی به عنوان بلای طبیعی با خسارت‌های سنگین و تاثیرگذار بر زندگی مردم شناخته می‌شود (Wilhite.,2000). خشکسالی به معنای کمبود مداوم و طولانی در بارش است (WMO.,1986). پالمر (۱۹۶۵) خشکسالی را انحراف قابل توجهی از شرایط هیدرولوژیک طبیعی منطقه تعریف می‌کند. خشکسالی در بیشتر مناطق جهان، حتی در مناطق مرطوب نیز رخ می‌دهد. کشور ایران همواره با خشکسالی‌های بزرگ و کوچک مواجه بوده است. موقعیت و شرایط طبیعی کشور ایران به گونه‌ای است که دارای خشکسالی‌هایی گاه با شدت کمتر و گاه با شدت بیشتر می‌باشد. استان مازندران نیز از اتفاقات مذکور مستثنی نبوده است و نوسان‌های وضعیت رطوبتی در سطح استان بسیار زیاد می‌باشد و نمی‌توان با اطمینان کامل و قطعی از وجود یک دوره مشخص در نوسان‌های رطوبتی و وقوع خشکسالی مطمئن بود (کریمی و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین به منظور کاهش خسارت حاصل از خشکسالی لازم است که خصوصیات خشکسالی شناخته شود. خصوصیات خشکسالی منجر به بهبود برنامه‌ریزی‌های پیش‌بینی و احتمالات وقوع خشکسالی می‌شود (Kogan.,1990). میزان بارندگی مهم‌ترین عامل موثر در خشکسالی است و تاثیرات خشکسالی بر کاهش سطح آب مخازن، کاهش رطوبت خاک، کاهش جریان رودخانه و کاهش سطح آب زیرزمینی منعکس می‌شود (Afzal and Ragab.,2019). بنابراین، بسیاری از دانشمندان روش‌ها و شاخص‌های مختلف جهت مطالعه و پایش خشکسالی بیش از نیم‌قرن، با استفاده از هر دو کاتالیزور (بارش، دما، رطوبت خاک، تبخیر و تعرق و رطوبت) و پاسخ (سلامت پوشش گیاهی، مخزن و سطح آب‌های زیرزمینی) پارامترهایی توسعه داده‌اند (Gibbs and Maher.,1967: Ajaz et al.,2019). تعداد زیادی از شاخص‌های خشکسالی از قبیل: شاخص خشکسالی پالمر (PDSI)، شاخص بارش استاندارد (SPA)، شاخص ناهنجاری باران (RAI) جهت پایش خشکسالی

هواشناسی ایجاد شده است (Mckee et al.,1993). در مقایسه با سایر شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، از شاخص SPI و RAI در بسیاری از مطالعات استفاده شده است، زیرا توانایی بهتری در توصیف خشکی و رطوبت منطقه دارند (Quiring and Ganseh.,2010). (Poonia and Rao.,2012: Belayneh et al.,2014). در روش‌های معمول، پایش خشکسالی با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های نقطه‌ای (ایستگاه‌های هواشناسی- هیدرولوژیکی) انجام می‌شود (Hashim et al.,2000: Robock et al.,2016). اگرچه داده‌های ایستگاه‌های بارشی دقیق‌تر هستند، اما بدلیل نقطه‌ای بودن، محدود بودن سطح شعاع آنها و عدم تطابق مقیاس، جهت پایش مداوم خشکسالی مناسب نیستند (Tang and Oki.,2016). بنابراین سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان گزینه مناسب‌تری جهت پایش خشکسالی منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرد (Peng et al.,2004: Tapley et al.,2017). از دیدگاه سنجش از دور، خشکسالی را می‌توان با تغییرات طیفی ایجاد شده در تصاویر ماهواره‌ای، به دلیل تغییر در شرایط رطوبتی پوشش گیاهی در سطح مورد مطالعه بررسی نمود (محمودی‌کهن و همکاران، ۱۳۹۰). با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آنها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فناوری فراهم شده است. با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق آثاری که بر گیاهان و کشاورزی دارد مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و موثرتری برای مدل‌سازی خشکسالی دست یافت (Heim.,2002). در حال حاضر، تصاویر ماهواره‌ای به طور منظم و با دقت تفکیک مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند و می‌توانند شرایط نظم و گستردگی فضایی را فراهم کنند، همچنین نسبت به روش‌های هواشناسی می‌توان به افزایش نقاط نمونه‌برداری، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کم‌تر اشاره کرد (Wilhite.,2000). استفاده از شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال‌شده (NDVI)، شاخص شرایط دما (TCI) و شاخص پوشش گیاهی (VCI) جهت شناسایی

تحلیل خشکسالی مبتنی بر شاخص‌های هواشناسی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای نقطه‌ای بوده است. با این حال در مطالعات قبلی توجه زیادی به نقشه‌الگوهای مکانی-زمانی و خطرات خشکسالی نشده است. و توزیع مکانی و پهنه شدت خشکسالی به اندازه کافی نشان داده نشده است. بنابراین انجام یک تجزیه و تحلیل خشکسالی از توزیع زمانی-مکانی در برنامه‌ریزی کشاورزی، مدیریت بحران و کاهش خشکسالی در استان مازندران حائز اهمیت است. به طور کلی، هدف اصلی مطالعه حاضر، پایش الگوهای طولانی مدت خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در استان مازندران می‌باشد. شاخص‌های SPI، ZSI و EDI جهت نظارت بر خشکسالی هواشناسی استفاده شدند. در حالی که از تصاویر ماهواره‌ای لندست مبتنی بر شاخص‌های سنجش از دوری NDVI، EVI و VCI جهت پایش خشکسالی کشاورزی استفاده شد. هدف دیگر این مطالعه، معرفی شاخص‌های سنجش از دور و هواشناسی بهینه جهت ارزیابی خشکسالی از طریق یک رویکرد کمی است. از نتایج مطالعه حاضر می‌توان به طور موثر جهت مدیریت ریسک خطر، تصمیم‌گیری به‌هنگام و دستیابی به کشاورزی پایدار استفاده کرد.

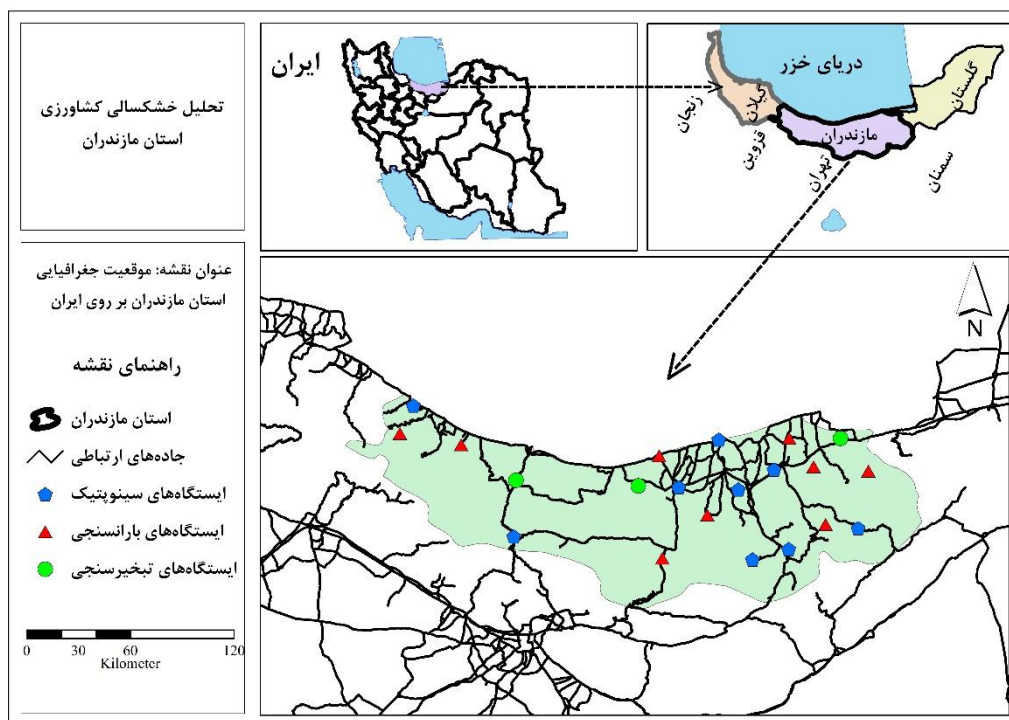
مواد و روش‌ها

محدوده طرح

استان مازندران در شمال ایران با $23756/4$ کیلومترمربع مساحت، بین مدار 37 درجه و 47 دقیقه تا 38 درجه و 5 دقیقه عرض شمالی و 50 درجه و 34 دقیقه تا 56 درجه و 14 دقیقه طول شرقی از نصف النهار مبدا گرینویچ قرار گرفته است و حدود $1/46$ درصد مساحت کل کشور را در بر دارد. موقعیت و وضعیت طبیعی استان مازندران نشانگر دوناخیه عمده جلگه‌های ساحلی و کوهستانی البرز است. متوسط بارندگی سالانه 713 میلی‌متر می‌باشد که از سمت غرب به شرق کاهش می‌یابد. برای انجام پژوهش حاضر جهت تعیین شاخص بهینه و تجزیه و تحلیل خشکسالی هواشناسی در استان مازندران از داده‌های بارش ماهانه 21 ایستگاه سینوپتیک، باران‌سنجی و تبخیرسنجی در منطقه، طی بازه زمانی 14 ساله ($1382-1395$) استفاده شد. شکل (۱) موقعیت و پراکندگی

و پایش خشکسالی کشاورزی در سطح جهانی شناخته شده است (Seiler et al., 2000; Wang et al., 2001). مطالعات زیادی در زمینه خشکسالی در ایران و خارج از ایران انجام شده است که در آنها شاخص‌های خشکسالی هواشناسی (مصطفی‌زاده و ذبیحی، ۱۳۹۵)، هیدرولوژیک (کریمی و همکاران، ۱۳۹۵) و یا شاخص‌های سنجش از دور (Bayarjargal et al., 2000) به کار گرفته شده است. اورنگی و همکاران (۱۳۸۹) به برآورد خشکسالی استان فارس با استفاده از شاخص‌های TCI، VCI و VHI پرداختند. نتایج آنها حاکی از آن بود که این روش‌ها برای آگاهی از خشکسالی اولیه امیدوارکننده هستند و می‌توانند برای مدیریت ریسک خشکسالی در آب‌وهوای نیمه‌خشک استفاده شوند. رضایی‌بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) کارایی شاخص وضعیت پوشش گیاهی در تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی را با استفاده از داده‌های سنجش از دور مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که جهت برآورد خشکسالی کشاورزی از طریق سنجش از دور، شاخص وضعیت پوشش گیاهی روش بسیار مناسبی بوده و در مناطقی که ایستگاه‌های هواشناسی به‌صورت پراکنده بوده، می‌توان از این مدل برای برآورد خشکسالی استفاده کرد. (Caccamo et al., 2011) ارتباط میان شاخص NDVI و SPI در سه بازه زمانی یک، سه و شش ماهه مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها حاکی از آن بود که بالاترین ضریب همبستگی میان NDVI و SPI بازه زمانی شش ماهه بود. (Gouveia et al., 2016) اثرات خشکسالی را بر روی عملکرد پوشش گیاهی در منطقه‌ای از مدیترانه با استفاده از داده‌های سنجش از دور و شاخص‌های خشکسالی مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از تحقیق آنها حاکی از همبستگی بالایی بین داده‌های سنجش از دور و داده‌های هواشناسی بود. از آنجای که بیشتر مساحت استان مازندران به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص دارد و مستعد خشکسالی‌های مکرر است، پایش منظم خشکسالی می‌تواند به طور قابل توجهی به توسعه پایدار کشاورزی کمک کند. علاوه بر این مطالعات زیادی در استان مازندران طی چندین دهه گذشته، انجام شده است که بیشتر این مطالعات تجزیه و

ایستگاه‌های هواشناسی باران‌سنجی، سینوپتیک و تبخیرسنجی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی استان مازندران ایران

شاخص SPI^2 در سال ۱۹۹۵ توسط مک مکی و همکاران^۳ ارائه شد و در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه قابل محاسبه است. مک کی و همکاران شدت خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI را طبق جدول Kendall and Stuart (1977) این شاخص را برای برآورد خشک‌سالی ارائه دادند که بر پایه توزیع پیرسون نوع سوم داده‌های بارش را محاسبه می‌کند. طبقه‌بندی شدت و گستره خشک‌سالی بر اساس این شاخص در جدول (۱) نمایش داده شده است. شاخص EDI^5 : نمایه خشک‌سالی کارآمد

روش پژوهش

شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی

جهت به دست آوردن گستره خشک‌سالی در منطقه مورد نظر باید سال آماری مشترک بین داده‌های بارش گرفته شود که برای داده‌های مطالعه حاضر سال آماری مشترک ۱۴ سال (۱۳۸۲-۹۵) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از نرم افزار DIP^1 مقادیر شاخص SPI (مقیاس ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه)، شاخص ZSI (مقیاس زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه) و شاخص EDI (مقیاس ماهانه) محاسبه گردیده شد.

³Mckee et al

⁴Z- Score Index

⁵Effective drought index (EDI)

¹ Drought Index Package

²Standardized Precipitation Index

است. در جدول (۱) حدود طبقات وضعیت رطوبتی براساس نمایه ED آورده شده است.

(موثر) نمایه‌ای است که علاوه بر شدت خشکسالی، اطلاعات دیگری مانند شروع، پایان، تداوم و کمبود واقعی آب در طول دوره خشکسالی را ارائه می‌دهد. اصلی‌ترین مفهوم در EDI، مفهوم جدید بارش موثر (EP) است. که به معنای جمع مقادیر بارش روزانه با یک تابع کاهش وابسته به زمان

جدول (۱): حدود طبقات وضعیت رطوبتی براساس نمایه‌های مختلف SPI، EDI و ZSI

شاخص ZSI		شاخص EDI		شاخص SPI	
مقدار	وضعیت	مقدار	وضعیت	مقدار	وضعیت
+۰/۲۵ تا -۰/۲۵	نرمال	≤ ۲/۵	بسیار بسیار مرطوب	۲ به بالا	بسیار بسیار مرطوب
-۰/۵۲ تا -۰/۲۵	خشک‌سالی ضعیف	۱/۵ تا ۲/۴۹	بسیار مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
-۰/۸۴ تا -۰/۵۲	خشک‌سالی متوسط	۰/۷ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
-۱/۲۸ تا -۰/۸۴	خشک‌سالی شدید	-۰/۶۹ تا -۱/۴۹	نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نزدیک نرمال
کمتر از -۱/۲۸	خشک‌سالی بسیار شدید	-۱/۴۹ تا -۱/۷	نسبتاً خشک	-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-	-	-۱/۵ تا -۲/۴۹	بسیار خشک	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹	بسیار خشک
-	-	≥ -۲/۵	بسیار بسیار خشک	-۲ و کمتر	بسیار بسیار خشک

مبنای محاسبه شاخص‌ها در جدول فوق شامل: شاخص SPI (McKee et al., 1993)، شاخص ZSI (Wu et al., 2001) و EDI (Byun and Wilhite., 1999) می‌باشند.

رادایومتریک در نرم افزار ENVI 5.1 استفاده شد. بعد از عملیات پیش‌پردازش داده‌های خام تصاویر برای انجام عملیات پردازش به بازتاب جو تبدیل شده و سپس منطقه مورد مطالعه از کل تصویر برش داده شد. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 و ArcGIS 10.3، شاخص‌های NDVI، EVI و VCI استخراج و مورد پایش قرار گرفتند.

شاخص‌های NDVI¹، EVI² و VCI³

شاخص NDVI به عنوان شاخص عددی محسوب می‌شود که از باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس استفاده می‌کند. این شاخص به منظور ارزیابی و اندازه‌گیری سنجش از دوری این موضوع که آیا منطقه مورد نظر از شرایط پوشش گیاهی خوبی برخوردار است یا نه مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدوده عددی این شاخص بین -۱ (برای برف و یخ) تا +۱ (برای پوشش گیاهی متراکم) می‌باشد. به طور کلی این شاخص رابطه مستقیم و

شاخص‌های خشکسالی سنجش از دور

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده شامل تصاویر سری ماهواره‌های لندست مربوط به سنجنده، TM، ETM+ و OLI می‌باشند. تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (<http://www.earthexplorer.usgs.gov>) با فرمت GeoTIFF با داده L1T برای هر باند با سیستم مختصات WGS84 UTM به صورت جداگانه تهیه گردید. دلیل انتخاب انواع سنجنده‌های سری ماهواره‌های لندست طولانی بودن طول دوره آماری می‌باشد و هر سری ماهواره لندست یک بازه زمانی را پوشش می‌دهد. بنابراین پایه دوره مورد مطالعه از سال ۱۳۸۲ جهت بررسی انتخاب شد، تصاویر مربوط به استان مازندران از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ برای هر فصل (ترجیحاً ماه وسط هر فصل) استخراج گردید. پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، از ماژول QUAC جهت انجام تکنیک‌های پیش پردازش از قبیل تصحیحات

²Enhanced vegetation index (EVI)

³Vegetation condition index (VCI)

¹Normalized Difference Vegetation Index



پس‌زمینه تاج پوشش هست که مقدار آن ثابت و برای سنجنده‌های سری ماهواره‌های لندست برابر ۱ می‌باشد، G : ضریب یا وزن خاص که مقدار آن ثابت و برابر با ۲/۵ می‌باشد، $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب مقادیر $NDVI$ حداقل و حداکثر برای هر ماه می‌باشند.

انتخاب شاخص مناسب خشکسالی هواشناسی و سنجش از دور

بررسی سوابق تحقیق مرتبط با انتخاب شاخص مناسب خشکسالی نشان می‌دهد برخلاف سایر پدیده‌ها، تاکنون روش آماری مشخصی جهت انتخاب شاخص مناسب ارائه نشده است. با توجه به اینکه رخدادهای شدت خشکسالی از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند. بنابراین نتایج حاصل از شاخص‌های خشکسالی در صورت نزدیکی با توزیع نرمال از قابلیت اطمینان بالاتری برخوردارند (Steineman, 2003). بنابراین انتخاب شاخص مناسب خشکسالی براساس روش توزیع نرمال (روش استینمن) با استفاده از آمار بارینگی ایستگاه‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۵ در استان مازندران انجام گردیده است. در روش توزیع نرمال براساس روش استینمن به منظور انتخاب شاخص مناسب درصد فراوانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی در شاخص‌های مختلف انتخاب شده محاسبه می‌گردد، سپس اختلاف فراوانی هر وضعیت رطوبتی با وضعیت رطوبتی مشابه در توزیع نرمال در هر ایستگاه محاسبه و شاخصی که دارای کمترین مجموع اختلاف در تمامی وضعیت‌ها باشد به عنوان بهترین شاخص مناسب انتخاب می‌گردد (Steineman, 2003). در نهایت شاخص سنجش از دوری که بیشترین همبستگی را با شاخص خشکسالی هواشناسی مناسب داشته باشد، به عنوان شاخص سنجش از دور مناسب انتخاب می‌گردد. پس از تعیین شاخص‌های مناسب خشکسالی هواشناسی و سنجش از دور، با استفاده از آزمون من‌کندل (Chen et al., 2007)، مقایسه میانگین‌ها و تحلیل واریانس برای ایستگاه‌های که در منطقه مورد مطالعه دارای آمار طولانی مدت می‌باشند، تعیین روند صورت گرفت.

خطی با بیوماس و شاخص سطح برگ (LAI^1) دارد (Kumar and Shekhar., 2015). به منظور تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی از رابطه (۱) استفاده شد. شاخص EVI : شاخص پیشرفته پوشش گیاهی یک شاخص مناسب شده برای بهبود کنتراست پوشش گیاهی می‌باشد. با بهبود حساسیت و پایش پوشش گیاهی از طریق متمایز کردن سیگنال‌های پس‌زمینه تاج پوشش و کاهش اثرات اتمسفر برای مناطق با توده گیاهی متراکم طراحی شده است (Heim., 2002). به طور کلی این شاخص رابطه مستقیم و خطی با شاخص سطح برگ (leaf area index) (LAI) دارد (Kumar and Shekhar., 2015). برای تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی با استفاده از شاخص EVI از رابطه (۲) استفاده شد.

شاخص VCI : این شاخص اولین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۷ پیشنهاد شد (Thenkabail et al., 2004). شاخص VCI ، با استفاده از مقادیر حداکثر و حداقل $NDVI$ تعیین می‌شود. شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی ($NDVI$) به عنوان یک شاخص متداول برای پایش خشکسالی کشاورزی و وضعیت پوشش گیاهی شناخته شده است. این شاخص تغییرات زمانی $NDVI$ را ارزیابی می‌کند، در حالی که اثرات تغییرات مکانی فاکتورهای محیطی از قبیل اقلیم، خاک، نوع گیاه و توپوگرافی را به حداقل می‌رساند. مقدار این شاخص، وابسته به تغییرات گیاه از شرایط شدیداً نامطلوب تا شرایط بالای نرمال، بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. مقدار پایین این شاخص در فواصل زمانی پیوسته، نشان‌دهنده پیشرفت خشکسالی است. مقدار عددی این شاخص از طریق رابطه (۳) قابل محاسبه است.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{NIR + C_1 \times RED - C_2 \times BLU + L} \quad (2)$$

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \times 100 \quad (3)$$

NIR : انعکاس باند مادون قرمز نزدیک، RED : انعکاس باند قرمز، $Blue$: انعکاس باند آبی، C_1 و C_2 : ضرایب مقاومت مواد معلق در هوا، که مقدار آنها برای سنجنده‌های لندست به ترتیب ۶ و ۷/۵ می‌باشد، L :

¹ leaf area index

شاخص‌های دیگر کمتر می‌باشد. بنابراین شاخص SPI در رتبه اول و شاخص ZSI در رتبه دوم به عنوان شاخص

جدول (۲): نتایج ارزیابی شاخص‌های مختلف خشکسالی براساس مطابقت با توزیع نرمال در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	SPI	ZSI	EDI
۱	آلاشت	۱۸/۳۷	۲۲/۰۳	۳۴/۲۲
۲	آمل	۹/۰۷	۱۰/۴۵	۳۸/۷۶
۳	بابلسر	۱۸/۳۷	۱۹/۷۵	۳۸/۵۳
۴	بهشهر	۸/۸۹	۱۲/۴۳	۴۷/۸۵
۵	چمستان	۱۶/۵	۲۷/۱۳	۲۲/۱
۶	دارابکلا	۹/۰۷	۱۲/۴۳	۳۸/۷۶
۷	دیوا	۱۶/۹۴	۱۹/۴۹	۳۷/۹۱
۸	دینارسرا	۹/۳	۱۳/۶۸	۳۰/۹۶
۹	جواهرده	۱۶/۶۱	۲۰/۴۳	۲۲/۰۱
۱۰	کیاسر	۲۱/۷۰	۲۲/۳۹	۳۰/۲۹
۱۱	کردخیل	۱۲/۶۸	۲۱/۲۲	۴۱/۵۶
۱۲	محمود آباد	۱۳/۲۶	۱۳/۴۳	۲۲/۹
۱۳	پجیم	۹/۶	۱۰/۸۷	۴۶/۱
۱۴	پنجاب	۱۲/۵۹	۲۲/۲۳	۳۲/۷
۱۵	پروریج آباد	۱۰/۰۳	۱۳/۱۲	۲۸/۱۵
۱۶	پل سفید	۱۶/۴	۲۱/۲۲	۴۰/۲۸
۱۷	پل ذغال	۱۳/۸۹	۱۴/۱۷	۴۳/۳۱
۱۸	قراخیل	۲۸/۰۳	۲۹/۴۱	۴۱/۸
۱۹	رامسر	۱۱/۶۷	۱۲/۷۹	۴۰/۲۸
۲۰	ساری	۱۰/۸۸	۱۷/۲۵	۴۳/۰۷
۲۱	سیاه بیشه	۱۵/۰۱	۱۸/۶۹	۱۹/۲۵

مناسب انتخاب گردید. بنابراین در تحقیق حاضر جهت تحلیل خشکسالی هواشناسی از شاخص SPI استفاده شد

همبستگی را با نمایه سنجش از دوری VCI و سپس NDVI و EVI داشته است. همچنین نتایج SPI با تاخیر شش ماهه نیز نتایج مشابه با نمایه SPI سه ماهه را دارد و نیز دارای بالاترین همبستگی در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد

ارزیابی خشکسالی کشاورزی در استان مازندران با استفاده از شاخص‌های مناسب خشکسالی سنجش ازدور و هواشناسی

برای تحقق هدف مذکور پس از محاسبه شاخص‌های سنجش از دور و هواشناسی، بهترین شاخص از لحاظ عملکرد بر اساس روش توزیع نرمال (روش تعیین شاخص مناسب هواشناسی) و روش همبستگی (روش تعیین شاخص مناسب سنجش از دور (همبستگی بین شاخص هواشناسی مناسب و شاخص‌های سنجش ازدور)) انتخاب گردید. سپس از طول کل دوره آماری (۸۲-۹۵)، مرطوب‌ترین سال (۹۲) و خشک‌ترین سال (۸۹) انتخاب گردید. در مرحله بعد فصل‌های دو سال مذکور با استفاده از روش IDW پهنه‌بندی شد. در نهایت با استفاده از تطابق زمانی- مکانی دو شاخص مناسب سنجش ازدوری و هواشناسی، ارزیابی خشکسالی استان مازندران در فصل‌های مختلف صورت گرفت.

نتایج

انتخاب شاخص هواشناسی مناسب براساس روش

توزیع نرمال

براساس روش توزیع نرمال (روش استینمن) درصد اختلاف هریک از شاخص‌های خشکسالی با درصد توزیع نرمال در وضعیت‌های ۷ گانه محاسبه گردید و سپس مجموع اختلاف در هر یک از وضعیت‌های خشکسالی در هر ایستگاه محاسبه شد جدول (۲). نتایج نشان داد که مجموع اختلاف از توزیع نرمال برای شاخص SPI نسبت به

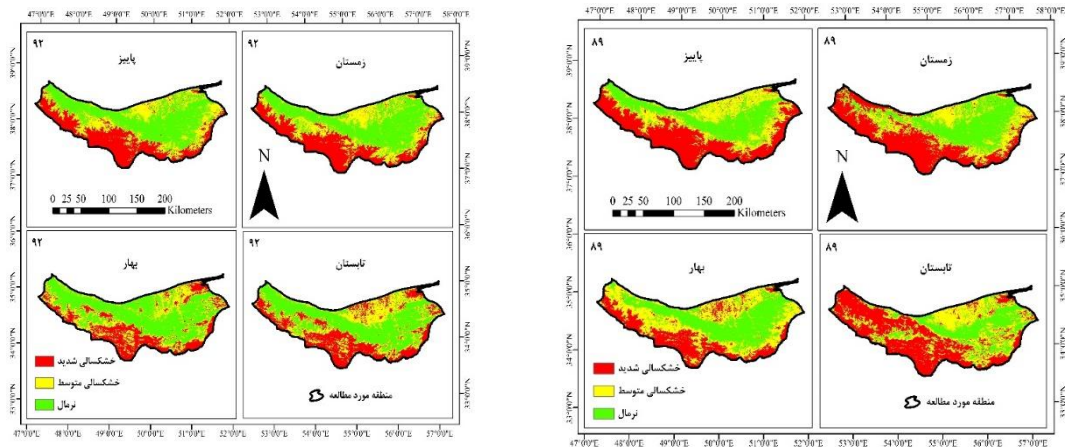
انتخاب شاخص مناسب سنجش از دوری

برای اطمینان از نتایج حاصل از نمایه‌های ماهواره‌ای و همچنین انتخاب شاخص مناسب سنجش از دوری ضرایب همبستگی بین نمایه‌های سنجش از دوری (NDVI، EVI و VCI) و نمایه هواشناسی مناسب (SPI) در مقیاس‌های زمانی مختلف (۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه) در هر ایستگاه صورت گرفت. به علت فراوانی تعداد نمایه‌های هواشناسی و سنجش از دوری فقط نتایج مربوط به سال خیلی خشک (۱۳۸۹) و سال خیلی مرطوب (۱۳۹۲) قرار داده شده است (جدول ۳). نتایج نشان داد که نمایه SPI با تاخیر ۳ ماهه بیشترین

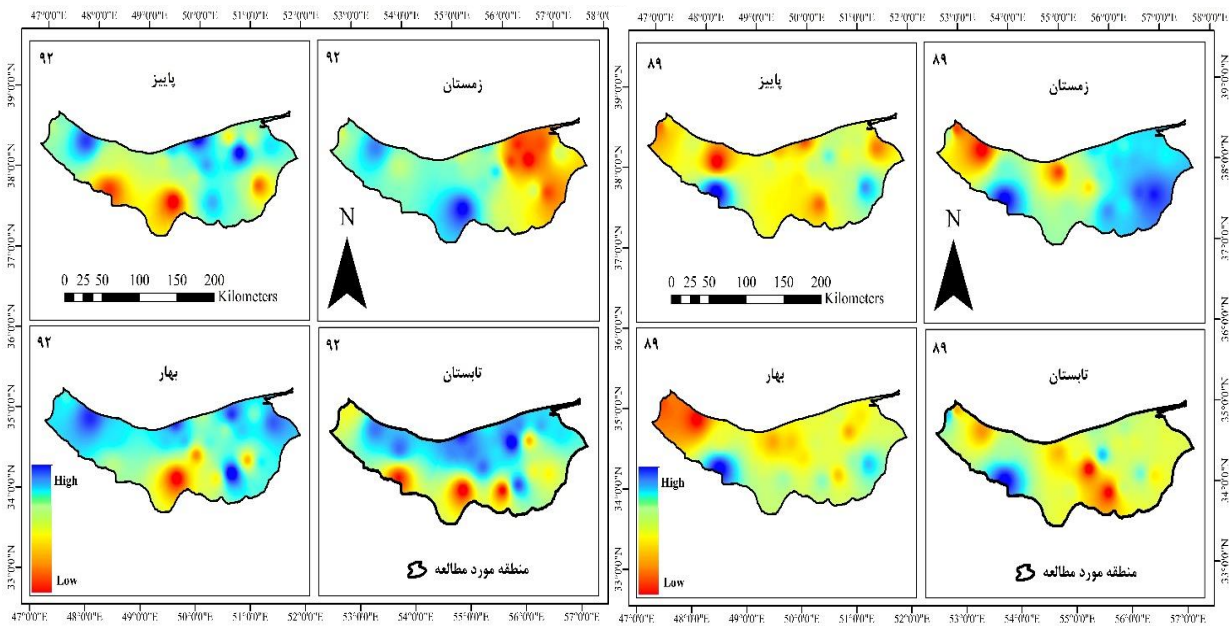
حاضر از شاخص SPI جهت شناسایی بروز خشکسالی هواشناسی، شدت، وسعت مکانی زمانی و مقایسه آن با شاخص خشکسالی کشاورزی VCI مورد استفاده قرار گرفته است. شکل (۳) الگوی مکانی-زمانی شاخص SPI برای سال خیلی مرطوب و خیلی خشک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳) تنوع مقادیر SPI در منطقه مورد مطالعه به وضوح قابل مشاهده است. این تنوع تغییرات مکانی عمدتاً به دلیل توزیع نامنظم بارش باران می‌باشد. مقدار بارش هر دو سال نسبتاً کمتر بود که می‌تواند به منطقه نیمه‌خشک آب و هوایی اطراف آن توضیح داده شود. با این حال SPI در طول سال ۸۹ نسبت به سال ۹۲ بسیار کمتر بوده است که در بسیاری از قسمت‌های منطقه مورد مطالعه قابل ملاحظه هست که نشان دهنده شرایط تنش‌آبی در طول فصل‌های نیاز آبی پوشش گیاهی می‌باشد. به رغم شیوع شرایط خشکسالی در استان مازندران در سال ۸۹، برخی از مناطق تحت تاثیر تنش آب قرار نگرفته‌اند که این مناطق دارای شرایط آب و هوای نسبتاً مرطوب می‌باشند که حتی در طول سال‌های خشک نیز وضعیت مناسبی از لحاظ خشکسالی دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از مقایسه دو شاخص VCI و SPI به طور کامل با هم تطابق و همخوانی دارد.

ارزیابی خشکسالی کشاورزی در استان مازندران با استفاده از شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و بارش استاندارد (SPI)

به منظور بررسی کمی خشکسالی از داده‌های بلند مدت شاخص VCI مشتق شده از شاخص NDVI در مطالعه حاضر استفاده گردید. جهت ارزیابی عملکرد شاخص VCI، دو سال خیلی مرطوب (۹۲) و خیلی خشک (۸۹) از بین سال‌های آماری انتخاب شدند شکل (۲). با توجه به شکل ۲ تنوع مقادیر VCI در سلامت پوشش گیاهی منطقه به وضوح قابل مشاهده است. این تنوع تغییرات مکانی عمدتاً به دلیل توزیع نامنظم بارش باران می‌باشد که در بخش جنوبی نسبت به بخش شمالی منطقه به طور قابل توجهی کمتر است. پوشش گیاهی هر دو سال نسبتاً کم می‌باشد که می‌تواند به منطقه نیمه‌خشک آب و هوایی اطراف آن توضیح داده شود. با این حال VCI در طول سال ۸۹ نسبت به سال ۹۲ بسیار کمتر بوده است که در بسیاری از قسمت‌های منطقه مورد مطالعه قابل ملاحظه هست که نشان دهنده شرایط تنش‌گیاهی در طول فصل‌های نیاز آبی پوشش گیاهی می‌باشد. به رغم شیوع شرایط خشکسالی در استان مازندران در سال ۸۹، برخی از مناطق تحت تاثیر تنش آب قرار نگرفته‌اند که این مناطق دارای شرایط آب و هوای خیلی مرطوب و نسبتاً مرطوب می‌باشند که حتی در طول سال‌های خشک نیز وضعیت مناسبی از لحاظ خشکسالی دارند. سلامت رویشی در سال ۹۲ به طور طبیعی در منطقه مورد مطالعه حاکم می‌باشد. حتی در بخشی از قسمت‌های غربی و جنوبی منطقه، به دلیل بارش کافی در سال ۹۲، نسبتاً دارای وضعیت مناسبی بودند. همچنین در مطالعه



شکل (۲): الگوی مکانی - زمانی شاخص وضعیت پوشش گیاهی سال خیلی مرطوب (۹۲) و سال خیلی خشک (۸۹)



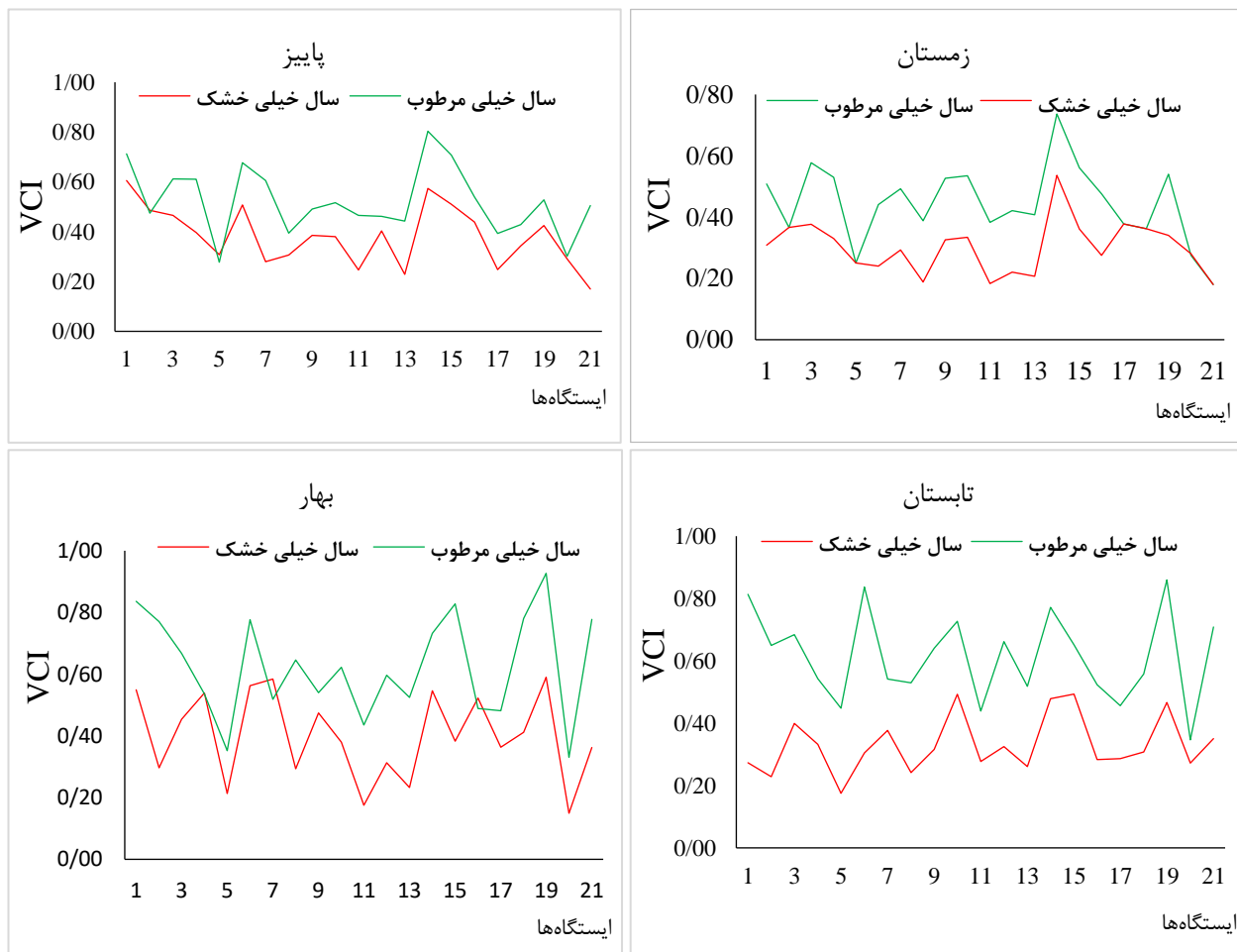
شکل (۳): الگوی مکانی - زمانی شاخص بارش استاندارد برای سال خیلی خشک (۸۹) و سال خیلی مرطوب (۹۲)

۰/۵۰ مشاهده شد. حداکثر ایستگاه‌ها دارای ارزش VCI کمتر از ۰/۳۵ بودند که نشان دهنده وجود انواع شرایط خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در حالی که حداکثر شرایط پوشش گیاهی برای فصول مختلف سال خیلی مرطوب (۹۲) بیش از حد نرمال بوده است و اکثر ایستگاه‌ها دارای ارزش VCI بیشتر از ۰/۵ بودند. همچنین با توجه به ماهیت بسیار متغیر بارندگی، مقادیر SPI برای

بررسی شاخص VCI و SPI برای تمام فصول سال‌های منتخب خیلی مرطوب و خیلی خشک (شکل ۴). میانگین VCI در تمام فصول سال خیلی خشک (۸۹) برای همه ایستگاه‌ها منطقه مورد مطالعه زیر

مرطوب و میانگین مقادیر SPI $1/31$ ، $1/59$ ، $1/82$ - و $1/37$ - به ترتیب برای فصل‌های پاییز، زمستان، بهار و تابستان در طول سال خیلی خشک برای کل ایستگاه‌های مازندران می‌باشد جدول (۴). با توجه به نتایج جدول (۴) سال خیلی خشک (۸۹) نشان دهنده شیوع شرایط متوسط تا خشکسالی خیلی زیاد در منطقه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که در طول سال خیلی مرطوب (۹۲) وضعیت خیلی مرطوب و غیر خشکسالی در منطقه مورد مطالعه حاکم می‌باشد. بنابراین نتایج پژوهش حاضر نشان دهنده تطابق شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص سنجش از دوری VCI در هر دو سال خیلی خشک و مرطوب می‌باشد.

هر دو سال خیلی مرطوب و خشک در منطقه مورد مطالعه مقایسه شد شکل (۵). مقادیر SPI در تمام فصول سال خیلی خشک (۸۹) برای همه ایستگاه‌ها منطقه مورد مطالعه نشان دهنده وجود انواع شرایط خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در حالی که مقادیر SPI برای فصول مختلف سال خیلی مرطوب (۹۲) برای اکثر ایستگاه‌ها بیش از حد نرمال بوده است. بنابراین نتایج نشان داد که شاخص SPI در سال‌های مذکور تا حدود زیادی نتایج شاخص VCI را تایید می‌کند. همچنین میانگین مقادیر SPI $1/35$ ، $1/42$ ، $1/29$ و $1/44$ به ترتیب برای فصل‌های پاییز، زمستان، بهار و تابستان در طول سال خیلی



شکل (۴): مقایسه VCI سال خیلی خشک و خیلی مرطوب در طول فصول مختلف تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران



شکل (۵): مقایسه SPI سال خیلی خشک و خیلی مرطوب در طول فصول مختلف تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران

جدول (۴): مقادیر SPI ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصول مختلف سال‌های خیلی خشک و خیلی مرطوب

ایستگاه	سال خیلی مرطوب (۹۲)			سال خیلی خشک (۸۹)		
	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	بهار
رامسر	۱/۳۱	۱/۱۲	۱/۲۹	۱/۸۳	-۱/۴۸	-۲/۴۴
جواهرده	۱/۴۹	۱/۴۶	۱/۱۵	۱/۸	-۲/۱۴	-۰/۳۴
کردخیل	۱/۸۹	۲/۲۶	۰/۶	۱/۰۹	-۱/۰۱	-۱/۰۷
اداره بهشهر	۱/۶۲	۲/۱۷	۱/۳۹	۱/۱۷	-۱/۱	-۲/۰۱
بابلسر	۰/۲۲	۱/۰۲	۱/۵۸	۱/۳۵	-۲/۲۹	-۱/۷۷
دینارسرا	۰/۵	۰/۶۴	۰/۵۸	۱/۰۴	-۱/۱۹	-۲/۸۳
پجیم	۱/۰۳	۱/۴۱	۰/۷۴	۱/۲۸	-۲/۰۶	-۱/۷۴
محمود آباد	۰/۹۱	۱/۴۴	۰/۵۹	۰/۸۳	-۱/۸۲	-۱/۹۴
دارابکلا	۰/۱۲	۲/۴۳	۱/۰۸	۲/۰۴	-۱/۳۳	-۲/۲۸
ساری	۱/۲۱	۲/۲۲	۱/۴۸	۰/۵۸	-۰/۵۵	-۱/۷۴
پل ذغال	۱/۵۹	۱/۳۶	۱/۱۶	۱/۰۲	-۲/۶۱	-۱/۸۳
چمستان	۱/۶۳	۱/۱۲	۱/۱	۱/۰۹	-۱/۱۶	-۲/۲۸
آمل	۱/۳۸	۱/۲۴	۱/۰۵	۱/۰۴	-۱/۳۳	-۲/۱۵
قراخیل	۰/۸۳	۰/۹۳	۱/۲۹	۱/۲۹	-۱/۰۱	-۱/۷
دیوا	۱/۵۵	۱/۰۸	۲/۲۹	۱/۰۲	-۱/۵۵	-۲/۰۳
پروریج آباد	۱/۴۶	۱/۴۳	۲/۱۷	۱/۸۲	-۱/۰۲	-۱/۳۸
کیاسر	۲/۳۸	۲/۱۹	۱/۲۱	۱/۸۶	۰	-۰/۸۶
سیاه بیشه	۲/۵۲	۱/۱۶	۱/۵۹	۲/۳۶	۰/۷۷	-۰/۱
پل سفید	۱/۲	۱/۵۵	۰/۲	۰/۹۳	-۱/۱۱	-۲/۱۶
پنجاب	۲/۷۵	۰/۲۳	۲/۷۵	۲/۴۷	-۱/۴۷	-۱/۴۲
آلاشت	۰/۸۷	۱/۴۶	۱/۹۴	۲/۴۱	-۲/۱۵	-۱/۳۲

تعیین روند شاخص مناسب خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های سنجش از دور

برای بررسی خشکسالی‌های رخ داده از نمایه SPI سالانه در استان مازندران با آمار و اطلاعات هواشناسی ۶ ایستگاه چمستان، کردخیل، محمود آباد، پنجاب، رامسر و سفید چاه که دارای آمار طولانی مدت هستند استفاده شد. سپس مقادیر این داده‌ها به دو دوره زمانی ۱۳۶۹-۱۳۴۷ و ۱۳۹۴-۱۳۶۹ تفکیک و آزمون مقایسه میانگین و تحلیل واریانس انجام شده است (جدول ۵). نتایج نشان داد که مقادیر بدست آمده بیشتر از ۰/۰۵ می‌باشند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از لحاظ آماری میانگین دو دوره باهم برابر بوده است. همچنین با توجه به نتایج آزمون من کندال

(جدول ۵) ایستگاه‌های مورد مطالعه و شاخص سنجش از دوری VCI، دارای روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری نمی‌باشند. بنابراین از روند خاصی پیروی نمی‌کنند. بطور کلی نتایج آزمون من کندال برای شاخص مناسب سنجش از دور و هواشناسی با یکدیگر تطابق دارد.



جدول (۵): نتایج آزمون من کندال، مقایسه میانگین و تحلیل واریانس نمایه SPI و شاخص VCI

ایستگاه	من کندال			مقایسه میانگین‌ها		تحلیل واریانس	
	P-value	MK-Stat	Sen-slope	P-value	t	P-value	آماره t
سیاه بیشه	۰/۴۴۶	-۰/۷۶۱	-۰/۰۰۸	۰/۳۰۶	۱/۰۴۱	۰/۷۲۹	۰/۷۸۱
چمستان	۰/۸۲۷	۰/۲۱۷	۰/۰۰۱	۰/۸۴۱	۰/۲۰۲	۰/۴۷۰	۱/۲۹۲
کردخیل	۰/۳۵۷	۰/۹۲۰	۰/۰۰۸	۰/۸۳۳	۰/۲۱۴	۰/۴۶۱	۲/۵۳۸
محمود آباد	۰/۳۱۵	۱/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۷۲۸	۰/۳۵۲	۰/۵۶۵	۰/۸۵۳
پنجاب	۰/۱۷۴	-۱/۳۵۷	-۰/۰۱۵	۰/۳۳۲	۰/۹۹۳	۰/۴۳۸	۲/۸۰۳
رامسر	۰/۵۹۲	-۰/۵۳۵	-۰/۰۰۵	۰/۱۸۵	۱/۳۲۵	۰/۸۲۳	۲/۶۲۴
VCI	۰/۰۶۲	-۰/۴۹۲	-۰/۰۰۲	-	-	-	-

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر تعیین حدود خشکسالی کشاورزی استان مازندران با استفاده از شاخص بهبود وضعیت پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور و ارزیابی عملکرد آن با استفاده از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی می‌باشد. شاخص‌های خشکسالی در واقع بیان‌کننده حدود طبیعی خشکسالی‌های رخ داده هستند تا امکان ارزیابی آن را در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ممکن سازند. انتخاب شاخص مناسب به منظور پایش خشکسالی، فرآیندی حساس، پیچیده و وابسته به شرایط متعدد می‌باشد. تبیین و استفاده از روش توزیع نرمال جهت انتخاب شاخص مناسب وجه تمایز تحقیق حاضر از تحقیقات مشابه است. زیرا در اکثر مطالعات خشکسالی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ به عنوان ملاک ارزیابی و انتخاب شاخص مناسب استفاده شده است و یا این که بر مبنای میزان همبستگی و عملکرد مشابه شاخص مورد بررسی با شاخص SPI ارزیابی صورت گرفته است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که بر اساس روش توزیع نرمال از مجموع شاخص‌های ارزیابی شده، شاخص SPI و ZSI با اختلاف بسیار کم، بیشترین رتبه را در سطح استان مازندران به خود اختصاص داده‌اند و عملکرد مناسب و تقریباً مشابهی دارند. همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که محدوده مقادیر شاخص EDI از سایر شاخص‌ها بسیار دور و ناهماهنگ بوده و وضعیت بسیار متفاوت‌تر و غیرمنطقی‌تری را داشته هست که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیق انصافی مقدم (۱۳۸۶) همخوانی

دارد. (Caccamo et al., 2011) نیز به این نتیجه رسیدند که از بین شاخص‌های مورد بررسی سنجش از دوری، شاخص EVI کمترین همبستگی را دارا بوده است. بنابراین شاخص مناسب خشکسالی SPI در دوره‌های کوتاه مدت سه، شش، نه ماهه و سالانه بررسی و شاخص‌های سنجش از دور براساس آن ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بیشترین همبستگی بین شاخص سنجش از دوری VCI با شاخص مناسب خشکسالی هواشناسی SPI در مقیاس‌های زمانی ۳ و ۶ ماهه می‌باشد. پوشش گیاهی و به تبع آن، شاخص‌های گیاهی همواره با یک تاخیر زمانی از بارندگی تاثیر می‌پذیرد که این تاخیر زمانی بسته به اقلیم منطقه، وضعیت خاک و نوع پوشش گیاهی می‌تواند از مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت (یک ماهه) تا بلند مدت (۱۲ ماه و حتی بیشتر) تغییر نماید (Li et al., 2010). Lotsch et al. (2003) نیز همبستگی میان SPI و NDVI را بررسی کردند و استفاده از SPI6 را توصیه کردند. همچنین نتایج نشان داد که ایستگاه‌های مناطق مرطوب که شامل مناطق پوشش گیاهی انبوه و جنگل است همبستگی مناسبی بین نمایه‌های هواشناسی و طیفی وجود ندارد و در بیشتر موارد این نمایه‌ها رابطه عکس با یکدیگر دارند. در اقلیم‌های مرطوب، نیمه‌مرطوب و مدیترانه‌ای همبستگی بالایی بین داده‌های SPI3 و SPI6 وجود دارد. همچنین با توجه به نتایج آزمون من کندال سال‌های آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه، دارای روند کاهشی یا افزایشی معنی داری نبوده است. بنابراین می‌توان گفت که نمایه‌های خشکسالی از

است. که می‌تواند تاثیر قابل توجه در افزایش شدت خشکسالی در استان باشد. علاوه بر این، جنگل‌زدایی و تغییر در الگوی بارندگی می‌تواند به عنوان یک نیروی محرکه خشکسالی در نظر گرفته شود. بنابراین، اکیدا توصیه می‌شود که محققان در آینده به چنین مطالعاتی توجه بیشتر داشته باشند. نتایج حاصل از تطابق نشان داد که شاخص VCI برای بررسی شروع، تداوم و گسترش زمانی- مکانی خشکسالی کشاورزی توانایی لازم را دارد. در پژوهش رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)، شاخص VCI به عنوان یک روش مناسب در برآورد خشکسالی تعیین شده است. همچنین در مطالعات شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) و جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روش بسیار مناسبی جهت تحلیل خشکسالی در مناطق مختلف کشور ایران می‌باشد. بر خلاف داده‌های نقطه‌ای هواشناسی با پراکنش نامنظم، شاخص VCI مبتنی بر سنجش از دور می‌تواند با دقت زیاد برای مشخص کردن توزیع زمانی و مکانی خشکسالی کشاورزی استفاده شود. لازم به ذکر است که نتایج تحقیق حاضر ضرورت استفاده از تکنولوژی سنجش از دور را در تجزیه و تحلیل خشکسالی به خوبی مشخص کرد. به طوریکه نتایج پژوهش حاضر نشان از اهمیت استفاده از تصاویر سنجش از دور با قدرت زمانی و مکانی مناسب در مکانیابی و حتی زمان‌یابی (زمان سال) خشکسالی را به خوبی مشخص کرد.

روند خاصی پیروی نمی‌کنند و تغییرات در این نمایه‌ها و وقوع سال‌های ترسالی و خشکسالی را می‌توان مربوط به نوسانات اقلیمی دانست. که نتایج پژوهش حاضر با نتایج جهانبخش و همکاران (۱۳۹۰) که به بررسی مقادیر بارندگی سالانه در مازندران پرداختند مطابقت دارد. نتایج آنها حاکی از آن بود که روند معناداری در این داده‌ها نبوده و همچنین با محاسبه شاخص خشکی دومارتن به این نتیجه رسیدند که این نمایه دارای یک روند کاهشی ملایم در استان مازندران بوده است، که تاکنون منجر به تغییر اقلیم نشده است ولی در صورت عدم کنترل عوامل موثر بر این روند، امکان وقوع پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آینده در منطقه وجود دارد. یکی از اهداف اصلی مطالعه حاضر بررسی خطر خشکسالی هواشناسی و کشاورزی در سطح منطقه مورد مطالعه می‌باشد. دلیل این امر آن هست که اطلاعات مربوط به سطح منطقه، زمینه‌ای اساسی در برنامه‌ریزی مدیریت حوادث و تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. هنگام در نظر گرفتن خشکسالی کشاورزی، برنامه‌ریزی محصولات می‌تواند به طور موثر و پایدار برای مناطق مستعد خشکسالی شناسایی شده، انجام شود. این کار را می‌توان با معرفی محصولات مقاوم به خشکی، تغییر الگوی محصول، ایجاد تغییرات جزئی در طول فصل رشد و ... انجام داد تا کشاورزی پایدار ادامه یابد. پوشش جنگلی استان مازندران طی چند دهه گذشته به طور قابل توجهی کاهش یافته

تشکر و قدردانی

به این وسیله از حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در قالب طرح تحقیقاتی با کد ۰۴-۱۳۹۶-۰۵ تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- جهان بخش اصل، س.، تدینی، م.، نوری، ح.، ۱۳۹۰. تحلیل روند تغییرات بارش‌های سالانه حوضه سفید رود با استفاده از روش ناپارامتری من‌کندال، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره هفدهم، پاییز و زمستان.
- رضایی مقدم، م. ح.، ولیزاده، ک. م.، رستمزاده، ه.، رضایی، ع.، ۱۳۹۱. ارزیابی کارایی داده‌های سنجنده مادیس در برآورد خشکسالی (مطالعه موردی: حوزه آبریز دریاچه ارومیه). مجله جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳، ۱۶-۱ص.
- رضایی‌بنفشه، م.، رضایی، ع.، فریدپور، م.، ۱۳۹۴. تحلیل خشکسالی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۱۲۳-۱۱۳.

شمسی پور، ع.، علوی پناه، ک.، محمدی، ح.، ۱۳۸۹. بررسی کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی ماهواره NOAA-AVHRR در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۳، ص ۴۴۵-۴۴۵.

کریمی، ب.، لیاقت، ع.، پارسی‌نژاد، م.، اوسطی، خ.، ۱۳۸۶. ارزیابی چند نمایه خشکسالی هواشناسی در ایستگاههای استان مازندران و گلستان. چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز، کرج، دانشکده منابع طبیعی تهران.

کریمی، م.، شاهدی، ک.، خسروی، خ.، ۱۳۹۵. بررسی خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی در حوزه آبخیز قره‌سو. مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲ (۱)، ۱۵۹-۱۷۰.

محمودی کهن، ف.، اسماعیلی، ع.، هانی، م.، ۱۳۹۰. مطالعه نقش بارندگی در وقوع خشکسالی در مناطق خشکسالی در مناطق خشک با استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجش از دور (مطالعه موردی: رفسنجان). همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۲۵ تا ۲۸ اردیبهشت، تهران.

مصطفی زاده، ر.، ذبیحی، م.، ۱۳۹۵. تحلیل و مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در ارزیابی خشکسالی هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار R (بررسی موردی: استان کردستان). مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲ (۳)، ۶۳۳-۶۳۴.

Afzal, M., Ragab, R., 2019. Drought risk under climate and land use changes: implication to water resource availability at catchment scale. *Water*, 11(9), 1790.

Ajaz, A., Taghvaeian, S., Khand, K., Gowda P. H., Moorhead J. E., 2019. Development and evaluation of an agricultural drought index by harnessing soil moisture and weather data. *Water*, 11(7), 1375.

Bayarjargal, Y., Adyasuren T., Munkhtuya, S., 2000. Drought and vegetation monitoring in the arid and semi-arid regions of the Mongolia using remote sensing and ground data. In *Proceedings of 21st Asian Conference on Remote Sensing, Taipei, Taiwan (Vol. 1, pp. 372-377)*.

Belayneh, A., Adamowski J., Khalil B., Ozga-Zielinski, B., 2014. Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models. *Journal of Hydrology*, 508, 418-429.

Byun, H.R., Wilhite, D.A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, 12(9), pp.2747-2756.

Caccamo, G., Chisholm L.A., Bradstock R. A., Puotinen, M.L., 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 115(10), 2626-2639.

Chen, X.U., Shi-Xiao Y.U., Zhang Y.P., 2009. Evaluation of Spatiotemporal Dynamics of Simulated Land Use/Cover in China Using a Probabilistic Cellular Automata-Markov Model, *Journal of Pedosphere*, 23: 243-255.

Gibbs, W. J., Maher, J. V., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. bureau of meteorology bulletin no. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne, 29.

Gouveia, C.M., Trigo R.M., Beguería S., Vicente-Serrano, S.M., 2016. Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: an assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. *Global and Planetary Change*.

Hashim, M., Reba, N.M., Nadzri, M.I., Pour, A.B., Mahmud M.R., Mohd Yusoff A.R., Hossain, M.S., 2016. Satellite-based run-off model for monitoring drought in Peninsular Malaysia. *Remote Sensing*, 8(8), 633.

Heim Jr, R. R. 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8), 1149-1165.

Kendall, M.G., Stuart, A., 1977. *The advanced theory of statistics*, Charles Griffin & Co. Ltd.(London), 83, 62013,



- Kogan, F. N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data, *bull. Am. Meteorol. Soc.* 76, Pp. 655– 668.
- Kumar, D., Shekhar, S., 2015. Statistical analysis of land surface temperature–vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 39-44.
- Li, Z., Li, X., Wei, D., Xu, X., Wang, H., 2010. An assessment of correlation on MODIS-NAVI and EVI with natural vegetation in Northern Hebei province. *China Procedia Environmental Sciences*, 2, 964-969 pp.
- Lotsch, A., Friedl M.A., Anderson, B.T., 2003. Coupled vegetation- precipitation variability observed from satellite and climate records, *Geophysical Research Letters*, Vol 30, Issue 1.
- 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* (Vol. 17, No. 22, pp. 179-183).
- Palmer, W. C. 1965. *Meteorological drought* (Vol. 30). US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Peng, J., Loew A., Merlin, O., Verhoest, N.E., 2017. A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Geophysics*, 55(2), 341-366.
- Poonia, S., Rao, A.S., 2012. Analysis of meteorological drought at arid Rajasthan using Standardized Precipitation Index. 92nd American Meteorol. Soc. Annual Meeting (January 22–26).
- Quiring, S. M., Ganesh, S., 2010. Evaluating the utility of the Vegetation Condition Index (VCI) for monitoring meteorological drought in Texas. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(3), 330-339.
- Robock, A., Vinnikov, K.Y., Srinivasan, G., Entin, J.K., Hollinger, S.E., Speranskaya, N.A., Namkhai, A., 2000. The global soil moisture data bank. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81(6), 1281-1300.
- Seiler, R. A., Kogan, F., Wei, G., 2000. Monitoring weather impact and crop yield from NOAA AVHRR data in Argentina. *Advances in Space Research*, 26(7), 1177-1185.
- Tang, Q., Oki, T., 2016. *Terrestrial water cycle and climate change: Natural and human-induced impacts* (Vol. 221). John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, p. 221.
- Tapley, B.D., Bettadpur, S., Ries, J.C., Thompson, P.F., Watkins, M.M., 2004. GRACE measurements of mass variability in the Earth system. *Science*, 305(5683), 503-505.
- Wang, J., Price, K. P., Rich, P.M., 2001. Spatial patterns of NDVI in response to precipitation and temperature in the central Great Plains. *International journal of remote sensing*, 22(18), 3827-3844.
- Wilhite, D. A., 2000. Drought as a natural hazard. In Wilhite, D. A. (Editor), *Drought: A global assessment*, 1. Routledge, London, P:1- 18.
- Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., Hu, Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International journal of climatology*, 21(6), 745-758.



Analyzing Agricultural Drought in Mazandaran Province Using Remote Sensing and Meteorological Indicators

Kaka. Shahedi^{1*}, Sajad. Rouzbeh Koshahi²

Abstract

Agricultural drought has become a major concern worldwide due to the severe impact on crops and the indirect impact on occupation as well as per capita income. The use of reflective remote sensing techniques to evaluate the effects of drought is recognized as one of the most efficient methods. Therefore, the purpose of the present study is to analyze agricultural drought in Mazandaran province using Remote sensing and meteorological indicators. At the first, SPI, ZSI and EDI indices were calculated at different time scales and the best index was selected based on the normal distribution method. Then, using Landsat 5, 7 and 8 satellite images, NDVI, EVI and VCI remote sensing indices were extracted and the best index was selected based on the highest correlation with appropriate drought index. Finally, using the best meteorological and remote sensing indices, the agricultural drought in Mazandaran province was evaluated in two very dry (89) and very wet (92) years for different seasons. The results showed that based on the normal distribution method, the sum of the difference from normal distribution for the SPI index is lower than the other indices. The results also showed that the highest correlation was observed between VCI spectral index and SPI meteorological index with time delay of three and six months. The results also showed that the mean VCI in all seasons of very dry year (89) for all stations was below 0.50 and maximum stations had a VCI value of less than 0.35 but in all seasons of very wet year (92) for most stations is above 0.5.

Keywords: Drought, Landsat Satellite Series, Normal Distribution Method, VCI Index.

^{1*} (corresponding author) Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (k.shahedi@sanru.ac.ir)

² Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran