



Research Paper

## Investigating the Relationship Between Topography and Drought in Southwestern Iran Using Remote Sensing

Saeed Negahban<sup>a\*</sup>, Marzieh Mokarram<sup>a</sup>

<sup>a</sup>. Department of Geography, Faculty of Economics, Management and Social Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

### Extended Abstract

#### Introduction

Human beings have faced one of the most important problems in recent years: the water crisis and the occurrence of drought. Due to this, it is important to study the drought situation when managing water resources. In any climate, drought is caused by a lack of rainfall. However, unfortunately, defining drought and how it relates to hydrological phenomena is very difficult. First of all, drought may not affect all components of the hydrological system simultaneously. The second point is that drought does not refer to an absolute lack of moisture, but to a relative one. As a result of climate change and reduced rainfall and increased evapotranspiration in recent years, drought has become a major problem in the world, in general in arid and semi-arid regions such as Iran. Therefore, drought monitoring and management are essential. Most traditional methods rely on observations from meteorological stations and emphasize droughts. However, researchers and experts have considered the use of remote sensing techniques and satellite images as a useful tool for spatial and temporal monitoring of agricultural drought. A variety of meteorological and remote sensing indicators influence the study of droughts. Standard Index-Evapotranspiration Index (SPEI) and RDI Drought Index are two such methods.

Due to the importance of the topic of this study, the study examined drought status in the study area using remote sensing indicators (EVI, NDVI), drought prediction using Markov and Kumarkov chains, and the connection between them and drought conditions.

#### Materials and methods

##### EVI index

Hewitt and Liu introduced the EVI in 1994. As defined below, improved vegetation indices minimize atmospheric effects and differences in blue and red reflections.

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{L + NIR + C_1 RED - C_2 BLUE}$$

(1)

NIR, RED, Blue are amount of reflections in the blue, red and infrared bands. L is the aerosol penetration coefficient and soil separation parameter which was considered equal to 1 in this

\* . Corresponding author (snegahban@ut.ac.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.341706.1007692>

Received: 26 June 2022; Received in revised form: 1 September 2022; Accepted: 27 October 2022

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

equation. The coefficients  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $G$  were considered equal to 6, 7.5, 2.5, respectively.

NDVI index

Normalized difference vegetation index (NDVI) is an indirect measure of photosynthetic activity. The range of this index is -1 for the minimum and +1 for the maximum amount of photosynthetic activity. NDVI is defined as follows (Tucker et al., 2010):

$$NDVI = \frac{P_{near} - P_{red}}{P_{near} + P_{red}} \quad (2)$$

$P_{near}$  and  $P_{red}$  are the reflectance values of the near infrared and red wavelengths, respectively, for pixel  $i$  during the months  $j$  and year  $k$ , respectively.

### Results and Discussion

According to the results, southern regions have lower values for all vegetation indices, which indicates a lack of vegetation in these regions and the existence of drought. There is no drought in the northern areas and parts of the east of the region. Also, the results show that the region often falls into the middle class of drought based on EVI and NDVI indices. The results indicate that in 2000, 96% and 78% of the region were in the middle classes of drought, and in 2020, 98% and 93% of the region were in the middle classes of drought.

The results for the EVI index showed that 47% class 1 to class 3, 20% class 2 to class 4, 12% class 4 to class 5, 29% class 5 to class 6, 27% class 6 to class 7, 21% class 7 to Class 8, 14% to Class 8 to Class 9, and about 8% to Class 9 to Class 10, indicating an increase in drought in the area. NDVI index 49% Class 1 to Class 7, 32% Class 4 to Class 5, 19, Class 5 to Class 6, 14, Class 6 to Class 7, 11% Class 7 to Class 8 and 27% Class 8 to Class 9 has done.

### Conclusion

Then, in order to extract the landform map of the study area, the topographic position index (TPI) was used. The results showed that high areas such as ridges and hills, near zero codes indicate flat areas or areas with low slope changes and negative codes indicate low areas such as valleys and waterways. The results showed that the highest landform in the middle drainage and plain area (about 14) percent and the lowest area is related to narrow valleys (about 1 percent). The results showed that the NDVI and EVI index in low altitude areas is lower (dry condition) and the index in high altitude areas is the highest (wet condition). Thus, the topographic situation can be used to predict the drought situation.

**Keywords:** Drought, Remote Sensing, Landform, Markov Chain, The western half of Fars province.

## بررسی ارتباط بین وضعیت توپوگرافی و خشک‌سالی در غرب استان فارس با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور

سعید نگهبان<sup>۱</sup> - دانشیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز

مرضیه مکرّم - دانشیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز

### چکیده

شاخص پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین ابزارهای سنجش‌ازدور جهت بررسی خشک‌سالی در مقایسه‌های دوره‌ای می‌باشد. توپوگرافی سطح زمین (لند فرم‌ها) همواره ویژگی‌های پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و تحت تأثیر آن کمربندهای درختی شکل می‌گیرد. این پژوهش سعی دارد که خشک‌سالی‌های غرب استان فارس را با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی سنجش‌ازدور و در ارتباط با ویژگی‌های توپوگرافی منطقه برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ بررسی کند. برای این منظور بعد از تهیه نقشه‌های هر یک از شاخص‌های خشک‌سالی، با استفاده از روش زنجیره مارکوف و کومارکوف وضعیت خشک‌سالی در سال‌های آینده در منطقه مورد مطالعه تعیین و با استفاده از روش TPI (شاخص موقعیت توپوگرافی)، وضعیت لند فرم‌های منطقه تعیین شد. در نهایت ارتباط بین وضعیت خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه و لند فرم‌ها بررسی شد. نتایج نشان داد که در توزیع خشک‌سالی در همه شاخص‌ها در سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۹۶ و ۷۸ درصد منطقه، در سال ۲۰۱۰ در حدود ۸۱ و ۹۷ درصد و در سال ۲۰۲۰ ۹۳ و ۹۷ درصد منطقه در کلاس‌های خشک‌سالی متوسط قرار گرفته است. نتایج حاصل از زنجیره مارکوف و کومارکوف برای پیش‌بینی مکانی شاخص‌های خشک‌سالی نشان داد که روند تغییرات به سمت مقادیر کمتر این شاخص‌ها و خشک‌سالی بیشتر می‌باشد. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۴۰ در حدود ۷۰ درصد و ۲۰ درصد از منطقه در کلاس‌های با خشک‌سالی زیاد قرار خواهند گرفت. وضعیت لند فرم‌های منطقه نشان داد که ۱۰ نوع لند فرم در منطقه وجود دارد که شامل لند فرم‌های آبراهه‌ها، زهکش‌های شیب میانی و دره‌های کم‌عمق، زهکش‌های مناطق مرتفع، دره‌های U شکل، دشت، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، یال‌های موضعی، یال‌های شیب میانی، قله کوه و یال‌های مرتفع می‌باشد. ارتباط بین وضعیت خشک‌سالی و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه نشان داد، در قسمت‌های جنوبی منطقه که از نظر وضعیت توپوگرافی دارای شیب و ارتفاع کمتری بوده و کوهستان‌های کمتری مستقر هستند، دارای پتانسیل بیشتری برای خشک‌سالی بوده و ممکن است در آینده با چالش‌های بیشتری مواجه شوند، اما کوهستان‌های منطقه به دلیل دمای مناسب و دریافت بارش بیشتر، خطر خشک‌سالی برای آن‌ها کمتر است.

**واژگان کلیدی:** خشک‌سالی، سنجش‌ازدور، روش TPI، لند فرم، زنجیره مارکوف و کومارکوف، نیمه غربی استان فارس.

## مقدمه

خشک‌سالی از جمله مهم‌ترین مخاطرات طبیعی و محیطی است که در طول زمان‌های مختلف، اکوسیستم‌های طبیعی و انسانی کره زمین را تحت تأثیر قرار داده است. این پدیده در عصر حاضر به‌عنوان یک معضل بزرگ در جهان و به‌طور کلی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران شناخته‌شده است (شرافتی و همکاران، ۲۰۲۰: ۲۱۴). بدین‌جهت پایش و مدیریت خشک‌سالی امری ضروری می‌باشد به‌طوری‌که استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و تصاویر ماهواره ای به‌عنوان یک ابزار مفید جهت پایش مکانی و زمانی خشک‌سالی کشاورزی موردتوجه محققین و متخصصین واقع‌شده است (جیائو و همکاران، ۲۰۲۱: ۵۴۷). خشک‌سالی جزئی از ویژگی‌های سیستم آب‌وهواست که بدون هیچ‌اخطار و بدون توجه به مرزهای جغرافیایی و یا تفاوت‌های اقتصادی و سیاسی هر سال رخ می‌دهد. از این‌رو می‌توان سه تعریف جداگانه از دیدگاه‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژی در رابطه با خشک‌سالی ارائه نمود (دین و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۶۴).

از گذشته تا به حال خشک‌سالی‌های متعددی رخ داده است که تولیدات کشاورزی را کاهش داده است و منجر به تأثیرات اقتصادی-اجتماعی عمیقی شده است. مطالعات نشان می‌دهد که خشک‌سالی نسبت به دیگر مخاطرات طبیعی، اثرات مخرب بیشتری دارد، زیرا به‌طور مستقیم بر روی امنیت غذایی تأثیرگذار است (ژو و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۸). بخشی از مطالعات خشک‌سالی از طریق شاخص‌های مختلف هواشناسی و سنجش‌ازدور شکل می‌گیرد (کدیزور و کاوازکی، ۲۰۱۷: ۳۵۷). برخی از شاخص‌ها برای تخمین تبخیر و تعرق از داده‌های دما استفاده می‌کنند و این اطلاعات را با داده‌های بارندگی ترکیب می‌کنند و روشی را تولید می‌کنند که هم مؤلفه‌های خشک‌سالی هواشناسی و هم کشاورزی را شامل شود (الی و همکاران، ۲۰۲۱: ۸۱۶؛ پی و همکاران، ۲۰۲۱: ۶۲۴). از جمله این روش‌ها می‌توان به شاخص استاندارد-تبخیر-تعرق استاندارد (SPEI) (سرانو و بگوئرا، ۲۰۱۶: ۱۴۹) و شاخص خشک‌سالی RDI اشاره کرد (تساکرس و وانگلیس، ۲۰۰۵: ۲۱۷).

ویژگی‌های توپوگرافی زمین در هر منطقه‌ای، بر روی ویژگی‌های آب و هوایی و خشک‌سالی تأثیرگذار است بدین‌صورت که مناطق کوهستانی همواره از بارش بیشتر و دمای کمتری برخوردار بوده در نتیجه خطر خشک‌سالی آن‌ها نسبت به مناطق دشتی کمتر است. قرمز چشمه و همکاران (۱۳۹۱) نقش توپوگرافی در بارش‌های سالانه و تأثیر آن بر روی خشک‌سالی در جنوب شرق خوزستان را موردبررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ارتباط زیادی بین خشک‌سالی و وضعیت توپوگرافی در این مناطق وجود دارد. به‌طوری‌که ارتفاعات کمتر تحت تأثیر دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی هواشناسی قرار می‌گیرند. بنابراین با استفاده از برخی شاخص‌های توپوگرافی مانند شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) (Ghasemi et al., 2021; Mokarram & Sathyamoorthy, 2016) می‌توان وضعیت لندفرم‌ها را مشخص و ارتباط آن را با وضعیت خشک‌سالی در منطقه بررسی نمود. بنابراین با توجه به مطالعات مشخص می‌شود که یکی از خطرات خشک‌سالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود آب و در پی آن کاهش پوشش گیاهی و عملکرد در منطقه می‌باشد.

در رابطه با تأثیر ویژگی‌های توپوگرافی و ناهمواری‌ها بر ویژگی‌های اقلیمی پژوهش‌های مختلفی انجام شده است که در این میان می‌توان به پژوهش صوفی و علیجانی (۱۳۹۱) تحت عنوان تغییر اقلیم در ناهمواری‌های زاگرس اشاره کرد که در این پژوهش ویژگی‌های اقلیمی زارس تحت تأثیر توپوگرافی را بررسی کرده‌اند و چنین نتیجه گرفته‌اند که ناهمواری‌ها تأثیر بسیار زیاد بر ویژگی‌های اقلیمی منطقه دارد. مجرد و مرادی فر (۱۳۸۲) در پژوهشی به بررسی مدل‌سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس پرداختند و چنین نتیجه گرفتند که در ناحیه رو به باد، با افزایش ارتفاع، میزان بارش کاهش می‌یابد و همچنین افزایش طول و عرض جغرافیایی، در غالب دوره‌های زمانی باعث کاهش بارش می‌شود.

مناطق جنوبی ایران به علت موقعیت خاص جغرافیایی و توپوگرافی، از میزان بارش سالانه کمتری برخوردار هستند، نوسانات شدید بارندگی در مقیاس‌های روزانه، فصلی و سالانه موجب بروز عدم اطمینان کافی نسبت به دریافت حداقل بارش موردنیاز مصارف کشاورزی، جریان‌های سطحی و سفره آب‌های زیرزمینی و همچنین نیازهای انسانی می‌شود (مکرم و همکاران، ۲۰۲۱). استان فارس به‌عنوان یکی از پهناورترین استان‌های کشور در طول چند دهه اخیر از مشکل خشک‌سالی رنج می‌برد و همه‌ساله خسارات زیاد و جبران‌ناپذیری به اکوسیستم‌های طبیعی و حتی انسانی آن وارد می‌آید. هرچند این استان از نظر توپوگرافی بخش وسیعی از زاگرس را در خود جای داده ولی بازمهم بسیاری از قسمت‌های استان در معرض خشک‌سالی می‌باشند. وجود کوهستان‌های زاگرس در استان فارس باعث گردیده که قسمتی از مخاطرات خشکی و خشک‌سالی کمتر شود ولی شدت خشک‌سالی به قدری است که کوهستان‌ها هم‌توان مقاومت ندارند و چشمه‌های کوهستانی استان همه‌ساله کم آب‌تر می‌شوند. با توجه به اهمیت موضوع هدف از این بررسی وضعیت خشک‌سالی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های سنجش‌ازدور (EVI, NDVI)، پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از زنجیره مارکوف و کومارکوف و استفاده از TPI برای تعیین لندفرم‌ها و تعیین ارتباط بین آن‌ها و وضعیت خشک‌سالی می‌باشد.

### روش پژوهش

در این پژوهش، ابتدا شاخص‌های خشک‌سالی سنجش‌ازدور با استفاده از روش‌های مربوطه (EVI و NDVI) بررسی شد، در مرحله بعد به پیش‌بینی خشک‌سالی پرداخته شد که برای این کار از زنجیره مارکوف و کومارکوف استفاده گردید، سپس با استفاده از روش TPI لند فرم‌های منطقه طبقه‌بندی گردید و در نهایت ارتباط بین ویژگی‌های توپوگرافی و پدیده خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه تبیین شد. در ادامه به ارائه خلاصه‌ای از مدل‌های و روش‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود.

#### شاخص‌های خشک‌سالی سنجش‌ازدور

##### شاخص EVI

شاخص پوشش گیاهی EVI از نسبت ترکیب باندهای داده‌های مودیس به دست می‌آید (Tanda, 2021). این شاخص در مناطقی که ریزگرد زیادی دارند، نتایج قابل‌قبولی ارائه می‌دهد. این شاخص طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$EVI = G \frac{NIR - RED}{L + NIR + C_1 RED - C_2 BLUE} \quad (1)$$

که NIR, RED, Blue میزان انعکاسات در باندهای آبی، قرمز و مادون قرمز نزدیک می‌باشد. L ضریب نفوذ آتروسول و پارامتر جداسازی خاک می‌باشد که در این معادله برابر با ۱ در نظر گرفته شد (Vali et al., 2020). ضرایب C1, C2, G به ترتیب برابر با 2,5, 7,5, 6 در نظر گرفته شد.

##### شاخص NDVI

پوشش گیاهی سبز و سالم، تشعشع خورشیدی را در طیف مرئی (باند ۱) در مقایسه با مادون قرمز نزدیک (باند 2) بسیار کم منعکس می‌کند. بنابراین وقتی پوشش گیاهی دارای تنش (کم‌آبی) است مقادیر باند ۱ ممکن است به‌طور معناداری افزایش و مقادیر باند ۲ کاهش یابد. از این‌رو شاخص NDVI برای بررسی وضعیت خشک‌سالی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که طبقه معادله ۲ محاسبه می‌شود (Tucker et al., 2010).

$$NDVI = \frac{P_{near} - P_{red}}{P_{near} + P_{red}} \quad (2)$$

که NIRijk و Rijk به ترتیب مقادیر بازتاب در طول موج‌های مادون قرمز نزدیک و قرمز، به ترتیب برای پیکسل  $i$  در طول ماه  $z$  و سال  $k$  است.

طبقات خشک‌سالی برای هر یک از شاخص‌های خشک‌سالی سنجش‌ازدور در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است با افزایش مقادیر شاخص NDVI و EVI (بیشتر از ۰/۶)، مقادیر پوشش گیاهی افزایش و خشک‌سالی در طبقه بدون خشک‌سالی قرار می‌گیرد. بالعکس با کاهش مقادیر این شاخص‌ها (کمتر از ۰/۱) خشک‌سالی در وضعیت شدید و پوشش گیاهی در وضعیت کم قرار می‌گیرد (Xie and Fan, 2021).

جدول ۱. طبقات خشک‌سالی برای هر یک از شاخص‌های خشک‌سالی (Mokarram et al., 2017b)

مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی NDVI و EVI	وضعیت خشک‌سالی	وضعیت پوشش گیاهی
< ۰,۰۵	خشک‌سالی خیلی شدید	فاقد پوشش گیاهی
۰,۰۵-۰,۱	خشک‌سالی شدید	پوشش گیاهی کم
۰,۱-۰,۶	خشک‌سالی متوسط	پوشش گیاهی متوسط
۰,۶-۱	بدون خشک‌سالی	پوشش گیاهی زیاد

### زنجیره مارکوف و کومارکوف برای پیش‌بینی خشک‌سالی

زنجیره مارکوف مدلی است که احتمال تغییر از یک حالت در زمان  $t_1$  به حالت دیگر در زمان  $t_2$  را با استفاده از ماتریس انتقال بیان می‌کند. ویژگی اصلی این روش این است که حالت بعدی به حالت فعلی وابسته است و به حالت‌های پیشین و همسایه‌ها وابسته نیست (Chung, 1960). این روش با استفاده از ماتریس انتقال پیش‌بینی برای هدف موردنظر انجام می‌شود. عناصر این ماتریس احتمال تغییر از هر کاربری به کاربری دیگر را دنبال می‌کند (Rabiner and Juang, 1986). برای این منظور می‌توان از روش ca-markov استفاده نمود. یکی از ورودی‌های این روش نتایج حاصل از روش مارکوف (ماتریس انتقال) است. زنجیره مارکوف طبق معادله ۳ و ۴ که از سه ماتریس تشکیل شده به دست می‌آید (Chung, 1960). در این معادله MLC ماتریس انتقال و  $M_t$  و  $M_{t+1}$  تعداد پیکسل هر طبقه خشک‌سالی در دو زمان  $t$  و  $t+1$  است.

$$(۳) M_{LC} \times M_t = M_{t+1}$$

$$(۴) \begin{bmatrix} LC_{AA} & LC_{AB} & LC_{AP} & LC_{AO} \\ LC_{BA} & LC_{BB} & LC_{BP} & LC_{BO} \\ LC_{PA} & LC_{PB} & LC_{PP} & LC_{PO} \\ LC_{OA} & LC_{OB} & LC_{OP} & LC_{OO} \end{bmatrix}$$

که A, B, P, T نشان‌دهنده طبقات مختلف خشک‌سالی در زمان  $t$  هستند.

به‌منظور بررسی و پیش‌بینی وضعیت خشک‌سالی بعد از تهیه ماتریس زنجیره مارکوف از CA-Markov برای توسعه یک فاکتور وزندهی-مجاورت مکانی برای تغییر وضعیت سلول‌ها بر اساس وضعیت همسایه‌اش استفاده می‌شود. مدل CA-Markov یک سیستم دینامیک و گسسته در مکان و زمان است که بر روی یک شبکه منظم از سلول‌ها عمل می‌کند و همچنین تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی را به‌طور مکانی مورد بررسی قرار می‌دهد (Sang et al., 2011). در این تحقیق از تصاویر طبقه‌بندی شده مهم‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۲۰، به‌عنوان نقشه‌های پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت استفاده شد.

طبقه‌بندی لندفرم‌ها به روش TPI

برای جداسازی لند فرم‌های منطقه از روش TPI یا شاخص موقعیت توپوگرافی استفاده شد. TPI طبق معادله زیر مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌ها همسایه می‌باشد. در نهایت ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (معادله ۵) (Mokarrama and Hojati, 2018).

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n-1} Z_n / n \quad (5)$$

که  $Z_0$  ارتفاع نقطه مدل تحت ارزیابی،  $Z_n$  ارتفاع از شبکه،  $n$  = تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی است

مقادیر مثبت TPI نشان‌دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته (تپه‌ها) و مقادیر منفی TPI نشان‌دهنده مناطقی است که پایین‌تر از اطرافشان هستند (دره‌ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان‌دهنده مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت هستند. طبق جدول ۲ لند فرم‌ها بر اساس مقادیر TPI در ۱۰ کلاس طبقه‌بندی می‌شوند.

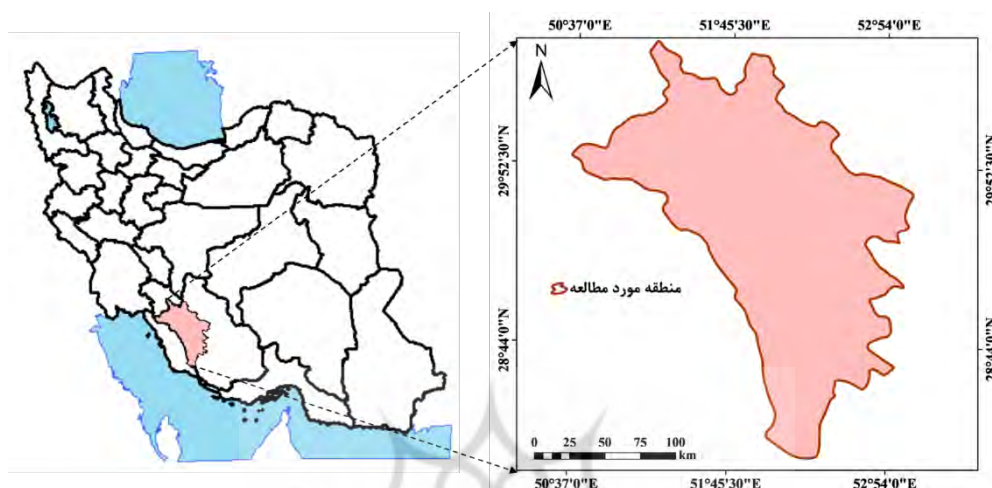
جدول ۲. طبقه‌بندی انواع لند فرم‌ها بر اساس شاخص موقعیت توپوگرافی (Mokarrama & Hojati, 2018)

شماره کلاس	نوع لند فرم	مقادیر TPI
۱	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	Small Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$
۲	دره‌های آبراهه‌های میانی	Small Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$ Large Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$
۳	زهکش‌های مرتفع	Small Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$
۴	دره‌های u شکل	Small Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$
۵	دشت‌های کوچک	Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Large Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Slope $\leq 5^\circ$
۶	دشت‌سر	Small Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Large Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Slope $> 5^\circ$
۷	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	Small Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$
۸	خط‌الراس‌های مرتفع	Small Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \leq -1$
۹	تپه	Small Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$ Large Neighborhood TPI: $-1 < TPI < 1$
۱۰	خط‌الراس‌های مرتفع، قله کوه	Small Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$ Large Neighborhood TPI: $TPI \geq 1$

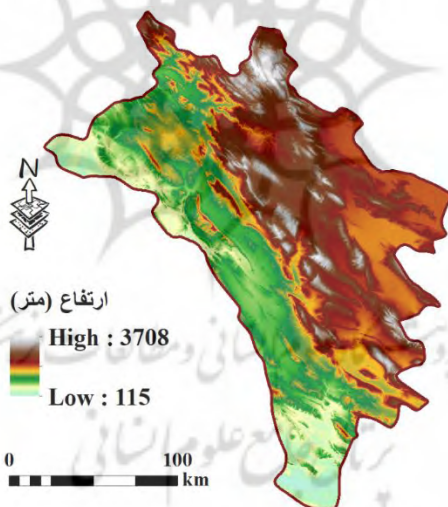
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در نیمه غربی استان فارس در طول جغرافیائی ۵۰ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیائی ۲۸ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی با مساحت ۲۹۳۲۶ کیلومتر مربع واقع شده است. شهرستان‌های واقع در این محدوده شامل فراشبند، کازرون، ممسنی، سپیدان، رستم، فیروزآباد، کوار و شیراز می‌شود. موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. علت انتخاب این محدوده برای بررسی خشک‌سالی در دو دهه اخیر این است که امرار معاش بسیاری از مردم در این منطقه از کشاورزی است (Fars Meteorological Bureau, 2021)، و همچنین کاهش بارندگی در دو دهه اخیر در این مناطق چشمگیر می‌باشد، علامه بر این، محدوده

مورد مطالعه بخشی از کوهستان‌های عظیم زاگرس را در خود جای داده و به همین دلیل برای بررسی ارتباط توپوگرافی و خشک‌سالی مناسب است. عمده محصولاتی که در این منطقه کشت می‌شود عبارت‌اند از گندم، پنبه، برنج، ذرت و غیره می‌باشد که در اراضی کشاورزی و بخش‌هایی از اراضی مرتعی و اراضی دیم کشت می‌شود. با کاهش اراضی کشاورزی و باغی و در نهایت کاهش پوشش گیاهی در منطقه میزان خشک‌سالی و رطوبت کاهش یافته است. شایان ذکر است که حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه ۱۱۵ و ۳۷۰۰ متر می‌باشد که تمرکز ارتفاعات در قسمت‌های شمالی منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه توپوگرافی و ارتفاعات منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از تصاویر سنجنده MODIS (محصولات MOD11A2 و MOD13A2) با تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و تفکیک زمانی 16 روزه برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ در ماه‌های مختلف سال (از فروردین تا اسفند در روز ۱۵ هر ماه) از سایت USGS استفاده شد<sup>۱</sup>. همچنین در این مطالعه از مدل رقومی ارتفاع (DEM<sup>۲</sup>) ماهواره ASTER برای تهیه لند فرم‌های منطقه استفاده شد.

1 . EarthExplorer, 2021

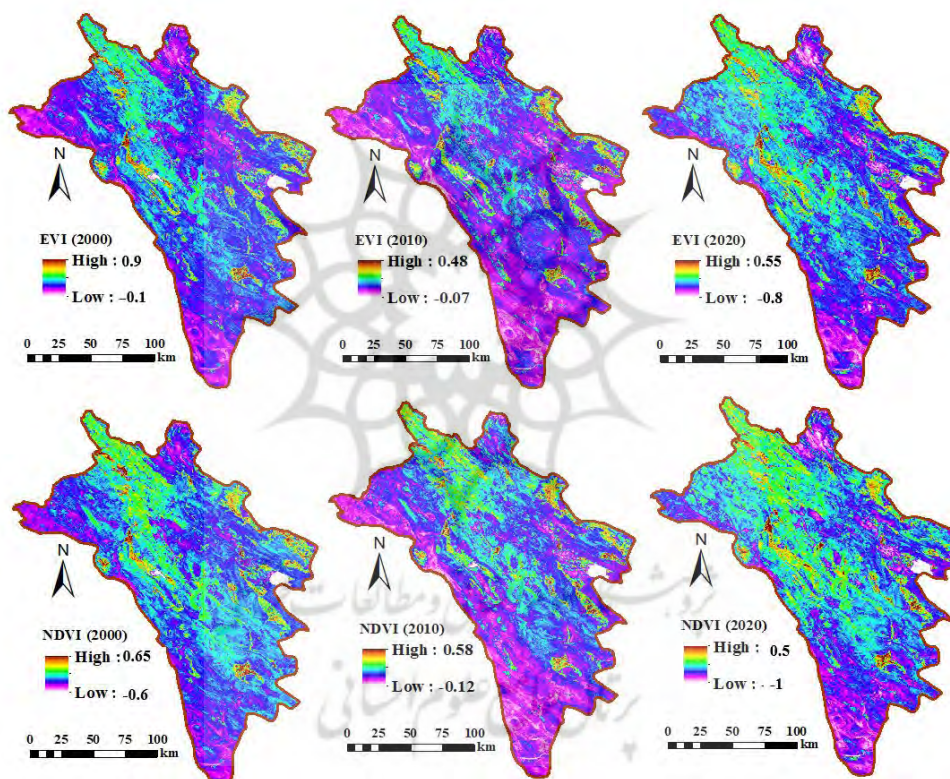
2 . Digital Elevation Model



## بحث و یافته‌ها

## ارزیابی شاخص خشک‌سالی سنجش‌ازدور

با استفاده از فرمول‌های ۱ و ۲ شاخص‌های سنجش‌ازدور برای بررسی میزان خشک‌سالی در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ به دست آمد. برای این منظور از میانگین داده‌های ۱۵ هر ماه در سال‌های مذکور استفاده شد. در شکل ۳ تغییرات مکانی مربوط به هر یک از شاخص‌ها آورده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که در همه شاخص‌های پوشش گیاهی مناطق جنوبی دارای مقادیر کمتری هستند که نشان‌دهنده عدم پوشش گیاهی در این مناطق و وجود خشک‌سالی در این مناطق می‌باشد. در حالی که در نواحی شمالی و بخش‌هایی از شرق منطقه پوشش گیاهی بیشتر و عدم خشک‌سالی را نشان می‌دهد. مقادیر مساحت مربوط به هر یک طبقات خشک‌سالی برای هر یک از شاخص‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ معلوم می‌شود که در شاخص‌های NDVI, EVI به دلیل مقادیر کم در اغلب بخش‌های منطقه، کلاس خشک‌سالی در طبقه متوسط قرار گرفته‌اند. همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است در سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۹۶ و ۷۸ درصد منطقه، در سال ۲۰۱۰ در حدود ۹۷ و ۸۱ درصد و در سال ۲۰۲۰ حدود ۹۸ و ۹۳ درصد منطقه توسط شاخص‌های EVI, NDVI در کلاس‌های متوسط خشک‌سالی به ترتیب قرار گرفته است.



شکل ۳. نقشه مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی EVI, NDVI در منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

جدول ۳. مساحت و درصد طبقات خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های EVI, NDVI

۲۰۲۰		۲۰۱۰		۲۰۰۰		کلاس‌های خشک‌سالی
NDVI	EVI	NDVI	EVI	NDVI	EVI	
۰,۳۷	۰,۴۴	۰,۳۲	۰,۴۳	۰,۵۲	۰,۶۴	خشک‌سالی خیلی شدید
۰,۷۴	۶,۴۸	۲,۴۹	۱۸,۳	۳,۰۳	۲۰,۴	خشک‌سالی شدید
			۹		۶	
۹۸,۹	۹۳,۰	۹۷,۲	۸۱,۱	۹۶,۴۶	۷۸,۹	خشک‌سالی متوسط
	۹		۹		۱	
۰,۰۲	۰	۰	۰	۰	۰	بدون خشک‌سالی

با توجه به نتایج این شاخص‌ها مشخص می‌شود که منطقه از نظر خشک‌سالی در وضعیت بدتری نسبت به سال ۲۰۰۰ قرار دارد و نیاز است که مدیریت‌های لازم در منطقه اعمال گردد. یکی از مهم‌ترین علل تشدید وضعیت خشک‌سالی در منطقه، پدیده تغییرات اقلیمی است (Kiem and Austin, 2013; Mansouri Daneshvar et al., 2019). مطالعات انجام‌شده در زمینه خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد که قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه در خطر خشک‌سالی شدیدتری قرار دارد. (Ghasemi et al., 2021).

#### پیش‌بینی خشک‌سالی (با استفاده از زنجیره مارکوف و CA-Markov)

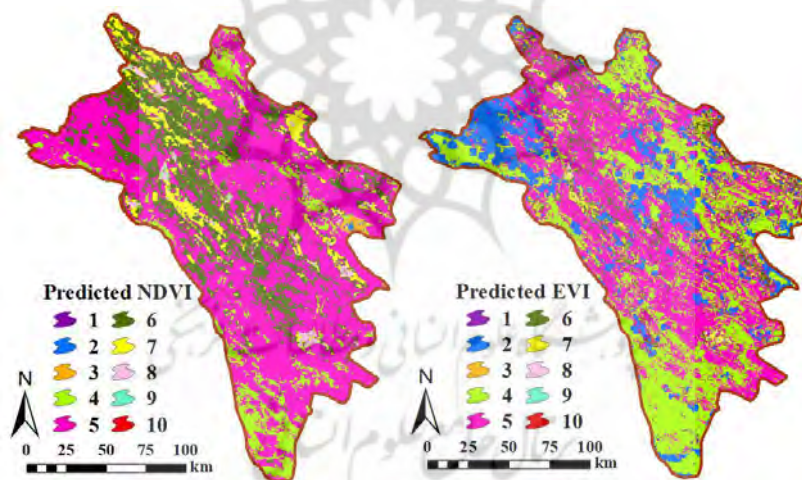
پس از تهیه نقشه‌های شاخص‌های خشک‌سالی منطقه مورد مطالعه، برای پیش‌بینی تغییرات این شاخص‌ها و در نهایت خشک‌سالی از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده گردید. زنجیره مارکوف بر روی دو نقشه شاخص خشک‌سالی EVI, NDVI که از تصاویر ماهواره‌ای به دست آمده و ماتریس احتمال انتقال اجرا شد. بر این اساس، وضعیت خشک‌سالی و تغییرات کلاس‌ها در سال ۲۰۴۰ متکی به دوره‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ است که با استفاده از زنجیره مارکوف انجام شد. در ادامه به منظور بررسی دقت نقشه شاخص‌های خشک‌سالی پیش‌بینی شده از ضریب کاپای حاصل از ماتریس خطا بین نقشه به دست آمده از مدل‌سازی و نقشه خشک‌سالی به دست آمده از تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۴۰ استفاده شد که برابر با 0.89 درصد را نشان داد. با توجه مقدار بالای این ضریب می‌توان خشک‌سالی را با دقت زیاد برای سال‌های آتی پیش‌بینی نمود. مطالعات نشان می‌دهد که به کمک زنجیره مارکوف با دقت قابل قبول می‌توان وضعیت خشک‌سالی را با دقت زیاد اندازه‌گیری نمود که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Brown et al., 2000; Mokarram et al., 2021). در ادامه، اقدام به ساخت سناریوی آینده شد. این کار با توجه به تغییرات رخ داده در دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰ بر اساس مدل Markov-CA اجرا گردید. نتایج به دست آمده به صورت ماتریس احتمال انتقال در جدول ۴ در طبقه بدون خشک‌سالی (class\_1) تا خشک‌سالی شدید (class\_10) ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۴ برای شاخص EVI مشخص می‌شود که ۴۷٪ کلاس ۱ به کلاس ۳، ۲۰٪ کلاس ۲ به کلاس ۴، ۱۲٪ کلاس ۴ به کلاس ۵، ۲۹٪ کلاس ۵ به کلاس ۶، ۲۷٪ کلاس ۶ به کلاس ۷، ۲۱٪ کلاس ۷ به کلاس ۸، ۱۴٪ کلاس ۸ به کلاس ۹ و حدود ۸ درصد کلاس ۹ به کلاس ۱۰ تغییر کرده که نشان دهند افزایش خشک‌سالی در منطقه می‌باشد. شاخص NDVI ۴۹٪ کلاس ۱ به کلاس ۷، ۳۲٪ کلاس ۴ به کلاس ۵، ۱۹٪ کلاس ۵ به کلاس ۶، ۱۴٪ کلاس ۶ به کلاس ۷، ۱۱٪ کلاس ۷ به کلاس ۸ و ۲۷٪ کلاس ۸ به کلاس ۹ تغییر کرده است. که تغییرات این شاخص هم نشان دهنده وضعیت بیشتر خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۴. ماتریس احتمال انتقال شاخص NDVI

EVI										
کلاس ۱۰	کلاس ۹	کلاس ۸	کلاس ۷	کلاس ۶	کلاس ۵	کلاس ۴	کلاس ۳	کلاس ۲	کلاس ۱	کلاس
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۲۲	۰,۴۷	۰,۳	۰	کلاس ۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۲	۰,۷	۰,۰۹	۰	کلاس ۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۷	۰,۹۳	۰	۰	کلاس ۳
۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۱۲	۰,۸۷	۰	۰	۰	کلاس ۴
۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۳	۰,۳۹	۰,۵۷	۰,۱۸	۰,۰۲	۰	۰	کلاس ۵
۰	۰	۰,۰۱	۰,۲۷	۰,۳۵	۰,۱۲	۰,۲۴	۰,۰۱	۰	۰	کلاس ۶
۰	۰	۰,۲۱	۰,۲۷	۰,۲۵	۰,۱۱	۰,۱۶	۰	۰	۰	کلاس ۷

۰	۰,۱۴	۰,۴	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۱۴	۰,۱۶	۰	۰	۰	کلاس ۸
۰,۰۸	۰,۹۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کلاس ۹
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کلاس ۱۰
NDVI										
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۲	۰	۰	کلاس ۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۱۵	۰,۳	۰	کلاس ۲
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	کلاس ۳
۰	۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۳۲	۰,۶۶	۰	۰	۰	کلاس ۴
۰	۰	۰	۰,۰۱	۰,۱۹	۰,۷۳	۰,۰۷	۰	۰	۰	کلاس ۵
۰	۰	۰,۰۱	۰,۱۴	۰,۷۵	۰,۱	۰	۰	۰	۰	کلاس ۶
۰	۰	۰,۱۱	۰,۵۴	۰,۲۷	۰,۰۶	۰	۰	۰	۰	کلاس ۷
۰	۰,۲۷	۰,۳۵	۰,۱۸	۰,۱۶	۰,۰۴	۰	۰	۰	۰	کلاس ۸
۰,۰۵	۰,۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کلاس ۹
۰,۳۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	کلاس ۱۰

نقشه مربوط به تغییرات شاخص EVI و NDVI در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ و مقادیر پیش‌بینی شده توسط زنجیره کومارکوف در سال ۲۰۴۰ در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴ مشخص می‌شود که مساحت کلاس‌های ۱ تا ۱۰ به ترتیب برای شاخص NDVI پیش‌بینی شده در سال ۲۰۴۰ برابر با 0.03, 0.07, 0.43, 9.66, 57.57, 24.12, 1.18, 16.12, 3.41, 31.46, 40.03, 5.29, 1.97 درصد و برای شاخص EVI برابر با 0.50, 0.03, 0.00 درصد می‌باشد.

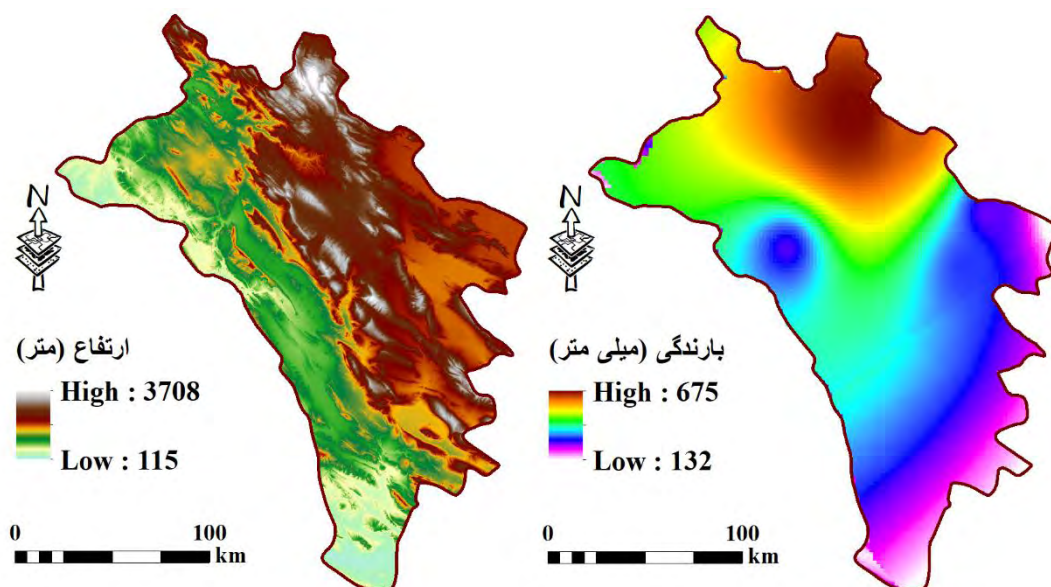


شکل ۴. مقادیر شاخص‌های NDVI و EVI پیش‌بینی شده با استفاده از زنجیره مارکوف و کومارکوف

بنابراین با توجه به پیش‌بینی دو شاخص با استفاده از زنجیره مارکوف مشخص می‌شود که با توجه به وضعیت خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه باید راهکارهای مدیریتی برای جلوگیری از خسارات اتخاذ شود. (Mokarram et al., 2021) در مطالعات خود نشان دادند که به کمک روش CA-Marcov می‌توان با دقت بالا خشک‌سالی را برای سال‌های آتی برای مدیریت بیشتر منطقه پیش‌بینی نمود.

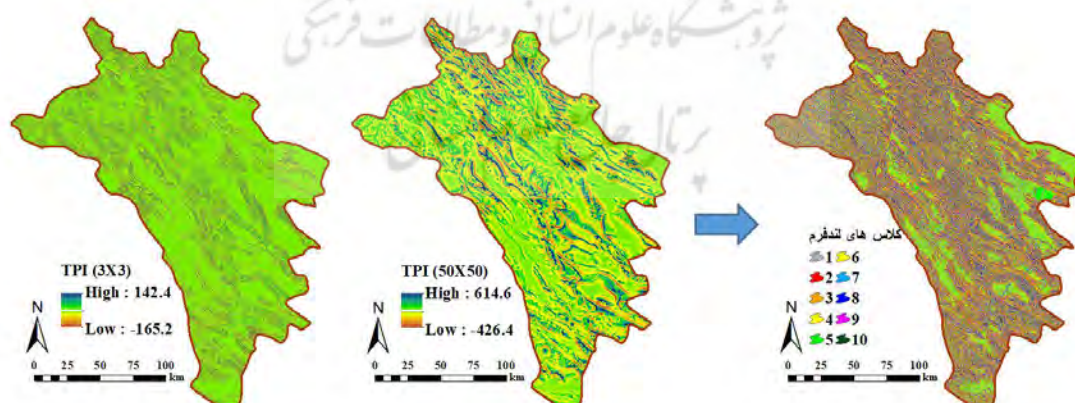
#### لند فرم‌های منطقه و ارتباط آن با وضعیت خشک‌سالی

به منظور استخراج نقشه لند فرم منطقه مورد مطالعه از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) استفاده گردید. نقشه TPI با در نظر گرفتن دو پنجره ۳×۳ (حداقل مقیاس) و ۵۰×۵۰ (حداکثر مقیاس) تهیه گردید.



شکل ۵. میزان بارندگی و ارتفاع منطقه مورد مطالعه

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر TPI منطقه مورد مطالعه بین  $۱۶۵/۲$  تا  $۱۴۲/۴$  برای مقیاس  $۳ \times ۳$  و  $۴۲۶/۴$  تا  $۶۱۴/۶$  برای مقیاس  $۵۰ \times ۵۰$  است. از TPI منطقه به منظور استخراج نقشه لندفرم منطقه مورد مطالعه استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است دهنده مناطق مرتفع مانند یال و تپه‌ها، کدهای نزدیک صفر نشان‌دهنده مناطق مسطح یا مناطقی با تغییرات شیب کم و کد منفی نشان‌دهنده مناطق پست مثل دره‌ها و آبراهه‌ها می‌باشد. هر کدام از لند فرم‌های طبقه‌بندی شده بخشی از منطقه را در برمی‌گیرند که در شکل ۶ نشان داده شده است. مطالعات نشان می‌دهد که به کمک شاخص TPI با دقت زیاد می‌توان وضعیت لند فرم‌های منطقه را تعیین نمود که نتایج این تحقیقی مطابقت دارد. مطالعات نشان می‌دهد که به کمک این شاخص با در نظر گرفتن شیب و ارتفاع که مهم‌ترین پارامترها در مطالعات ژئومورفولوژی هستند می‌توان با دقت زیاد و زمان کم در محیط GIS نوع لند فرم‌های منطقه را تعیین نمود. (Mokarram & Sathyamoorthy, 2016; Mokarrama & Hojati, 2018).



شکل ۵. نقشه لند فرم‌های منطقه مورد مطالعه

مساحت مربوط به هر یک از کلاس‌های لندفرم در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق جدول ۵ مشخص می‌شود که بیشترین لندفرم در منطقه زهکش‌های میانی و دشت (حدود ۱۴ درصد و کمترین مساحت مربوط به دره‌های باریک (حدود

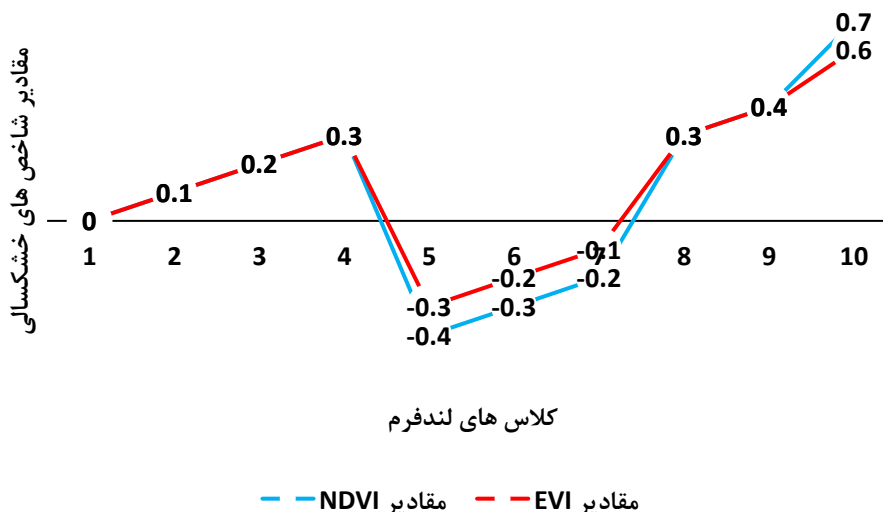
۱ درصد) می‌باشد. در ادامه با توجه به مقادیر شاخص‌ها در شکل ۳ و کلاس‌های لندفرم در شکل ۶ رابطه بین نوع لندفرم و میزان خشک‌سالی پیش‌بینی شده توسط زنجیره مارکوف در سال ۲۰۴۰ تعیین شد که در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ مشخص می‌شود که لند فرم‌های واقع در کلاس ۱۰ (قله، کوه و یال مرتفع) به دلیل واقع شدن در ارتفاعات بالاتر از خشکی هوای کمتری نسبت به لند فرم‌های واقع در کلاس‌های ۵، ۶، ۷ (دشت، شیب باز، شیب بالایی) برخوردار هستند که نشان‌دهنده خشک‌سالی کمتر این مناطق می‌باشد. همچنین مشخص می‌شود که لند فرم‌های واقع در کلاس‌های ۱، ۲، ۳، ۴ (انواع دره‌ها و زهکش‌ها) در کلاس‌های متوسط خشک‌سالی واقع شده‌اند که با مطالعات (Ghasemi et al., 2021) همخوانی دارد.

در ادامه با توجه به اینکه شرایط اقلیمی و توپوگرافی با وضعیت خشک‌سالی منطقه در ارتباط است، میزان بارندگی و ارتفاع برای هر یک از کلاس‌های لندفرم تعیین شد که در شکل ۵ و جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است نیمه شرقی منطقه دارای ارتفاعات بیشتری می‌باشد. به طوری که در شمال شرقی منطقه ارتفاع به ۳۷۰۰ متر می‌رسد. همچنین با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که بارندگی در نیمه شرقی بیشتر از نیمه غربی منطقه می‌باشد و در مناطق شمال شرق بارندگی بیشتر از سایر نقاط است که نشان‌دهنده ارتباط بین ارتفاع و میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده در لند فرم‌های واقع در کلاس ۱۰ (قله، کوه، یال‌های مرتفع) میزان ارتفاع بیشتر (بیشتر از ۲۵۰۰ متر) و به دنبال آن بارندگی بیشترین (بیشتر از ۳۵۰ میلی‌متر) مقدار را نسبت به دیگر لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه دارد که نشان‌دهنده عدم خشک‌سالی در این نوع لندفرم‌ها می‌باشد. در حالی که مناطق واقع در کلاس ۵ تا ۷ لندفرم در ارتفاعات کمتر (کمتر از ۱۰۰۰ متر) و بارندگی کمتر (کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر) نسبت به دیگر لندفرم‌ها واقع شده است که نشان‌دهنده خشک‌سالی بیشتر می‌باشد که با کلاس‌های خشک‌سالی در جدول ۵ مطابقت دارد.

جدول ۵. مساحت هر یک از کلاس‌های لندفرم به همراه وضعیت ارتفاع و بارندگی برای هر یک از آن‌ها

کلاس لندفرم	توصیف	مساحت (درصد)	کلاس خشک‌سالی در سال ۲۰۴۰	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)
۱	دره‌های باریک	۰/۹۸	خشک‌سالی متوسط	<۱۰۰۰	<۲۵۰
۲	زهکش‌های شیب میانی، دره‌های کم عمق	۱۳/۸۵			
۳	زهکش‌های مناطق مرتفع	۱۱/۶۳			
۴	دره‌های II شکل	۱۳/۳۵	خشک‌سالی شدید	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۵۰-۳۰۰
۵	دشت	۱۳/۹۱			
۶	شیب‌های باز	۱۲/۴۶			
۷	شیب‌های بالایی، مساهها	۱۰/۹۸	خشک‌سالی کم	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۳۰۰-۳۵۰
۸	یال‌های موضعی، تپه‌های موجود دره	۸/۱۷			
۹	یال‌های شیب میانی، تپه‌های کوچک موجود در دشت	۷/۴۵			
۱۰	قله، کوه، یال‌های مرتفع	۸/۱۷	بدون خشک‌سالی	>۲۵۰۰	> ۳۵۰

در شکل ۷ ارتباط بین کلاس‌های لندفرم و مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی آمده است. همان‌طور که در شکل ۷ نشان داده شده است ارتباط زیادی بین دو شاخص برای پیش‌بینی خشک‌سالی وجود دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که کلاس ۱۰ دارای بیشترین مقادیر شاخص‌ها و کلاس‌های ۵ تا ۷ دارای مقادیر کمتری از این شاخص‌ها که نشان‌دهنده خشک‌سالی شدید است می‌باشد.



شکل ۷. ارتباط بین کلاس‌های لندفرم و مقادیر هر یک از شاخص‌های پوشش گیاهی

ارتفاعات و ناهمواری‌ها همواره به‌عنوان یک عامل موثر در بارش و دما و به‌طور کلی ویژگی‌های اقلیمی در منطقه مدنظر پژوهشگران محیط طبیعی قرار داشته‌اند، در هر منطقه‌ای که ارتفاعات تمرکز داشته همیشه ویژگی‌های اقلیمی نسبت به مناطق دشتی تفاوت محسوسی داشته است. در این پژوهش، یکی از مهم‌ترین واحدهای ژئومورفولوژیک ایران یعنی بخش‌های از زاگرس مورد بررسی قرار گرفت و ارتباط ارتفاعات با ویژگی‌های خشک‌سالی در این منطقه تحلیل و بررسی شد. در مقایسه‌ای که بین شاخص‌های TDVI و EVI با لند فرم‌های منطقه انجام شد مشخص شد که در اراضی با شیب و ارتفاع کم (کلاس‌های ۱ تا ۷) که در حدود ۶۰ درصد منطقه را به خود اختصاص داده‌اند، مقادیر این شاخص‌ها کمتر می‌باشد که حاکی از خشک‌سالی زیاد در منطقه می‌باشد.

بنابراین در مناطق مرتفع میزان خشک‌سالی کمتر از مناطق پست با شیب کم می‌باشد و می‌توان بر اساس میزان ارتفاع تا حدودی وضعیت خشک‌سالی منطقه را پیش‌بینی نمود (پی‌لی و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور کلی با توجه به وضعیت خشک‌سالی در منطقه مورد مطالعه قبل از هرگونه اقدام عملی برای کاهش خسارت‌های خشک‌سالی اتخاذ سیاست‌های راهبردی می‌تواند راه‌گشا باشد. این سیاست‌ها می‌باید بر مبنای باور داشتن واقعیت کم‌آبی در منطقه باشد به‌طور مسلم این دیدگاه می‌تواند در سیاست‌گذاری ایجاد صنایع با مصرف آب کم و کشت‌های مناسب با وضعیت کم‌آبی کارآمد باشد. همچنین اتخاذ روش‌هایی جهت بهره‌گیری حداکثر ممکن از نزولات جوی (برف و باران) نیز می‌تواند در جلوگیری از بحران خشک‌سالی پیش از وقوع آن بسیار مهم تلقی شود (وان لون و وان لان، ۲۰۱۲).

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه از شاخص‌های سنجش‌ازدور برای بررسی وضعیت خشک‌سالی در جنوب غرب ایران در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ استفاده شد. طبق نتایج مشخص شد که در سال‌های ۲۰۲۰ بیشترین خشک‌سالی و در سال ۲۰۰۰ کمترین خشک‌سالی را داشته‌ایم. نتایج حاصل از هر یک از شاخص‌های EVI و NDVI نشان داد که در حدود ۳۰ و ۶۰ درصد منطقه به ترتیب در معرض خشک‌سالی قرار دارند. به‌طوری‌که بخش‌های جنوبی و شرقی منطقه دارای پوشش گیاهی

کمتری می‌باشند. نتایج زنجیره کومارکوف نشان داد که در سال‌های آینده به دلیل خشک‌سالی بیشتر و پوشش گیاهی کمتر خاک در مراحل خشکی بیشتر و در نهایت فرسایش بیشتر قرار می‌گیرد.

از جمله اهدافی که در این تحقیق دنبال شد، بررسی ارتباط بین وضعیت خشک‌سالی از طریق شاخص‌های سنجش‌از‌دور و ارتباط آن با داده‌های توپوگرافی (وضعیت لندفرم‌ها) می‌باشد که در این مطالعه بررسی شد. نتایج نشان داد که در لند فرم‌های واقع در مناطق کم ارتفاع میزان شاخص NDVI و EVI کمتری (وضعیت خشک) و در لند فرم‌های مرتفع میزان این شاخص بیشترین (وضعیت مرطوب) می‌باشد. با توجه به وضعیت خشک‌سالی در سال‌های آینده پیشنهاد می‌شود که به منظور جمع‌آوری سیلاب‌ها در این دوران تدابیر لازم اتخاذ شود. با استفاده از روش‌های آبخیزداری مانند احداث سد، انحراف رودخانه‌ها در مسیرهایی برای افزایش تغذیه آب‌های زیرزمینی برای مدیریت آب‌ها و جلوگیری از هدر رفت آن اتخاذ شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که علاوه بر در نظر گرفتن شاخص‌های پوشش گیاهی به منظور پیش‌بینی و تعیین خشک‌سالی، تغییرات کاربری اراضی توسط انسان و نقش آفات و امراض بر روی رویش گیاه هم در مطالعات خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مورد توجه قرار گیرد. در لند فرم‌های کوهستانی، هرچند شدت خشک‌سالی ممکن است کمتر باشد ولی به دلیل شیب زیاد همواره فرسایش شدیدتر است، به همین دلیل عملیات‌های آبخیزداری در این مناطق کمک بسیار زیادی به مدیریت منابع آب‌و خاک در منطقه می‌کند.

## تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

## منابع

- ۱) صوفی، م و علیجانی، ب. (۱۳۹۱). تغییر اقلیم در ناهمواری‌های زاگرس. فصلنامه سرزمین، ۹(۳۴)، ۶۶-۴۷.
- ۲) مجرد، ف و مرادی فر، ح. (۱۳۸۲). مدل‌سازی رابطه بارش با ارتفاع در منطقه زاگرس. مدرس علوم انسانی، ۷(۲۳)، صص ۱۸۲-۱۶۳.

## References

- 1) Brown, D.G., Pijanowski, B.C., & Duh, J.D., (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. *J. Environ. Manage.* 59, 247-263.
- 2) Chang, H., He, G., Wang, Q., Li, H., Zhai, J., Dong, Y., Zhao, Y., Zhao, J., (2021). Use of sustainability index and cellular automata-Markov model to determine and predict long-term spatio-temporal variation of drought in China. *J. Hydrol.* 598, 126248.
- 3) Choubin, B., Soleimani, F., Pirnia, A., Sajedi-Hosseini, F., Alilou, H., Rahmati, O., Melesse, A.M., Singh, V.P., & Shahabi, H., (2019). *Effects of drought on vegetative cover changes: Investigating spatiotemporal patterns*. *Extrem. Hydrol. Clim. Var. Monit. Model. Adapt. Mitig.* 213-222.
- 4) Chung, K.L., (1960). *Markov Chains with Stationary Transition Probabilities*. *Markov Chain*. with Station. Transit. Probab. 1-130.
- 5) Ding, Y., Gong, X., Xing, Z., Cai, H., Zhou, Z., Zhang, D., Sun, P., & Shi, H., (2021). Attribution of meteorological, hydrological and agricultural drought propagation in different climatic regions of China. *Agric. Water Manag.* 255, 106996.
- 6) EarthExplorer [WWW Document], 2021. URL <https://earthexplorer.usgs.gov/> (accessed 11.11.21).
- 7) Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M., Ebrahimi-Khusfi, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., (2020). Impacts of vegetation anomalies and agricultural drought on wind erosion over Iran from 2000 to 2018. *Appl. Geogr.* 125, 102330.

- 8) Fadhil, R.M., & Unami, K., (2021). A multi-state Markov chain model to assess drought risks in rainfed agriculture: a case study in the Nineveh Plains of Northern Iraq. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess*, 35, 1931–1951.
- 9) Fars Meteorological Bureau [WWW Document], 2021. URL <https://www.farsmet.ir/> (accessed 11.11.21).
- 10) Ghasemi, M.M., Pakparvar, M., & Mokarram, M., (2021). Preparation of landforms using geomorphon method and its relationship with drought in the east and south of Fars province. *Quant. Geomorphol. Res*, 10, 1-12.
- 11) Jahantigh, M., & Jahantigh, M., (2021). Monitoring Changes in Erosion areas Using Remote sensing Data in Three years of Wet, Normal and Drought (Case study: Nimroz Region of Sistan). *Environ. Eros. Res. J*, 11, 1–26.
- 12) Javed, T., Li, Y., Feng, K., Ayantobo, O.O., Ahmad, S., Chen, X., Rashid, S., Suon, S., (2021). Monitoring responses of vegetation phenology and productivity to extreme climatic conditions using remote sensing across different sub-regions of China. *Environ. Sci. Pollut. Res*, 28, 3644–3659.
- 13) Jiao, W., Wang, L., & McCabe, M.F., (2021). Multi-sensor remote sensing for drought characterization: current status, opportunities and a roadmap for the future. *Remote Sens. Environ*, 256, 112313.
- 14) Karimi, H., Raeisi, E., & Rezaei, A., (2018). Determination of karst aquifer characteristics using physicochemical parameters (A case study from west of Iran). *Geopersia*, 8, 293–305.
- 15) Kędzior, M., & Zawadzki, J., (2017). SMOS data as a source of the agricultural drought information: Case study of the Vistula catchment, Poland. *Geoderma*, 306, 167–182.
- 16) Kiem, A.S., Austin, E.K., (2013). Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. *Glob. Environ. Chang*, 23, 1307–1316.
- 17) Li, L., She, D., Zheng, H., Lin, P., & Yang, Z.-L., (2020). Elucidating Diverse Drought Characteristics from Two Meteorological Drought Indices (SPI and SPEI) in China. *J. Hydrometeorol*, 21, 1513–1530.
- 18) Li, P., Zhu, D., Wang, Y., & Liu, D., (2020). Elevation dependence of drought legacy effects on vegetation greenness over the Tibetan Plateau. *Agric. For. Meteorol*, 295, 108190.
- 19) Liu, X., Zhu, X., Zhang, Q., Yang, T., Pan, Y., & Sun, P., (2020). A remote sensing and artificial neural network-based integrated agricultural drought index: Index development and applications. *CATENA*, 186, 104394.
- 20) Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M., & Nejadsoleymani, H., (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ. Syst. Res*. 81(8), 1–10.
- 21) Mokarram, M., Pourghasemi, H.R., Hu, M., & Zhang, H., (2021). Determining and forecasting drought susceptibility in southwestern Iran using multi-criteria decision-making (MCDM) coupled with CA-Markov model. *Sci. Total Environ*, 781, 146703.
- 22) Mokarram, M., & Sathyamoorthy, D., (2016). Investigation of the relationship between drinking water quality based on content of inorganic components and landform classes using fuzzy AHP (case study: South of Firozabad, west of Fars province, Iran). *Drink. Water Eng. Sci*, 9, 57–67.
- 23) Mokarrama, M., & Hojati, M., (2018). Landform classification using a sub-pixel spatial attraction model to increase spatial resolution of digital elevation model (DEM). *Egypt. J. Remote Sens. Sp. Sci*. 21, 111–120.
- 24) Nafarzadegan, A.R., Rezaeian Zadeh, M., Kherad, M., Ahani, H., Gharekhani, A., Karampoor, M.A., & Kousari, M.R., (2012). Drought area monitoring during the past three decades in Fars province, *Iran. Quat. Int*. 250, 27–36.
- 25) Pei, Z., Fang, S., Wang, L., & Yang, W., (2020). Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China. *Water*, 12, 1912-1925.
- 26) Rabbi, S.M.F., Tighe, M.K., Warren, C.R., Zhou, Y., Denton, M.D., Barbour, M.M., & Young, I.M., (2021). High water availability in drought tolerant crops is driven by root engineering of the soil micro-habitat. *Geoderma*, 383, 114738.



- 27) Rabiner, L.R., & Juang, B.H., (1986). An Introduction to Hidden Markov Models. *IEEE ASSP Mag*, 3, 4–16.
- 28) Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W., (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA–Markov model. *Math. Comput. Model*, 54, 938–943.
- 29) Sharafati, A., Nabaei, S., & Shahid, S., (2020). Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *Int. J. Climatol.* 40, 1864–1884.
- 30) Tanda, A.S., (2021). *Native Bees Are Important and Need Immediate Conservation Measures: A Review* † 1–15.
- 31) Tsakiris, G., & Vangelis, H., (2005). *Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration*.
- 32) Tucker, C.J., Pinzon, J.E., Brown, M.E., Slayback, D.A., Pak, E.W., Mahoney, R., Vermote, E.F., & El & Saleous, N., (2010). An extended AVHRR 8 km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 4485–4498.
- 33) Vali, A., Ranjbar, A., Mokarram, M., & Taripanah, F., (2020). Investigating the topographic and climatic effects on vegetation using remote sensing and GIS: a case study of Kharestan region, Fars Province, Iran. *Theor. Appl. Climatol.* 140, 37–54.
- 34) Van Loon, A.F., & Van Lanen, H.A.J., (2012). A process-based typology of hydrological drought. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 16, 1915–1946.
- 35) Vicente-Serrano, S.M., & Beguería, S., (2016). Comment on ‘Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)’ by James H. Stagge et al. *Int. J. Climatol.* 36, 2120–2131.
- 36) Xie, F., Fan, H., 2021. Deriving drought indices from MODIS vegetation indices (NDVI/EVI) and Land Surface Temperature (LST): Is data reconstruction necessary?, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 101, 102352.
- 37) Zhou, K., Li, J., Zhang, T., & Kang, A., (2021). The use of combined soil moisture data to characterize agricultural drought conditions and the relationship among different drought types in China. *Agric. Water Manag*, 243, 106479.