

پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و فن آوری سنجش از دور (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)

امین رستمی^{۱*}، محمد بزانه^۲، محمود رائینی^۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۹/۲۰

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amin_rostami@yahoo.com

چکیده

خشکسالی از جمله پیامدهای تکرار شونده اقلیمی است که در بیشتر نقاط جهان رخ می‌دهد و موجب کم‌آبی، خسارات اقتصادی و پیامدهای ناگوار اجتماعی می‌شود. روش‌های متداول ارزیابی و پایش خشکسالی اغلب وابسته به داده‌های هواشناسی به‌ویژه بارش می‌باشند با توجه به دقت مکانی پایین و در مواردی ناقص و نادرست بودن این اطلاعات، نمایه‌های خشکسالی هواشناسی که از روی این داده‌ها محاسبه می‌شوند، در پایش خشکسالی مفید نخواهند بود. فن‌آوری‌های سنجش از دور با پوشش مکانی و زمانی مناسب منطقه مطالعاتی، ابزار مناسبی در پایش خشکسالی کشاورزی به‌شمار می‌روند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس در دوره زمانی ۱۲ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳) اقدام به استخراج و ارزیابی پراکندگی زمانی و مکانی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی (VCI, DSI و TCI) در استان آذربایجان شرقی شد. همچنین همبستگی بین نمایه‌های خشکسالی کشاورزی به‌دست آمده از سنجش از دور با نمایه خشکسالی هواشناسی SPI بررسی شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که نمایه‌های سنجش از دور از دقت خوبی در برآورد پراکندگی مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی برخوردارند، به‌طوری‌که ضریب همبستگی بین نمایه DSI و SPI برابر با ۰/۶۴ بدست آمد. بررسی نمایه SPI و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی نشان داد که در سال ۱۳۸۷ در بیشتر ایستگاه‌های استان خشکسالی متوسط رخ داده است. با این حال مناطق شمالی استان در حاشیه رود ارس حتی در سال خشک (سال ۱۳۸۷) نیز نسبت به دیگر مناطق از وضعیت پوشش گیاهی بهتری برخوردار بودند، که مقدار نمایه SPI برابر با ۰/۳۸- و ۰/۵۳- به ترتیب برای ایستگاه‌های جلفا و کلیبر نیز حاکی از این مطلب است. مقایسه آماری نتایج نشان داد که بالاترین ضریب همبستگی بین نمایه‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی در ایستگاه جلفا است، که بالاترین مقدار میانگین نمایه SPI، ۰/۶، را در استان داشت.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سنجش از دور، مودیس، SPI

Spatial and Temporal Monitoring of Agricultural Drought Using MODIS Sensor Images and Remote Sensing Techniques (A Case Study: East Azerbaijan Province)

A Rostami^{1*}, M Bazzane², M Raeini³

Received: 17 March 2016

Accepted: 22 November 2016

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engr., Water Engr. Dept., Sari Agric. Sci. and Natural Res. University, Iran
 2. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engr., Water Engr. Dept., Urmia University, Iran
 3. Assoc. Prof. of Water Engr. Dept., Sari Agric. Sci. and Natural Res. University, Iran
- *Corresponding Author, Email: amin_rostami1@yahoo.com

Abstract

Drought is one of the recurring meteorological events that occurs in whole of the world and leads to water scarcity, economical hazards and devastating social consequences. Traditional methods of drought monitoring often depends on meteorological data especially on precipitation data. Due to the low spatial resolution and some missing values of ground based data, estimation of meteorological drought indices from these data is not reliable. Remote Sensing techniques with fine spatial and temporal resolutions are considered as useful tools for agricultural drought monitoring. In this study, spatial and temporal distribution of agricultural indices (DSI, VCI, TCI) were evaluated in the East Azerbaijan Province during the years of 1382 to 1393 (Iranian calendar), using the satellite images of MODIS. Also correlation between agricultural drought indices based on remote sensing data and meteorological drought index (SPI) was investigated. Results showed that the remote sensing indices had a good accuracy in the monitoring of agricultural drought, for instance the correlation coefficient between DSI and SPI indices was 0.64. Evaluation of SPI and agricultural drought indices indicated that moderate drought occurred in the most stations in 1387. However, the northern areas (Aras riverside) had a better vegetation condition in comparison to other regions even at dry year of 1387 and SPI index values were equal to -0.38 and -0.53 for Jolfa and Kaleybar stations respectively, that confirmed this matter. Statistical analysis showed that the highest correlation between agricultural and meteorological indices was in Jolfa station, where the highest mean amount of SPI index was 0.6.

Keywords: Drought, MODIS, Remote Sensing, SPI

مقدمه

تقریباً در تمامی مناطق اقلیمی رخ می‌دهد، اگرچه مشخصات آن از یک منطقه به منطقه دیگر کاملاً متفاوت است (شهاب‌فر و همکاران ۲۰۱۲). پدیده‌های اقلیمی مانند درجه حرارت زیاد و رطوبت نسبی کم نیز در اغلب موارد با خشکسالی توأم بوده و می‌توانند شدت آن را افزایش دهند. بر اساس مجموعه عوامل زیست-

خشکسالی از جمله پیامدهای طبیعی تغییرات اقلیمی است که به آرامی و با روندی تدریجی رخ داده و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی، اقلیم، منابع آبی، کشاورزی، محیط زیست و حتی بخش‌های اجتماعی و اقتصادی جامعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پدیده

توسط تکر (۱۹۷۹) به عنوان نمایه سلامت تراکم پوشش گیاهی مطرح شد (جنسن ۱۹۹۶). در زمینه برخورداری از تصاویر ماهواره‌ای و نمایه NDVI مطالعات مختلفی در سراسر جهان انجام شده است. تنکابیل و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ی خود، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، خشکسالی را در جنوب غرب آسیا، پایش کردند. آن‌ها در مناطق مورد بررسی خود، شامل افغانستان، پاکستان و قسمت‌های غربی هند، از تصاویر دو سنجنده AVHRR و MODIS در باندهای طیفی نوری و حرارتی استفاده نمودند. ایشان با استفاده از نمایه NDVI و دمای سطح زمین نقشه‌های پراکندگی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی را برای دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۲ در منطقه مورد مطالعه استخراج کردند. کاکامو و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی در کشور استرالیا، ارتباط میان نمایه NDVI و SPI را در سه بازه زمانی یک، سه و شش‌ماهه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده بالاترین ضریب همبستگی میان NDVI و SPI شش-ماهه بود. ژانگ و جیا (۲۰۱۳) به پایش خشکسالی هواشناسی با استفاده از اطلاعات میکروویو سنجش از دوری در مناطق نیمه‌خشک شمال چین پرداختند. نتایج ایشان نشان‌دهنده همبستگی بالای نمایه خشکسالی میکروویو با نمایه SPI ماهانه بود و با افزایش دوره زمانی نمایه SPI، مقدار همبستگی کاهش یافت. بنابراین نمایه خشکسالی میکروویو را به عنوان یک نمایه بهینه و قابل اعتماد برای پایش خشکسالی هواشناسی در دوره‌های کوتاه‌مدت معرفی کردند. نیکول و عباس (۲۰۱۵) در پژوهش خود به بررسی ترکیب نمایه‌های سنجش از دور با اطلاعات بارش ماهواره‌ای و زمینی در پایش خشکسالی پرداختند. نتایج این مطالعه در استان یوننان چین نشان داد که نوع پوشش اراضی تأثیر معنی‌داری بر میزان و زمان وقوع خشکسالی دارد به طوری که بیشترین همبستگی بین وقوع خشکسالی و بارش در مناطق تحت کشت با بارش‌های ۶۴ روز قبل و برای جنگل‌های همیشه سبز با بارش‌های ۹۰ روز قبل

محیطی که تحت تأثیر قرار می‌گیرند، خشکسالی به انواع خشکسالی هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اجتماعی طبقه‌بندی می‌شود (پیترز ۲۰۰۳). خشکسالی هواشناسی در اثر کمبود بارندگی، خشکسالی کشاورزی در اثر کمبود رطوبت خاک و خشکسالی هیدرولوژیکی به دلیل افت سطح آب در آبراهه‌ها و سفره‌های آب زیرزمینی تعریف می‌شوند (تیت و گستارد ۲۰۰۰). از این‌رو، مطالعه و بررسی آثار خشکسالی بر بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و ارزیابی دقیق آن به‌ویژه در مناطق حساس زیست-محیطی و منابع آبی مانند شمال غرب ایران اهمیت فراوانی داشته و بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های متداول ارزیابی و پایش خشکسالی اغلب وابسته به داده‌های بارش می‌باشند. یکی از مهم‌ترین این نمایه‌ها، نمایه بارش استاندارد شده^۱ (SPI) می‌باشد که با پایه احتمالاتی به صورت نمایه ثابت مکانی از خشکسالی در نظر گرفته شده است. داده‌های هواشناسی محدود به محل اندازه‌گیری و در برخی موارد نادرست بوده و از همه مهم‌تر این‌که فراهم کردن آن‌ها برای زمان‌های نزدیک بسیار دشوار است. بنابراین استفاده از نمایه‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای ارزیابی خشکسالی به‌ویژه در مناطق بزرگ چندان مناسب نمی‌باشد. استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای و تعریف نمایه‌های مرتبط با سنجش از دور به دلیل ارزان و قابل تکرار بودن، به‌روز بودن و دربرگرفتن سطح وسیعی از منطقه مطالعاتی می‌تواند ضمن پوشش کاستی‌های مرتبط با داده‌های هواشناسی ایستگاهی، ارتباط میان خشکسالی هواشناسی و خشکسالی کشاورزی را در پایش دقیق‌تر خشکسالی برقرار سازد. یکی از مؤثرترین نمایه‌ها در این زمینه، نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی^۲ (NDVI) می‌باشد که نخستین بار

¹ Standardized precipitation index

² Normalized difference vegetation index

NDVI و مقادیر بارندگی برای بارش‌های با تأخیر زمانی شش ماهه به دست آمده است. همچنین مقایسه نتایج دو نمایه SPI و VCI در کلاس‌بندی خشکسالی نشان داد که نمایه SPI نمی‌تواند به صورت تمام و کمال بیانگر وضعیت خشکسالی باشد. میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) با استفاده از نمایه SPI و NDVI به بررسی خشکسالی استان کردستان طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۹ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که همبستگی بالایی بین دو نمایه فوق وجود داشته و بر اساس آن در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ خشکسالی متوسط در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. رضایی و همکاران (۱۳۹۲)، با استفاده از شاخص سلامت پوشش گیاهی به بررسی خشکسالی کشاورزی در محدوده استان‌های آذربایجان شرقی و غربی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که در سال ۲۰۰۹ بیشترین درصد خشکسالی در منطقه رخ داده و همچنین میزان خشکسالی در حاشیه دریاچه ارومیه روندی افزایشی داشته است. کشاورز و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی خشکسالی کشاورزی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و نمایه کمبود رطوبت خاک در استان اصفهان در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۰ (سال خشک) و ۲۰۰۵-۲۰۰۴ (سال تر) پرداختند. نمایه کمبود رطوبت خاک در این مطالعه با استفاده از مفهوم فضای مثلثی بین دمای سطح زمین و نمایه NDVI به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که نمایه کمبود رطوبت خاک به خوبی توانایی استخراج پراکندگی مکانی خشکسالی و نیز شدت خشکسالی را داراست. رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) کارآیی نمایه VCI در تحلیل خشکسالی کشاورزی در محدوده استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های ایشان نشان داد که نمایه SPI تا حدود زیادی نتایج نمایه VCI را تایید می‌کند.

هدف اصلی در پژوهش حاضر در درجه اول بررسی تغییرات زمانی سالانه و پراکندگی مکانی نمایه NDVI و دمای سطح زمین و در نتیجه نمایه‌های

مشاهده شد. لسل و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از نمایه شدت خشکسالی و اطلاعات سنجنش از دور به بررسی خشکسالی در کشور اوروگوئه طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ پرداختند. برای محاسبه نمایه شدت خشکسالی از داده‌های بارش TRMM^۳ و داده‌های دمای سطح زمین و شاخص گیاهی به دست آمده از تصاویر سنجنده مودیس استفاده کردند و نتایج حاصل را با نمایه آب در دسترس بدست آمده از اطلاعات زمینی و مدل بیلان آب مورد صحت‌سنجی قرار دادند. نتایج نمایه شدت خشکسالی همبستگی بالایی بین ۰/۷۴ تا ۰/۸۱ را برای ماه‌های گرم سال نشان داد در حالی که برای ماه‌های سرد ضریب همبستگی به مقادیر بین ۰/۳۸ تا ۰/۵ کاهش یافت.

در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجنش از دور برای پایش خشکسالی در داخل کشور نیز مطالعات زیادی انجام گرفته است. جلیلی (۱۳۸۴) در مطالعه‌ای از آمار بارندگی ماهانه و روزانه-ی ایستگاه‌های استان تهران و از تصاویر ماهواره-ای AVHRR به ترتیب جهت محاسبه نمایه‌های SPI، NDVI و VCI استفاده نمود. در این مطالعه پس از استخراج نمایه‌های هواشناسی و ماهواره‌ای، تحلیل آماری روی نتایج انجام گرفت. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که نمایه SPI ضرایب همبستگی قابل قبولی را با نمایه‌های ماهواره‌ای در اغلب موارد داشته است. همچنین در بین مقیاس‌های زمانی یک ماهه و سه ماهه، نمایه‌های هواشناسی سه ماهه در بیشتر موارد، همبستگی بهتری را نشان دادند. مودن‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS به بررسی خشکسالی کشاورزی و ارتباط آن با خشکسالی هواشناسی در حوضه آبریز نیشابور بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که بیشترین ضرایب همبستگی میان نمایه

³ Tropical rainfall measuring mission

مهم‌ترین عوارض توپوگرافیک این منطقه می‌توان به وجود کوهستان سهند و رشته کوه‌های ارسباران و میشو اشاره کرد. دشت‌های تبریز، سراب و اهر مهم‌ترین مناطق پست ارتفاعی استان را تشکیل می‌دهند (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۴). ۴۰ درصد پهنه استان کوهستانی، ۲۸/۲ درصد تپه ماهور و ۳۱/۸ درصد را دشت‌ها دربرمی‌گیرند (شکل ۱).



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{SD} \quad [1]$$

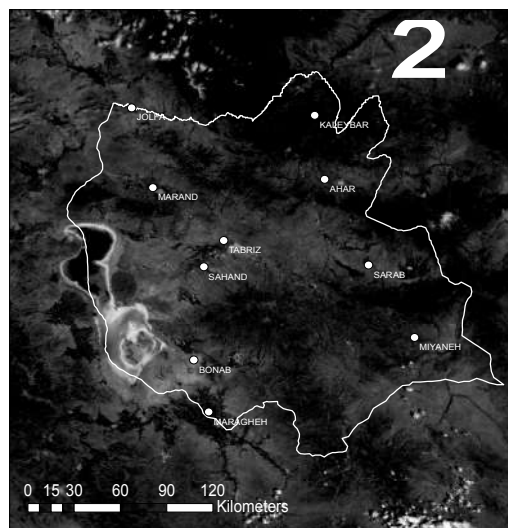
که در آن SPI نمایه بارش استاندارد شده، P_i مقدار بارش در سال i ، \bar{P} میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش در آن ایستگاه است. برای محاسبه این نمایه نخست یک پراکنش آماری مناسب بر داده‌های بلندمدت بارندگی برآزش داده می‌شود. برخی پژوهشگران تابع گاما را بهترین تابع برای برآزش داده‌های بارندگی معرفی کرده‌اند (مک ویسار و همکاران ۲۰۰۷). سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از روابط احتمالاتی به متغیر تصادفی توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌گردد (عیوضی و همکاران ۱۳۸۸، موزن‌زاده و همکاران ۱۳۹۱). در این پژوهش با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های همدیدی استان و فرمول نویسی در محیط نرم‌افزار Excel، نمایه SPI سالانه برای بازه سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ محاسبه شد. روش

خشکسالی کشاورزی به‌دست آمده از روش‌های سنجش از دور و تصاویر MODIS در محدوده استان آذربایجان شرقی برای سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ است. همچنین ارتباط و همبستگی بین نمایه خشکسالی هواشناسی SPI و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی ارزیابی شده و در نهایت توانایی روش‌های سنجش از دور در پایش خشکسالی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، استان آذربایجان شرقی که در سال‌های اخیر با مشکلات کم آبی روبه‌رو بوده است، برگزیده شد. میانگین بارش سالانه استان بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلیمتر در تغییر است و از لحاظ اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. از



شکل ۱- ب) تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس (۱۹ تیر ۱۳۹۳)، به‌همراه موقعیت ایستگاه‌های همدیدی استان آذربایجان شرقی.

نمایه بارش استاندارد شده (SPI)

تعیین وضعیت خشکسالی به وسیله نمایه بارش استاندارد شده بر اساس رابطه زیر انجام می‌شود:

سطح زمین، اقدام به محاسبه و استخراج سه نمایه شدت خشکسالی^۴ (DSI)، وضعیت پوشش گیاهی^۵ (VCI) و وضعیت دمایی^۶ (TCI) شد. جدول ۱ مشخصات کلی این نمایه‌ها را نشان می‌دهد. مقدار این نمایه‌ها با استفاده از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$DSI_i = NDVI_i - NDVI_{mean} \quad [۲]$$

$$VCI_i = \frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad [۳]$$

$$TCI_i = \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100 \quad [۴]$$

در روابط بالا اندیس i مربوط به مقدار نمایه در سال مورد نظر و اندیس‌های $mean$ ، min و max به ترتیب مربوط به میانگین، کمینه و بیشینه بلندمدت نمایه مورد نظر در دوره آماری مورد پژوهش می‌باشند. جدول ۲ بازه خشکسالی نمایه‌های SPI و DSI را نشان می‌دهد (جانسون و همکاران ۱۹۹۳، لشنی زند ۱۳۸۲). در این پژوهش به منظور محاسبه نمایه‌های سنجش از دوری اشاره شده اقدام به کدنویسی در محیط نرم‌افزار ERDAS شده و در نهایت با انجام طبقه‌بندی و ویرایش نهایی نقشه‌ها در محیط ArcGIS نتایج مربوط به نمایه‌های خشکسالی کشاورزی استخراج شد.

کامل محاسبه و برآورد نمایه SPI در مقیاس‌های مختلف با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه در مکی و همکاران (۱۹۹۳) آورده شده است.

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

در این پژوهش با توجه به دقت زمانی و پوشش طیفی بالا، دقت مکانی متوسط و همچنین سهولت دسترسی و عدم نیاز به تصحیح اتمسفری و زمین مرجع نمودن تصاویر از محصولات سنجنده مودیس برای محاسبه نمایه‌های خشکسالی کشاورزی استفاده شد. سنجنده مودیس با دارا بودن ۳۶ باند قادر است اطلاعات دریافتی از سطح زمین را در محدوده طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر و با عرض پوشش ۲۳۳۰ کیلومتر ثبت نماید. توان جداسازی مکانی این باندها ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر در تغییر است. اطلاعات سنجش از دوری مورد استفاده در این پژوهش شامل محصولات آماده MOD11A1 و MOD13Q1 است که به ترتیب مربوط به سری‌های زمانی نمایه NDVI و دمای سطح زمین می‌باشند که مستقیماً از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا دانلود شده و نیاز به تصحیح هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری ندارند. برای تعیین بیشینه پوشش گیاهی در سال، نخست، تصاویر NDVI برای سه ماه خرداد، تیر و مرداد تهیه شد، سپس با مقایسه مقدار میانگین در هر ماه، ماه خرداد با بیشینه مقدار میانگین NDVI به عنوان ماه معرف برگزیده شد. بنابراین برای دوره آماری ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ از محصولات اشاره شده (NDVI و دمای سطح زمین) برای ماه خرداد و در مجموع ۲۴ محصول استفاده شد.

نمایه‌های خشکسالی کشاورزی سنجش از دور

پایه خشکسالی با استفاده از روش‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای نیازمند استخراج نمایه‌های مختلف از باندهای طیفی نوری و گرمایی است. در این پژوهش با استفاده از نمایه NDVI و دمای

⁴ Drought severity index

⁵ Vegetation condition index

⁶ Temperature condition index

جدول ۱- اطلاعات سنجش از دوری و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی مورد استفاده در پژوهش.

نمایه خشکسالی	باند و یا نمایه استفاده شده	بازه	شرایط نرمال	خشکسالی شدید	پوشش گیاهی مترکم
NDVI	باند ۱ و ۲ مودیس	-۱ تا +۱	وابسته به محل پژوهش	-۱	+۱
DSI	NDVI و میانگین NDVI بلندمدت	-۱ تا +۱	.	-۱	+۱
VCI	NDVI و کمینه و بیشینه NDVI بلندمدت	۰ تا ۱۰۰ درصد	۵۰ درصد	۰ درصد	۱۰۰ درصد
TCI	LST و کمینه و بیشینه LST بلندمدت	۰ تا ۱۰۰ درصد	۵۰ درصد	۰ درصد	۱۰۰ درصد

جدول ۲- مقیاس طبقه‌بندی برای مقادیر نمایه DSI و SPI.

طبقه	SPI	DSI
مرطوب شدید	>۲	۰/۷۱ تا ۰/۹۳
خیلی مرطوب	۱/۵ تا ۱/۹۹	۰/۴۹ تا ۰/۷۰
مرطوب متوسط	۱ تا ۱/۴۹	۰/۲۷ تا ۰/۴۸
تقریباً نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹	۰ تا ۰/۲۶
خشک متوسط	-۱ تا -۱/۴۹	-۰/۱۷ تا -۰/۰۱
خیلی خشک	-۱/۵ تا -۱/۹۹	-۰/۳۸ تا -۰/۱۸
خشک شدید	<-۲	-۰/۶ تا -۰/۳۹

در نمایه VCI بازه ۰ تا ۳۵ درصد نشان‌دهنده درجات مختلفی از خشکسالی، بازه ۳۵ تا ۵۰ درصد، نشان‌دهنده شرایط نرمال گیاهی و بالاتر از ۵۰ درصد نشان‌دهنده شرایط بهینه و فرانرمال است (کوگان ۱۹۹۵). در نمایه TCI مقادیر در محدوده ۵۰ درصد نشان‌دهنده شرایط نرمال دمایی، مقادیر بالاتر از ۵۰ درصد نشان‌دهنده نزدیک شدن دما به کمینه مقدار و مقادیر کمتر از ۵۰ درصد نشان‌گر نزدیک شدن دما به مقادیر بیشینه در بلندمدت می‌باشد. به طوری که در TCI برابر با صد درصد، دما برابر با کمینه مقدار و در مقدار صفر درصد، برابر با بیشینه مقدار در دوره مورد مطالعه می‌باشد (تتکابیل و همکاران ۲۰۰۴).

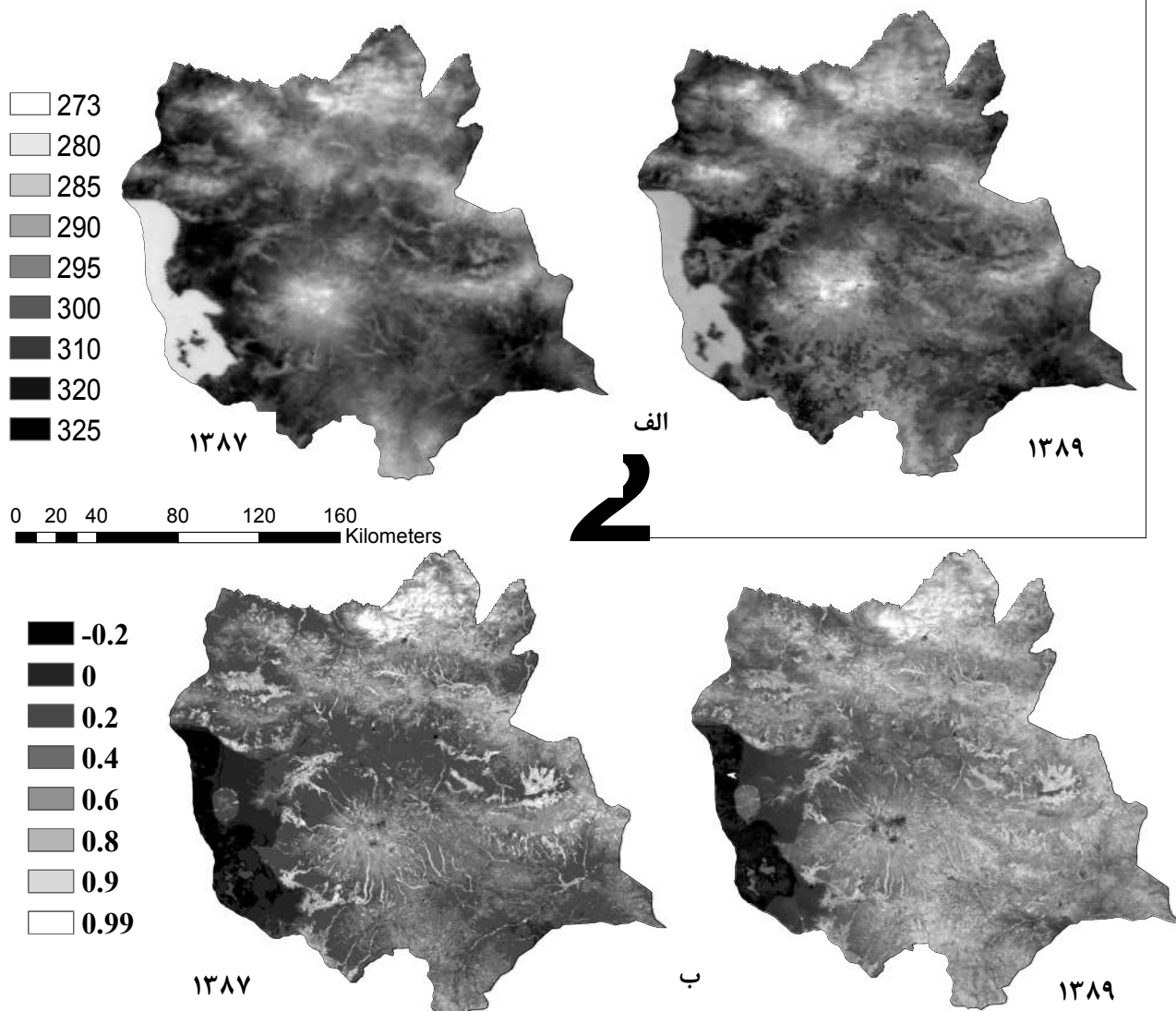
نتایج و بحث

پهنه‌بندی نمایه گیاهی و دمای سطح زمین

شکل ۲ نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی نمایه گیاهی NDVI و دمای سطح زمین (بر حسب درجه کلون) استان آذربایجان شرقی را، برپایه داده‌های سنجش از دور برای خردادماه سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹، نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که در پیکره‌های آبی مانند سطح دریاچه ارومیه دمای سطح زمین و نمایه NDVI دارای کمینه مقدار می‌باشند. با توجه به اینکه دو سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ به ترتیب نشان‌گر سال‌های خشک و تقریباً نرمال می‌باشند (جدول ۳)، دمای سطح زمین در سال ۱۳۸۷ دارای مقادیر بیشتری نسبت به سال ۱۳۸۹ بوده (مناطق تیره در نقشه سال ۱۳۸۷ (الف)) و نیز نمایه NDVI برای سال ۱۳۸۷ در غالب مناطق استان مقادیر کمتری نسبت به سال ۱۳۸۹ دارد (مناطق تیره در نقشه سال ۱۳۸۷ (ب)). همچنین دمای سطح زمین در حاشیه دریاچه غالباً بیشتر از شمال استان به‌ویژه مناطق جنگلی شمال شرق است،

دشت‌های کشاورزی در سال خشک (۱۳۸۷) کاملاً مشهود بوده ولی در مناطق شمال استان (جنگل‌های شمال‌شرق و دشت‌های کشاورزی حاشیه رود ارس) تغییر خاصی مشاهده نمی‌شود که این امر ناشی از متفاوت بودن اقلیم منطقه می‌باشد.

به طوری که کمینه دما در استان مربوط به مناطق کوهستانی و جنگلی می‌باشد. علت این امر بالا بودن میزان تبخیر و تعرق (شار گرمای نهان) و در نتیجه پایین بودن سهم میزان شار گرمای محسوس در مناطق جنگلی متراکم می‌باشد. کاهش نمایه NDVI در



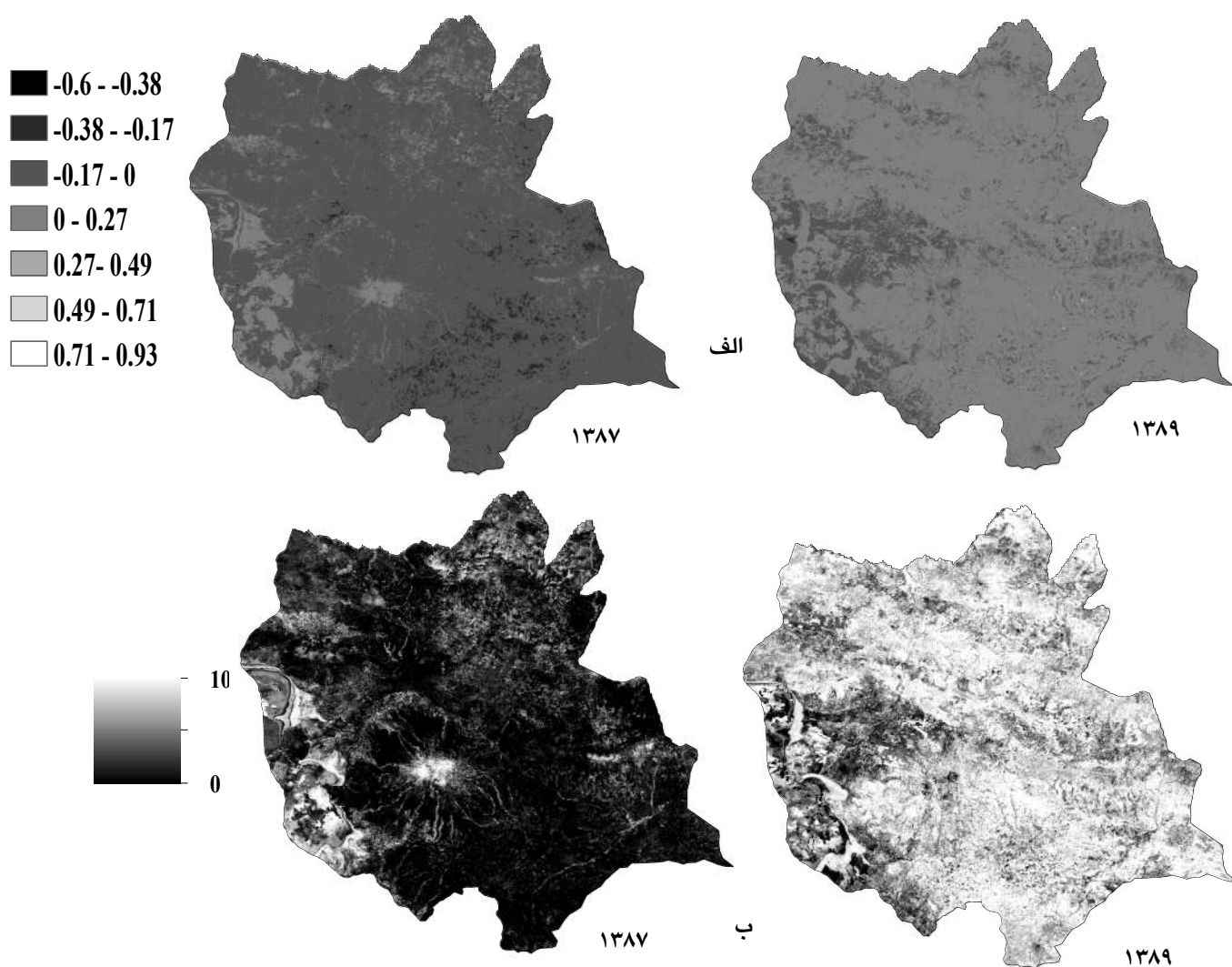
شکل ۲- الف) نقشه‌های دمای سطح زمین، ب) نقشه‌های شاخص NDVI در ماه خرداد.

چنان‌که انتظار می‌رود، بررسی نقشه‌های نمایه DSI و VCI و مقادیر شکل ۴ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۷ (سال خشک) غالب مناطق استان مقادیر کمتری برای این نمایه‌ها نسبت به سال ۱۳۸۹ دارند. همچنین بررسی نقشه TCI نیز نشان می‌دهد که در سال خشک غالب

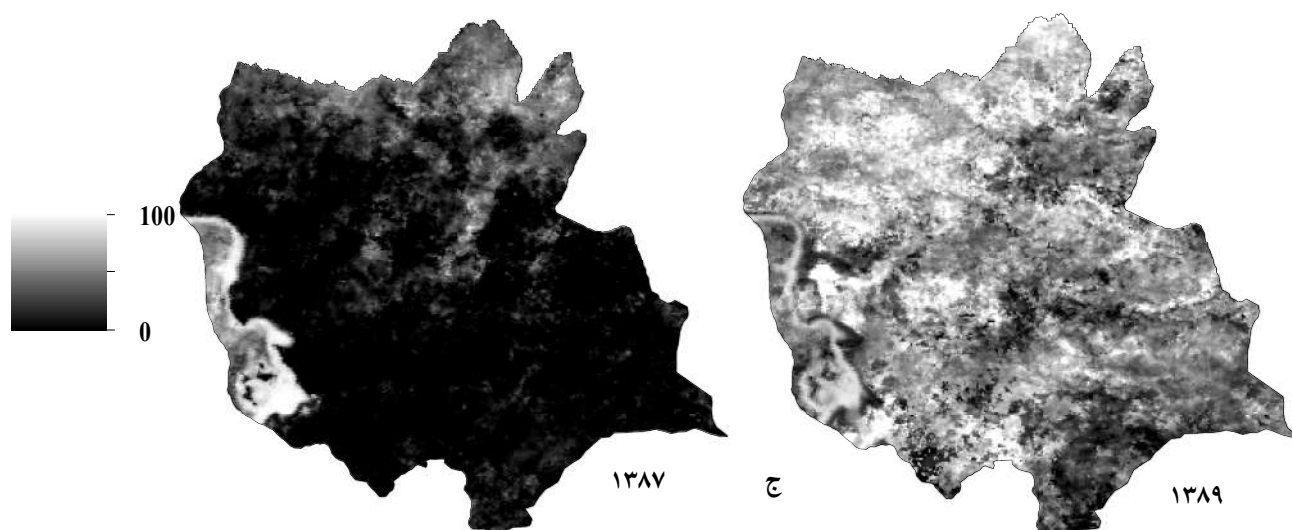
پهنه‌بندی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی مکانی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی حاصل از سنجش از دور (DSI, VCI, TCI) برای سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۹ از دوره آماری مورد مطالعه را در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد.

دارای پوشش جنگلی متراکم می‌باشند، از لحاظ نمایه‌های خشکسالی کشاورزی و دمایی حتی در سال ۱۳۸۷ نیز نسبت به سایر مناطق در وضعیت بهتری قرار دارند. علت این امر واقع شدن این مناطق در حاشیه رود ارس و بنابراین متفاوت بودن اقلیم آن با سایر مناطق و نیز بهره‌مند بودن این منطقه از شبکه آبیاری یکپارچه می‌باشد.

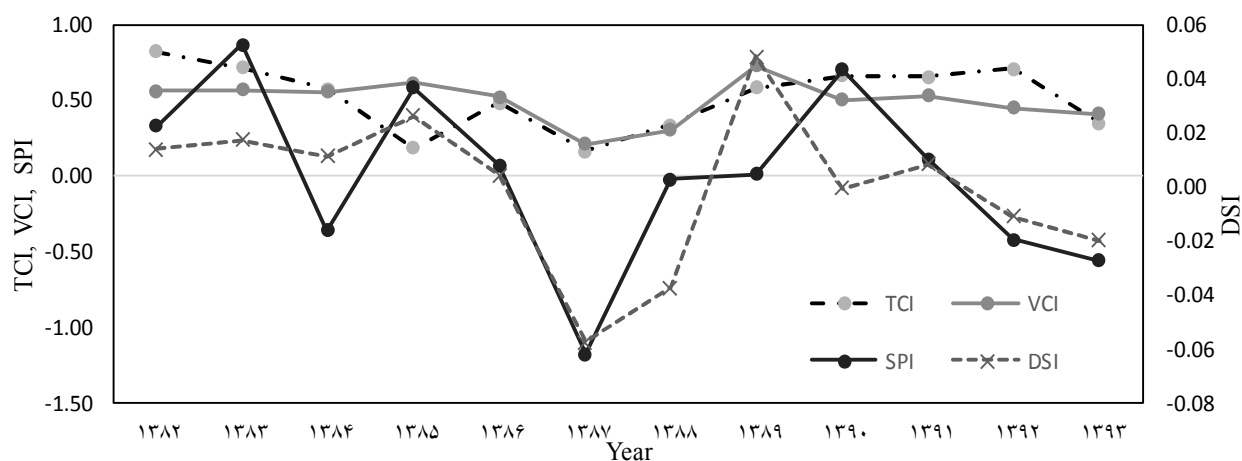
مناطق استان از لحاظ نمایه دمایی در وضعیت بدتری قرار دارند. با این حال، نمایه‌های پوشش گیاهی (DSI و VCI در دشت‌های حاشیه دریاچه (شکل ۳)، حتی در سال ۱۳۸۹ نیز نسبت به سایر مناطق استان مقادیر کمتری داشته و در وضعیت زیرنرمال قرار دارند. همان‌طور که برای نمایه NDVI و دمای سطح زمین بحث شد، دشت‌های کشاورزی شمال (حاشیه رود ارس) و همچنین مناطق شمال‌شرق استان که غالباً



شکل ۳- الف) نقشه‌های شاخص DSI، ب) نقشه‌های شاخص VCI در محدوده استان آذربایجان شرقی.



شکل ۳-ج) نقشه‌های شاخص TCI در محدوده استان آذربایجان شرقی.



شکل ۴- نمودار تغییرات مقادیر میانگین نمایه‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی در دوره مورد مطالعه.

نمایه خشکسالی هواشناسی (SPI)

جدول ۳ مقادیر نمایه خشکسالی هواشناسی SPI را برای تمام ایستگاه‌های همدیدی استان در دوره آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در سال ۱۳۸۷ غالب ایستگاه‌ها از لحاظ مقدار نمایه SPI در وضعیت خشکسالی متوسط و زیاد قرار دارند. این وضعیت در نمایه‌های خشکسالی کشاورزی حاصل از سنجش از دور نیز کاملاً مشهود است. چنان‌که در مورد نمایه‌های خشکسالی سنجش از

دوری نیز بیان شد، دو ایستگاه جلفا و کلیبر که در مناطق شمال استان در حاشیه رود ارس قرار دارند در سال ۱۳۸۷ در شرایط تقریباً نرمال بوده، به‌طوری‌که ایستگاه جلفا با مقدار $-0/28$ دارای بیشینه و ایستگاه میانه با مقدار $-1/73$ دارای کمینه مقدار نمایه SPI در سال ۱۳۸۷ می‌باشند. بررسی نقشه‌های نمایه خشکسالی کشاورزی (شکل ۳) نیز نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۷ ایستگاه میانه در وضعیت بحرانی، ایستگاه‌های جلفا و کلیبر در وضعیت نرمال و سایر ایستگاه‌ها

و ایستگاه تبریز با میانگین مقدار ۰/۵۸- به ترتیب دارای بیشینه و کمینه مقدار نمایه SPI در دوره آماری مورد مطالعه می‌باشند.

در وضعیت زیر نرمال قرار دارند که نشان‌دهنده تطابق نتایج حاصل از نمایه‌های خشکسالی کشاورزی با نمایه هواشناسی SPI است. همچنین در جدول ۴ مشاهده می‌شود که ایستگاه جلفا با میانگین مقدار ۰/۶۰

جدول ۳- مقادیر نمایه SPI در ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳.

ایستگاه	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۴	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	۱۳۹۳	میانگین
جلفا	۱/۴۷	۱/۶۷	۰/۵۵	-۰/۰۱	۰/۴۴۸	-۰/۳۸	۰/۳۶	۱/۹۶	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۴۱	-۰/۸۹	۰/۶۰
کلیبر	۱/۴	۰/۴۸	-۱/۳۸	-۱/۴۹	۰/۳۴	-۰/۵۳	-۰/۶۶	۰/۲۸	۲/۰۲	-۰/۰۴	۰/۷۱	-۰/۱۹	۰/۱۹
اهر	-۰/۱۴	۱/۴۱۳	-۰/۹۲	۰/۱۸	۰/۸۹	-۱/۵۵	-۲/۱	-۰/۱۱۷	۰/۹۶	۰/۱۲۵	-۱/۳۴	۰/۶۱	-۰/۱۷
مرند	۱/۳۶	۰/۶۳	-۱/۰۸	۰/۳۳	۰/۸۷	-۱/۲۱	۰/۹	۰/۶۴	۰/۴۵۷	۰/۰۳	۰/۹۳	-۰/۴	۰/۲۹
تبریز	-۰/۸۳	۰/۱۳	-۰/۶	۰/۴۰۲	-۰/۶۵	-۱/۶۶	-۰/۴۷۶	-۱/۴۳	۰/۰۸	-۰/۸۷	-۰/۲۹	-۰/۷۹	-۰/۵۸
سهند	-۰/۹۳	۲/۱۲	۰/۱۷۴	۱/۴۹	-۰/۳۶	-۱	۰/۰۶	۰/۳۸	۰/۵۴	-۰/۰۱	۰/۰۷	-۱/۶	۰/۰۸
سراب	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۵۷	-۰/۲۶	-۱/۲	۰/۳۷	-۰/۰۲	۱/۳۴	۰/۸۴	-۱/۳۵	-۰/۷	۰/۱۷
میانه	۰/۰۶	-۰/۰۴	-۰/۰۲	۰/۷۵	-۰/۲۴	-۱/۷۳	۰/۲۶	-۰/۰۴	۰/۱۴	۱/۳۵	-۱/۲۹	-۰/۲۱	-۰/۰۸
بناب	۰/۳۶	۱/۰۵	-۰/۳۳	۲/۵۲	۰/۱۳۸	-۱/۰۵	۰/۰۸	-۰/۵	۰/۶۸	-۰/۲۴	-۰/۴۹	-۰/۵۴	۰/۱۴
مراغه	-۰/۴۵	۰/۳	-۰/۵۸	۱/۰۵	-۰/۵	-۱/۶	-۰/۳۴	-۱/۰۷	۰/۰۵	-۰/۹۱	-۱/۶۲	-۰/۹۴	-۰/۵۵

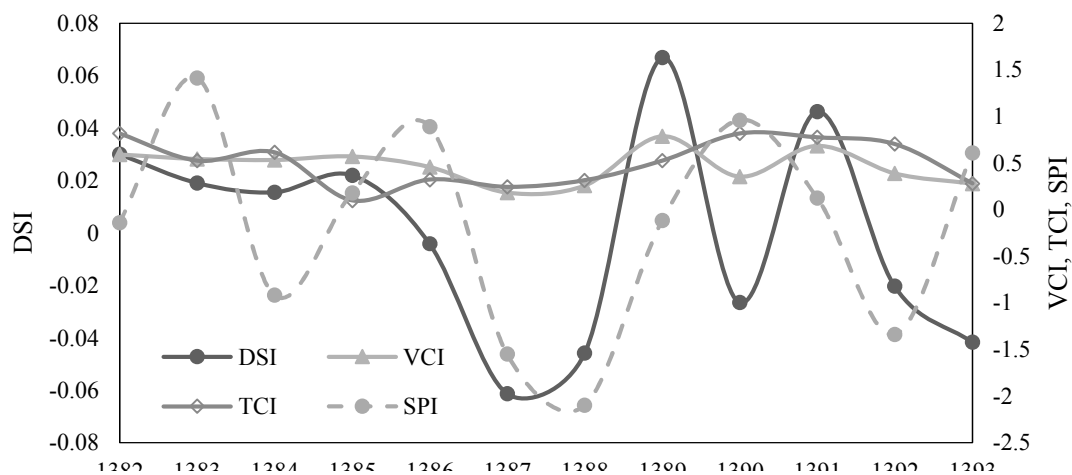
پرباران بودن منطقه جلفا و یکنواخت‌تر بودن پراکنندگی زمانی بارش‌ها در این منطقه نسبت داد. همین امر سبب تطابق بیشتر نمایه‌های خشکسالی کشاورزی با نمایه هواشناسی SPI در ایستگاه جلفا شده است. در جدول ۴ نیز مشاهده می‌شود که بیشترین همبستگی بین نمایه هواشناسی SPI و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی در ایستگاه جلفا رخ داده است. همچنین در ایستگاه کلیبر که غالباً پوشیده از جنگل‌های متراکم می‌باشد، همبستگی بین نمایه SPI و نمایه‌های پوشش گیاهی DSI و VCI دارای کمترین مقدار بوده ولی ضریب همبستگی بین نمایه SPI و نمایه دمایی TCI بیشترین مقدار را در این ایستگاه داراست. دلیل این امر ممکن است تأثیر-پذیری کمتر پوشش گیاهی مناطق جنگلی از شرایط اقلیمی و بارندگی در کوتاه‌مدت باشد. همچنین مشاهده می‌شود که در غالب ایستگاه‌ها مقدار ضریب همبستگی بین نمایه SPI و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی (DSI و VCI) همواره بیشتر از مقدار همبستگی بین نمایه SPI و نمایه دمایی TCI است، به طوری که بیشترین ضریب

مقایسه آماری نمایه‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی

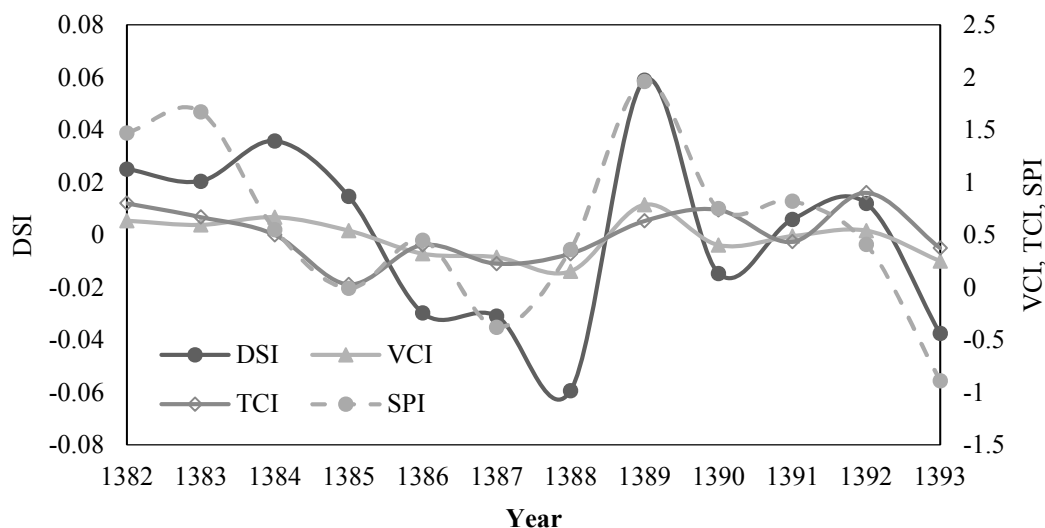
با توجه به مطالب بالا، نمودارهای تغییرات زمانی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی تنها برای دو ایستگاه اهر و جلفا در شکل ۵ آورده شده است. همچنین مقادیر ضریب همبستگی بین این نمایه‌ها برای تمامی ایستگاه‌ها و نیز برای میانگین مقدار متناظر نمایه‌ها در استان در جدول‌های ۴ و ۵ در دوره آماری مورد مطالعه نشان داده شده است. بررسی نمودارها حاکی از این است که روند تغییرات زمانی نمایه‌ها مشابه هم بوده، به طوری که در سال ۱۳۸۷ در ایستگاه اهر تمامی نمایه‌ها تقریباً در کمینه مقدار خود می‌باشند. همچنین در ایستگاه جلفا تمامی نمایه‌ها از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۸۷ روند کاهشی داشته، سپس تا سال ۱۳۸۹ تقریباً تمامی نمایه‌ها افزایش یافته و دوباره تا سال ۱۳۹۳ روندی کاهشی دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات زمانی نمایه SPI در ایستگاه اهر نسبت به ایستگاه جلفا بیشتر می‌باشد که این امر را می‌توان به

همبستگی بین نمایه SPI و نمایه دمایی TCI در دو ایستگاه جلفا و کلیبر می‌باشد که در مناطق شمال استان در حاشیه رود ارس واقع شده‌اند و به نظر می‌رسد دلیل این امر یکنواختی بیشتر پراکنندگی زمانی بارش‌ها در این دو منطقه باشد. جدول ۵ نشان می‌دهد که بیشترین

مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۶۴ برای مقادیر میانگین در محدوده استان بین دو نمایه SPI و DSI بوده و کمترین مقدار آن برابر با ۰/۴۴ مربوط به نمایه‌های SPI و TCI است.



شکل ۵- الف) نمودار تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی در ایستگاه اهر.



شکل ۵- ب) نمودار تغییرات زمانی شاخص‌های خشکسالی کشاورزی و هواشناسی در ایستگاه جلفا.

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی نمایه‌ها در ایستگاه‌های استان در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳.

ایستگاه	R (SPI-DSI)	R (SPI-VCI)	R (SPI-TCI)
سهند	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۵
میانه	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۲۶
کلیبر	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۷۳
مراغه	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۱۴
بناب	۰/۴۱	۰/۴۱	۰/۳۱
تبریز	۰/۲۴	۰/۲۳	۰/۱۰
سراب	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۶
اهر	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۱۳
جلفا	۰/۶۸	۰/۷۱	۰/۵۹
مرند	۰/۳۱	۰/۳۰	۰/۴۹

جدول ۵- مقادیر ضریب همبستگی نمایه‌ها در محدوده استان در دوره آماری ۱۳۸۲-۱۳۹۳.

نمایه	SPI	DSI	VCI	TCI
SPI	۱/۰۰	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۴۴
DSI		۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۴۷
VCI			۱/۰۰	۰/۴۹
TCI				۱/۰۰

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با استفاده از سری‌های زمانی نمایه NDVI و LST حاصل از سنجنده مودیس اقدام به استخراج نمایه‌های DSI، VCI و TCI و در نهایت ارزیابی خشکسالی کشاورزی در استان آذربایجان شرقی شد. همچنین با استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه ایستگاه‌های همدیدی استان، نمایه SPI سالانه برای دوره مورد مطالعه (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳) محاسبه شد. نتایج حاکی از توانایی نمایه‌های حاصل از سنجش از دور در مطالعه و پایش خشکسالی کشاورزی در منطقه بود. نتایج پژوهش رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) نیز دقت و توانایی نمایه‌های سنجش از دور در ارزیابی خشکسالی را تأیید کرده است. همچنین این یافته‌ها با نتایج مودن‌زاده و همکاران (۱۳۹۱) و میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) همخوانی خوبی دارد. سال ۱۳۸۷ هم در طبقه‌بندی نمایه خشکسالی هواشناسی و هم در

طبقه‌بندی نمایه‌های خشکسالی کشاورزی در کلاس خشکسالی متوسط قرار گرفت که نشان از همبستگی نتایج این نمایه‌ها دارد. بالاترین ضریب همبستگی در استان بین دو نمایه SPI و DSI با مقدار برابر ۰/۶۴ رخ داد و پایین‌ترین مقدار آن مربوط به نمایه‌های SPI و TCI برابر با ۰/۴۴ بود. همچنین بالاترین همبستگی بین نمایه هواشناسی بارش استاندارد شده و نمایه‌های خشکسالی کشاورزی مربوط به ایستگاه جلفا و کمینه مقادیر همبستگی بین این نمایه‌ها مربوط به ایستگاه کلیبر می‌باشد. ایستگاه جلفا با توجه به واقع شدن در حاشیه رود ارس و پرباران بودن منطقه در کل دوره آماری از هر دو دیدگاه هواشناسی و کشاورزی در وضعیت نرمال قرار دارد. پوشش گیاهی ایستگاه کلیبر نیز با توجه به اینکه در مناطق جنگلی متراکم قرار گرفته کمترین تأثیر را از شرایط اقلیمی و بارش داشته است.

منابع مورد استفاده

- جلیلی ش، ۱۳۸۴. مقایسه شاخص‌های ماهواره‌ای و هواشناسی در پایش خشکسالی‌ها (مطالعه موردی: استان تهران). پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS. دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- رضایی ع، نظری و فریدپور م، ۱۳۹۲. برآورد خشکسالی کشاورزی با تاکید بر تصاویر ماهواره ای و شاخص سلامت پوشش گیاهی (منطقه مورد مطالعه: آذربایجان شرقی و غربی). همایش ملی پدافند غیر عامل در بخش کشاورزی، جزیره قشم، ایران.
- رضایی بنفشه م، رضایی ع و فریدپور م، ۱۳۹۴. تحلیل خشکسالی کشاورزی استان آذربایجان شرقی با تاکید بر سنجش از دور و شاخص وضعیت پوشش گیاهی. دانش آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، صفحه‌های ۱۱۳ تا ۱۲۳.
- عیوضی م، مساعدی ا و دهقانی ا، ۱۳۸۸. مقایسه روش‌های مختلف پیش بینی شاخص خشکسالی SPI. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲، صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۶۷.
- لشنی زند م، ۱۳۸۳. بررسی اقلیمی خشکسالی‌های ایران و راهکارهای مقابله با آن. رساله دکتری جغرافیای طبیعی. دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- موذن زاده ر، ارشد ص، قهرمان ب و داوری ک، ۱۳۹۱. پایش خشکسالی در کشت‌های غیر آبی با استفاده از سنجش از دور. مدیریت آب و آبیاری، جلد ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۳۹ تا ۵۲.
- میرموسوی ح و کریمی ح، ۱۳۹۲. مطالعه اثر خشکسالی بر روی گیاه با استفاده از مودیس. جغرافیا و توسعه، جلد ۳۱، صفحه‌های ۵۷ تا ۷۶.
- Caccamo J, Chisholm LA, Bradstock RA and Puotinen ML, 2011. Assessing the sensitivity of MODIS to monitor drought in high biomass ecosystems. *Remote Sensing Environment* 115: 2626-2639.
- Jensen JR, 1996. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Johnson GE, Achutuni VR, Thiruvengadachari S and Kogan FN, 1993. The role of NOAA satellite data in drought early warning and monitoring: Selected case studies. Pp. 31-48. In: Wilhite DA (ed). *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Chapter 3. Kluwer Academic Publishers.
- Keshavarz MR, Vazifehdoust M and Alizadeh A, 2014. Drought monitoring using a Soil Wetness Deficit Index (SWDI) derived from MODIS satellite data. *Agricultural Water Management* 132: 37-45.
- Kogan FN, 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data. *Weather in the United States. Bulletin of American Meteorological Society* 76: 655-668.
- Lessel J, Sweeney A and Ceccato P, 2016. An agricultural drought severity index using quasi-climatological anomalies of remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 37 (4): 913- 925.
- McKee TB, Doesken NJ and Kleist J, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California 17-22 January 1993. Boston, American Meteorological Society 179-184.
- McVicar TR, Van Niel TG, Li LT, Hutchinson MF, Mu XM and Liu ZH, 2007. Spatially distributing monthly reference evapotranspiration and pan evaporation considering topographic influences. *Journal of Hydrology* 338: 196-220.
- Nichol JE and Abbas S, 2015. Integration of remote sensing datasets for local scale assessment and prediction of drought. *Science of the Total Environment* 505: 503- 507.
- Peters E, 2003. *Propagation of drought through groundwater systems-illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments*. Ph.D. Thesis, Wageningen University, the Netherlands.
- Shahabfar A, Ghulam A and Eitzinger J, 2012. Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 119-127.
- Tate EL and Gustard A, 2000. Drought definition: a hydrological perspective. Pp. 23-48. In: Vogt JV and Somma F (eds). *Drought and Drought Mitigation in Europe*. Kluwer Academic Publishers.
- Thenkabail PS, Gamage MSDN, Smakhtin VU, 2004. The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in Southwest Asia. *Research Report 85 Colombo*, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Zhang A and Jia G, 2013. Monitoring meteorological drought in semiarid regions using multi-sensor microwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 134: 12- 23.