

تحلیل فضایی خشک‌سالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه موردی: حوضه مهارلو بختگان)

مرضیه موغلی*

دانشیارگروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴

چکیده

خشک‌سالی یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های اقلیمی است که تأثیر آن در مقیاس منطقه‌ای اهمیت بیشتری دارد. اهمیت پدیده خشک‌سالی در حوضه‌ای همچون مهارلو بختگان به دلیل شرایط استراتژیک منطقه، وسعت اراضی کشاورزی و وجود دریاچه‌های مهارلو بختگان بارزتر می‌باشد، بر این اساس این پژوهش با هدف ارزیابی خشک‌سالی با استفاده از سنجش از دور، آمار فضایی در حوضه مهارلو بختگان تهیه شده است. در این پژوهش، به منظور بررسی اثر خشک‌سالی روی پوشش گیاهی از تصاویر مادیس برای محاسبه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد و سپس تغییرات مساحت پوشش گیاهی بررسی شد. نتایج نشان داد که در سال‌های مورد مطالعه مساحت پوشش گیاهی در منطقه کاهش یافته است. از دلایل این تغییرات می‌توان به کاهش بارندگی‌های زمستانه، تغییرات کاربری اراضی، افزایش چرای خارج از فصل و بیرویه اشاره کرد. در واقع نتایج بیانگر وجود خشک‌سالی در منطقه می‌باشد. همچنین برای بررسی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان، از داده‌های هواشناسی برای برآورد شاخص بارش استاندارد شده (SPI) و تحلیل آمار فضایی، از آمار ۶ ایستگاه منتخب سینوپتیک (شیراز، زرقان، سد درودزن، اقلید، نی ریز و آباده) طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج شاخص موران در مورد خشک‌سالی نشان داد که مقادیر مربوط به سال‌های مختلف در طول دوره آماری دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک هستند که نشان دهنده این است که داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای الگوی خوشه‌ای است. همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک سالی را مورد تأیید قرار داد.

واژگان کلیدی: خشک‌سالی، شاخص پوشش گیاهی، سنجش از دور. حوضه مهارلو

مقدمه

خشک‌سالی یکی از پیچیده‌ترین بلایای طبیعی است که تحت شرایط محیطی در همه مکانهای جغرافیایی (هم مناطق مرطوب و هم خشک) رخ می‌دهد؛ که افراد بیشتری تحت تأثیر آن، نسبت به هر رویداد شدید دیگر قرار می‌گیرند. (Wilhite D.A. 2017) در طی چند دهه گذشته آسیب‌ها و اثرات اقتصادی بلایای جوی و اقلیمی به ویژه خشک‌سالی

در جهان و ایران با سرعت زیادی رو به افزایش بوده و همچنان ادامه دارد. دامنه این بلایا و ارتباط جهانی ما تا نقطه‌ای رشد کرده که در آن بلایا ممکن است پیامدهای منطقه‌ای، ملی و حتی پیامدهای جهانی داشته باشد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که جوامع جهانی و ایران نسبت به قبل در برابر بلایای جوی و اقلیمی بویژه خشک‌سالی حساس‌تر شده‌اند. خشک‌سالی شبکه پیچیده‌ای از تأثیرات را ایجاد می‌کند که بخش‌های مختلفی از جامعه از جمله اقتصاد را تحت‌الشعاع خود قرار داده و می‌تواند به فراسوی مناطقی که خشک‌سالی را تجربه می‌کنند، سرایت کند. این‌ها پدیده‌های گسترده‌ای هستند، زیرا حدود نیمی از سطح خشک‌سالی‌های زمین مستعد آن‌ها می‌باشد. نکته مهم‌تر این است که تقریباً کل زمین‌های کشاورزی عمده در آنجا واقع شده‌اند. در میان کل مخاطرات طبیعی قرن بیستم، خشک‌سالی دارای بیشترین تأثیرات خسارت‌آور می‌باشد. (Bruce, J.P. 2016) در نتیجه لزوم گسترش روش‌های نوین و استفاده از تکنیک جدید سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشک‌سالی، وجود دارد. امروزه سیستم اطلاعات مکانی یکی از علوم مفید و کارا در اغلب بررسی‌های محیطی از جمله خشک‌سالی می‌باشد. با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آن‌ها، امکان مطالعه خشک‌سالی با استفاده از این تکنولوژی فراهم شده است. با استفاده از روش‌های سنجش از دور می‌توان خشک‌سالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان و کشاورزی دارد، مطالعه کرد و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و موثرتری برای مدل‌سازی خشک‌سالی دست یافت (Heim RR, 2017). 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. از مزایای استفاده از سنجش از دور نسبت به روش‌های هواشناسی می‌توان به افزایش نقاط نمونه‌برداری، سطح پوشش وسیع‌تر، قدرت تفکیک زمانی بالاتر و هزینه کمتر اشاره کرد. دقت بیشتر در پردازش تصاویر جهت استخراج شاخص‌ها می‌تواند کیفیت آن‌ها را ارتقا بخشد و در نهایت باعث کارایی بیشتر در مدل‌های پیش‌بینی خشک‌سالی شود. در زمینه خشک‌سالی پژوهش‌های زیادی در جهان انجام شده است از جمله Killeen, T.J- و همکاران (2007) به بررسی لکه‌های خشک و مرطوب منطقه آند پرداختند. (Anselin, L. (2011) به بررسی تغییرات آب و هوایی و نقاط داغ ایالات متحده آمریکا پرداختند. آن‌ها چند سناریو از الگوی اقلیمی را برای شناسایی تغییرات آب و هوایی نقاط داغ در ایالات متحده آمریکا بررسی کردند. (Ohayon, B. (2011) با استفاده از فراسنج‌های اقلیمی متوسط درجه حرارت ماهانه و متوسط کمینه و بیشینه دما در دوره ۳۷ ساله‌ای در سرزمین‌های فلسطین اشغالی، به مقایسه نتایج روش‌های آمار فضایی و سنتی پرداخت. (Jia, S. Zhu 2019) با استفاده از روش‌های آمار فضایی به ریزمقیاس نمایی الگوریتم بارش شبکه TRMM براساس شاخص NDVI و الگوی رقومی ارتفاع در حوضه کادمیوم چین پرداختند. در این پژوهش، از شاخص موران جهانی برای تحلیل الگوی شاخص NDVI استفاده شد. (Chao- bing, H.L.2017) لکه‌های داغ جزایر حرارتی چین را بررسی کردند. (Allard, D. and Soubeyrand, S. (2018) در پژوهشی در منطقه کولمر، واقع در شمال شرق فرانسه، برای داده‌های آب و هوایی و الگوهای پراکنندگی اپیدمیولوژی گونه‌های گیاهی، از رویکرد کاربردی آمار فضایی بهره برده، مناطق حساس به تغییرات آب و هوایی را

مشخص کردند. (Matkan, Ali Akbar-) به بررسی نقاط پر تصادف در مناطق شهری با استفاده از آمار فضایی پرداختند. تعداد تصادفات سالیانه در ۲۵۳ منطقه ترافیکی شهر مشهد در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ جمع آوری و نتایج با استفاده از شاخص موران او (Local Indicator of Spatial Association (LISA)) مورد بررسی قرار گرفت. (Bajat, B. Blagojević 2014) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل فضایی روند دما در صربستان (۲۰۱۰-۱۹۶۱) پرداختند. در این پژوهش، از داده‌های متوسط ماهانه دمای ۶۴ ایستگاه همدید استفاده شد و سپس روند دامنه‌های دما از روند خطی و همچنین روش کمترین مربعات معمولی به دست آمد. برای بررسی خودهمبستگی فضایی نیز از روش موران جهانی استفاده شد. در این رابطه در ایران نیز پژوهش‌های بسیاری انجام شده از جمله عساکره و سیفی پور (۱۳۹۲) که ساختار مکانی بارش سالانه ایران را با استفاده از توابع موران و انحراف فاصله استاندارد مورد بررسی قرار دادند. کرمی و داداشی رودباری (۱۳۹۳) در پژوهشی به ارزیابی الگوهای بارشی استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های نوین آمار فضایی پرداختند. در این پژوهش از روشهای آمار فضایی مانند خودهمبستگی فضایی، شاخص موران جهانی، شاخص انسلین محلی موران، تحلیل خوشه و ناخوشه و لکه داغ استفاده کردند. حکیم دوست و همکاران (۱۳۹۳) پژوهش با استفاده از داده بارش ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و بارانسنجی طی سال‌های (۲۰۱۰-۱۹۹۸) اقدام به پهنه بندی خشک‌سالی با استفاده از روش‌های زمین آمار گردید و همچنین جهت تحلیل فضایی خشک‌سالی از شاخص خود همبستگی فضایی استفاده گردید و اثرات آن بر الگوی فضایی مکان‌گزینی سکونتگاه‌های روستایی استان مازندران پرداخته شد. تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران در بازه زمانی (۱۹۸۲-۲۰۱۲) با استفاده از خودهمبستگی فضایی موران جهانی، شاخص انسلین محلی موران و لکه‌های داغ نشان داد که پراکنش فضایی رطوبت در ایران دارای الگوی خوشه‌ای بالاست. (قالهرودی و همکاران، ۱۳۹۴). داداشی رودباری و فلاح قالهرودی (۱۳۹۴) به واکاوی خودهمبستگی فضایی بارش فصلی ایران با استفاده از برون‌داد پایگاه داده بارش APHRODITE پرداختند. بررسی‌های آماری نشان داد که فصل تابستان، بیشترین ضریب تغییرات بارش (۲۶۷/۵۰) ایران را دارا است که توسط شاخص‌های ضریب درجه اوج و گیتس آورد جی نیز تأیید شده است. خسروی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به بررسی خود همبستگی فضایی و شناسایی الگوی رفتاری مقادیر فشار بخار آب در جنوب و جنوب غرب ایران با استفاده از تکنیک تحلیل اکتشافی داده‌های فضایی و آماره موران محلی پرداختند و تأثیرات این عنصر مهم اقلیمی را در کانون‌های جمعیتی مورد بحث قرار دادند. نتایج تحلیل خود همبستگی فضایی طی سه دهه گذشته (۱۹۸۱-۲۰۱۰) حاکی از تقویت خوشه‌های فشار بخار آب زیاد (بالا-بالا) و تضعیف خوشه‌هایی با مقادیر پایین (پایین-پایین) است. حجازی زاده و جوی زاده (۱۳۹۸) در پژوهشی به تحلیل آمار فضایی خشک‌سالی در ایران پرداختند. نتایج شاخص موران در مورد خشک‌سالی نشان داد که مقادیر مربوط به سال‌های مختلف در طول دوره آماری دارای ضریب مثبت و نزدیک به یک می‌باشند که نشان‌دهنده این است که داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای

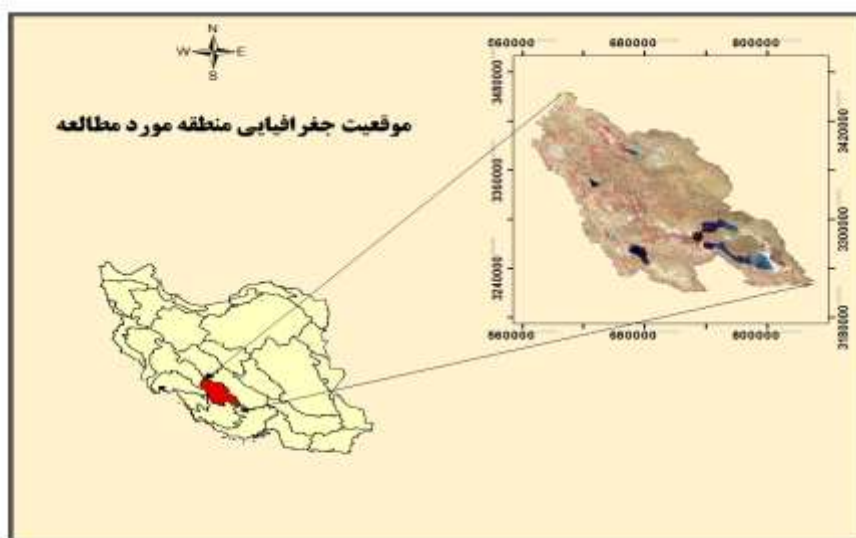
¹ Moran's Index

می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی را مورد تأیید قرار داد. با توجه به اهمیت خشک‌سالی، در مطالعه حاضر به تحلیل فضایی خشک‌سالی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه مهارلو پرداخته شده است.

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز مهارلو-بختگان در شمال استان فارس و در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی رشته کوه‌های زاگرس بین مختصات جغرافیایی ۵۱:۴۵ تا ۵۴:۳۰ طول شرقی و ۲۹:۳۵ تا ۳۱:۱۵ عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ۳۲۲۷۱ کیلومترمربع می‌باشد که نیمی از آن یعنی حدود ۵۰٪ را مناطق کوهستانی، ۴۵٪ را کوهپایه و دشت و ۵٪ را دریاچه‌ها تشکیل می‌دهند. بخش عمده دشت‌های این حوضه بین سد رودزن و دریاچه بختگان قرار گرفته است. از نظر تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، حوضه آبریز دریاچه‌های بختگان و مهارلو بخشی از حوضه آبریز مرکزی بوده و به حوضه آبریز مرداب گاوخونی و کویرهای ابرکوه و هرات از شمال و کویر قطروئیه از شرق، حوضه آبریز رودخانه‌های کل و مند از جنوب و بلاخره حوضه آبریز زهره و کارون از غرب محدود می‌باشد. شهرهای شیراز، مرودشت، استهبان، نیریز، سروستان، ارسنجان، سیوند و سده در این حوضه قرار دارند.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

هدف از این پژوهش تحلیل فضایی خشک‌سالی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه مهارلو می‌باشد. بر همین اساس ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی متعلق به سازمان هواشناسی و وزارت نیرو

و با استفاده از شاخص SPI و آمار فضایی خوشه‌های خشک‌سالی در منطقه شناسایی می‌شود. تمامی محاسبات مربوط به شاخص SPI و آمار فضایی با استفاده از نرم افزارهای Arc MAP و SPI انجام می‌شود. در مرحله بعد برای پایش ماهواره‌ای خشک‌سالی از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. کالیبراسیون تصاویر، تصحیح هندسی و تصحیح اتمسفری پیش پردازش‌هایی خواهد بود که بروی تصاویر انجام می‌شود. تمامی فرایندها بروی تصاویر ماهواره‌ای با نرم افزار ENVI و Arc Map انجام می‌شود.

-شاخص شاخص استاندارد شده بارش^۱

SPI نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و مقیاس دارد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است و می‌تواند هشدار اولیه جهت پایش خشک‌سالی و کمک به ارزیابی شدت آن باشد. این روش به وسیله مک کی، دوئه سکن، جان کلئست اعضای مرکز اقلیمی کلرادو در سال ۱۹۹۳ با توجه به بررسی تاثیرات متفاوت کمبود بارش بروی آب‌های زیرزمینی، ذخائر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است.

شاخص SPI از رابطه زیر به دست می‌آید: (مک کی^۲ و همکاران، ۱۹۹۳)

$$SPI = \frac{Pi - \bar{P}}{S}$$

Pi مقدار بارش در دوره مورد نظر؛

P میانگین دراز مدت بارش برای دوره مورد نظر؛

S انحراف معیار مقدار بارش.

مقادیر شاخص SPI که بدین گونه از داده‌های بلند مدت بارش برای یک دوره زمانی مورد نظر به دست می‌آید از یک توزیع نرمال تبعیت می‌کند که دارای میانگین صفر و انحراف از معیار یک است. این مسئله موجب می‌شود که بتوان اقلیم‌های مرطوب و خشک را به یک روش بررسی نمود.

جهت محاسبه این نمایه از توزیع گاما برای برازش داده‌های بلند مدت بارش استفاده می‌شود که پس از انجام محاسبه‌های لازم و تعیین پارامترهای مربوط نمایه SPI محاسبه می‌گردد. همچنانکه بیان شد محاسبه SPI شامل برازش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع فراوانی بارندگی برای یک ایستگاه معین می‌باشد. احتمالات تجمعی گاما از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G(x) = \frac{1}{\beta^x \Gamma(\alpha)} \int_1^x t^{\alpha-1} e^{-t/\beta} dt$$

¹ Standard Precipitation Index

² Mckee

که در این معادله و مقدار بهینه، (پارامتر شکل) و (پارامتر مقیاس)، X مقدار بارندگی و تابع گاما می‌باشد. پارامترهای توزیع چگالی احتمال گاما از داده‌های نمونه با روش درست نمایی حداکثر برای هر ایستگاه و برای مقیاس زمانی انتخابی و بر هر ماه از سال بر آورد می‌شود.

نمایه استاندارد شده بارش، یک ابزار قوی در آنالیز داده‌های بارندگی می‌باشد. هدف SPI اختصاص ارزش عددی به بارندگی می‌باشد که به توان نواحی با آب و هوای کاملاً متفاوت را باهم مقایسه کرد. به عنوان مثال آن چه که در نواحی حاره‌ای خشک‌سالی ایجاد می‌کند، همان مقدار بارندگی می‌باشد که بعنوان بارش سنگینی در نواحی بیابانی مورد توجه قرار می‌گیرد؛ در این طبقه بندی، خشک‌سالی برای یک دوره زمانی وقتی ظاهر می‌شود که نمایه SPI مقدار کمتر از -1 به خود می‌گیرد. پایان دوره خشک‌سالی را زمانی می‌توان اعلام کرد که مقدار مثبت را نشان دهد. بر اساس روش محاسبه ذکر شده طبقه بندی نمایه SPI وضعیت منطقه مورد مطالعه را از نظر وقوع خشک‌سالی و روند آن می‌توان مورد بررسی قرار داد.

SPI به دو صورت کوتاه مدت (۱، ۳، ۶ و ۹ ماهه) و به صورت بلند مدت (۱۲، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ماهه) محاسبه شده و در هر مقیاس زمانی SPI بارندگی همان دوره خاص را با بارندگی همان دوره برای همه سال‌هایی که اطلاعات برای آن ثبت شده، فراهم می‌آورد. جدول ۱ طبقه بندی خشک‌سالی را بر اساس SPI نشان می‌دهد.

طبیعتاً SPI بیانگر یک نمره Z یا عددی با انحراف معیار بالاتر یا پایین‌تر از میانگین یک رویداد می‌باشد. هر چند برای مقیاس‌های زمانی کوتاه تا زمانی که توزیع بارش اصلی چولگی دارد، نمی‌تواند کاملاً صحیح باشد. شاخص SPI موقعیت مکانی ایستگاه را به صورت نرمال در می‌آورد، چرا که توزیع فراوانی بارش را توام با تغییرات و پراکنش آن در ایستگاه برآورد می‌کند. علاوه بر این SPI در مقیاس زمانی نیز به صورت نرمال در می‌آید، زیرا می‌تواند در هر مقیاس زمانی بسته به نقطه نظر تحلیل گر محاسبه شود؛ بنابراین از آنجائیکه شاخص SPI محدودیت مقیاس زمانی با موقعیت مکانی ندارد، احتمال تجمعی را در رابطه با دوره پایه‌ای که پارامترهای توزیع برای آن برآورد شده‌اند تخمین می‌زند.

جدول ۱: طبقه بندی خشک‌سالی بر اساس شاخص SPI (Mckee, T.B) (1993)

درجه خشک‌سالی	ارزش SPI
خشک‌سالی ملایم	۰/۹۹ - تا ۰
خشک‌سالی متوسط	۱/۴۹ - تا ۱ -
خشک‌سالی شدید	۱/۹۹ - تا ۱/۵۰ -
خشک‌سالی حاد	-۲/۰

– شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی^۱

در بازتاب طیفی گیاهان، کلروفیل، ذرات رنگی، آب موجود در گیاه، شکل، ساختار فیزیکی و بسیاری از پارامترها تأثیر دارند؛ اما طرح کلی انعکاس گیاهان یکسان می‌باشد؛ اما بخش‌های متفاوت برگ، تاثیرات متفاوتی بر روی انرژی الکترو مغناطیسی تابیده شده از خورشید دارند. در بخش مرئی میزان جذب بالا است. انعکاس در این بخش تحت کنترل کلروفیل و مواد رنگی برگ مانند گزانتوفیل، کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها قرار می‌گیرد. حداکثر انعکاس در بخش مرئی در طول موج ۵۵۰/ میکرومتر (سبز) می‌باشد. جذب شدید اشعه الکترو مغناطیسی توسط کلروفیل در طول موج‌های آبی و قرمز و همچنین عبور نسبتاً بالا در این محدوده باعث پایین بودن میزان انعکاس می‌شود. در محدوده مادون قرمز نزدیک (۰/۷ تا ۳/۱ میکرومتر) مقدار جذب و عبور، کاهش و در نتیجه میزان انعکاس به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. ساختمان برگ، فضای بین سلولی و آب داخل سلولی در ساختار اسفنجی مزوفیل برگ، انعکاس‌های این محدوده را کنترل می‌کند. باند مادون قرمز نزدیک در سنجنده‌ها به تاج پوشش و بیوماس گیاهان خیلی حساس است.

در سال ۱۹۷۹، توکر^۲ بر اساس همین خصوصیات انعکاسی گیاهان در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، شاخص پوشش گیاهی را برای تشخیص سلامتی، شادابی و همچنین تراکم پوشش گیاهی معرفی کرد.

شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای نمایش توده حیاتی (بیوماس) پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب بوده و همچنین در ارتباط با مسائل مرتبط با پوشش گیاهی از این شاخص استفاده می‌شود. در طول زمان تغییرات مشاهده شده در NDVI بیان کننده تیپ پوشش گیاهی، فنولوژی و حالات محیطی منطقه است. این شاخص بیشترین رابطه را با حجم زنده گیاهی در میان مشخصه‌های پوشش گیاهی دارد؛ این شاخص از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

با افزایش پوشش گیاهی، میزان ارزش حاصل از این نسبت گیری نیز افزایش می‌یابد. کاهش اثرات اتمسفری، توپوگرافی و همچنین تصحیح تغییرات تابش ورودی خورشید، از قابلیت‌های این شاخص بوده ولی تداخل بین خاک و گیاه در محدوده مادون قرمز بر طرف نمی‌کند. از طرفی چون اختلاف بازتاب پوشش گیاهی در این دو باند بیشتر از اختلاف بازتاب خاک در آن‌ها است، خاک بسیار کمتر از پوشش گیاهی تحت تأثیر این فرایند قرار می‌گیرد.

از جمله کاربردهای شاخص NDVI، مطالعه رفتار زمانی پوشش گیاهی، مدل‌سازی آب و هوایی، طبقه بندی پوشش گیاهی در سطح جهانی، پایش محصولات کشاورزی، مطالعات بیابانزدایی و خشک‌سالی، حفاظت محیط زیست، بررسی تعادل میزان انرژی و آب در سطح جهانی می‌باشد. کاربردهای مختلف ترکیب‌های (Composite) شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌توان به تغییر رفتار گیاهان در طول زمان، طبقه بندی گیاهان، تهیه نقشه‌های کاربری و پوشش

¹Normalized Difference Vegetation Index

² Tucker

گیاهی، کشف تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان، مطالعه پارامترهایی از جمله فتوسنتز، تنفس، کلروفیل و آب بین سلولی که در ارتباط مستقیم با شرایط پوشش گیاهی هستند، اشاره نمود. همچنین پدیده‌هایی که در سطح زمین رخ داده و در ارتباط مستقیم با پوشش گیاهی هستند. از این پدیده‌ها می‌توان به خشکسالی، تغییرات اقلیمی و آب و هوایی اشاره کرد.

-آماره I موران

این آماره که با عنوان "خودهمبستگی فضایی" نیز معروف است، یکی از کاربردی‌ترین ابزارهای تحلیلی داده‌های فضایی است. با استفاده از این آماره می‌توان درجه پراگی یا متمرکز بودن عوارض یا داده‌های فضایی را در فضا اندازه‌گیری کرد (میشل، ۲۰۰۵؛ ایلان^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). لی^۴ (۲۰۰۰)، معتقد است که در طبقه‌بندی الگوهای فضایی، خواه خوشه‌ای باشد یا پراکنده و تصادفی، می‌توان بر چگونگی نظم و ترتیب قرارگیری واحدهای ناحیه‌ای متمرکز شده و مشابهت و عدم مشابهت هر جفت از واحدهای ناحیه‌ای مجاور را اندازه گرفت. وقتی که این مشابهت و عدم مشابهت‌ها برای الگوهای فضایی خلاصه شوند، نوعی خود همبستگی فضایی شکل می‌گیرد.

خود همبستگی فضایی ابزاری ارزشمند در مطالعاتی است که چگونگی تغییر الگوهای فضایی را در طول زمان مد نظر قرار می‌دهند. برخلاف سایر آماره‌های فضایی، آماره تحلیل خودهمبستگی را می‌توان در مواقعی به کار برد که هدف، بررسی الگوی یک عارضه با در نظر گرفتن مقادیر یک ویژگی خاص باشد. خودهمبستگی فضایی به رابطه بین مقادیر باقیمانده در طول خط رگرسیون مربوط می‌شود. خودهمبستگی وقتی قوی معرفی می‌شود که الف) مقادیر یک متغیر که از نظر جغرافیایی به هم نزدیک هستند با هم مرتبط باشند و ب) مقادیر باقیمانده کاملاً با هم در ارتباط باشند.

مقدار I موران از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{n \sum_i \sum_j \omega_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{(\sum_i \sum_j \omega_{ij}) \sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

در رابطه فوق w_{ij} وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد، n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در منطقه مورد مطالعه، y_i و y_j به ترتیب مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر در منطقه i و j است و \bar{y} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

متغیر w_{ij} مشابه با یک ضریب همبستگی تفسیر می‌شود. مقادیر نزدیک +۱ نشان‌دهنده یک الگوی فضایی قوی هستند؛ به عبارت دیگر مقادیر بالا تمایل دارند که نزدیک به یکدیگر واقع شوند و مقادیر پایین هم تمایل دارند نزدیک به یکدیگر قرار گیرند. مقادیر -۱ نشان‌دهنده خودهمبستگی فضایی منفی قوی هستند. البته الگوهای فضایی با

^۱Spatial Dependency

^۲Michel

^۳Ilan

^۴Lee

خودهمبستگی منفی بسیار نادر هستند. سرانجام، مقادیر نزدیک صفر نشان دهنده عدم وجود الگوی فضایی هستند. در عین حال، باید به خاطر داشت که دامنه تغییرات آماره I موران دقیقاً متناسب با $[1, 1]$ نیست و با ضریب همبستگی معمولی متفاوت است.

علاوه بر این تفسیر توصیفی، یک چارچوب آماری نیز وجود دارد که امکان تشخیص انحراف معنادار از الگوی تصادفی را به وجود آورده است. در یک آزمون تقریبی می توان فرض کرد که وقتی تعداد پهنه ها (n) به اندازه کافی بزرگ باشد (بزرگتر از حدود ۲۰ یا ۳۰)، I دارای یک توزیع نرمال با میانگین و واریانس زیر است:

$$Z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}$$

$$E[I] = \frac{-1}{m-1}$$

$$V[I] = \frac{m^2(m-1)S_1 - m(m-1)S_2 + 2(m-2)S_3}{(m+1)(m-1)^2}$$

که در این جا:

$$S_1 = \sum_i \sum_{j \neq i} \omega_{ij}$$

$$S_2 = \frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} (\omega_{ij} + \omega_{ji})$$

$$S_3 = \sum_k \left(\sum_j \omega_{kj} + \sum_i \omega_{ik} \right)$$

همچنین مقدار $V(I)$ را از رابطه زیر نیز می توان محاسبه کرد:

$$V[I] = E[I^2] - (E[I])^2$$

حال زمانی که مقدار P -value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده (قدرمطلق آن) بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان قرار گیرد)، می توان فرضیه صفر را رد کرد. روابط اشاره شده در بالا که مربوط به واریانس می باشند با فرض نرمال بودن داده ها نگاشته شده اند. روابط واریانسی مربوط به فرضیه تصادفی سازی فضایی از لحاظ جبری پیچیده هستند و مقادیری به دست می دهند که فقط کمی با هم تفاوت دارند (گریفث ۱۹۷۸). برای حالت پیوستگی دودوئی در یک شبکه مربعی که در آن مجاورت به شکل "رُخ مانند" تعریف می شود، (یعنی برای ۴ منطقه مجاور که یک ضلع مشترک دارند، وزن ها مساوی با ۱ هستند و برای همه مناطق دیگر، وزن ها مساوی با صفر می باشند، عبارت واریانس ممکن است از طریق $1/(2m)$ برآورد شود. برای حالت یک شبکه ۶ ضلعی، با یک پیکربندی منطقه ای، واریانس ممکن است از طریق $1/(3m)$ برآورد شود.

۲-۴ آماره موران محلی^۱

آماره موران محلی (یا آماره آنسلین) در تعیین وجود یا عدم وجود خودهمبستگی فضایی محلی در اطراف یک پهنه مشخص ($i = 1, \dots, m$) به کار می‌رود. این آماره به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I_i = \frac{m(y_i - \bar{y})}{\sum_j (y_j - \bar{y})} \sum_j \omega_{ij} (y_j - \bar{y})$$

در رابطه فوق $w_{i,j}$ وزن فضایی بین عارضه i و j می‌باشد، y_i و y_j به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر مورد نظر در پهنه‌های i و j می‌باشند و \bar{y} نیز میانگین مقادیر مشاهده شده است. مقدار آماره موران عمومی معادل با مجموع مقادیر آماره موران محلی ضربدر حاصل جمع ω_{ij} است:

$$I = \sum_i \sum_j \omega_{ij} I_i$$

Anselin, L (2011) مقدار پیش بینی شده و واریانس I_i را به شکل زیر ارائه می‌دهد:

$$E[I_i] = -\frac{\omega_i}{m-1}$$

$$V[I_i] = \omega_{i(i)}(m-b_r)/(m-1) + 2\omega_{i(kh)}(2b_r - m)/(m-1)(m-2) - \omega_i^2/(m-1)^2$$

که در اینجا:

$$\omega_i = \sum_j \omega_{ij}$$

$$\omega_{i(i)} = \sum_{j \neq i} \omega_{ij}^2$$

$$\omega_{i(kh)} = \sum_{k \neq i} \sum_{h \neq i} \omega_{ik} \omega_{ih}$$

9

$$b_r = m \sum_i (y_i - \bar{y})^2 / \left\{ \sum_i (y_i - \bar{y}) \right\}^2$$

آماره I موران محلی با عنوان "شاخص خوشه و ناخوشه محلی" نیز معروف است. در صورتی که تعدادی عارضه وزن‌دهی شده موجود باشد، با استفاده از این شاخص می‌توان نشان داد که در چه مکان‌هایی مقادیر زیاد و یا کم این پدیده‌ها در فضا به طور خوشه‌ای توزیع شده‌اند و همچنین کدام عوارض دارای مقادیری بسیار متفاوت از عوارض پیرامون‌شان هستند (Anselin, L, 2011).

با استفاده از آماره I موران محلی (آنسلین محلی)، علاوه بر مشخص کردن وجود یا عدم وجود خوشه‌بندی، می‌توان دو نوع خوشه‌بندی محلی مختلف را نیز از هم تفکیک کرد. در شکل زیر نمودار معروف به "آنسلین" نشان داده شده است. محور افقی در این نمودار نشان‌دهنده تغییرات آماره I موران محلی و محور عمودی مقدار عارضه مورد نظر می‌باشد. مقادیر مثبت I موران محلی، نشان‌دهنده وجود خوشه‌بندی محلی و مقادیر منفی این آماره، نشان‌دهنده عدم

¹Local Moran Statistic

وجود خوشه (وجود ناخوشه) در داده‌ها می‌باشد. مطابق با این نمودار ناحیه‌ای که در آن x و y هر دو مثبت هستند نشان‌دهنده خوشه‌بندی بالا-بالا^۲ (HH) می‌باشد. در این حالت اگر دو پیکسل (یا دو عارضه مجاور) انتخاب شوند، هر دو آن‌ها دارای مقدار بالا هستند و همچنین از اطراف نیز توسط عوارضی محاصره شده‌اند که دارای مقدار بالای آن خصیصه می‌باشند. از طرف دیگر ناحیه‌ای که در آن x و y هر دو منفی هستند نشان‌دهنده خوشه‌بندی پایین-پایین^۳ (LL) می‌باشد. ناحیه‌ای که در آن x با مقادیر منفی و y با مقادیر مثبت نشان داده شده است (ناحیه LH)، یک ناخوشه وجود دارد و یک مقدار با ارزش کم توسط مقادیر با ارزش بالا محاصره شده‌اند. در نهایت ناحیه‌ای که در آن x با مقادیر مثبت و y نیز با مقادیر منفی نشان داده شده (ناحیه HL) نیز یک ناخوشه وجود دارد. در این حالت یک مقدار با ارزش زیاد توسط مقادیر با ارزش کم محاصره شده است (Anselin, L, (2011)).

بحث و یافته‌ها

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های محیطی است که سالانه موجب وارد آمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می‌گردد. خشک‌سالی را می‌توان معلول یک دوره خشک غیر عادی دانست که به اندازه کافی تداوم داشته باشد تا عدم تعادل در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه ایجاد گردد. تمایز این پدیده با سایر مخاطرات طبیعی در این است که برخلاف سایر مخاطرات طبیعی این پدیده به تدریج و در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرات آن ممکن است پس از چند سال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر گردد، بنابراین چون تعیین دقیق زمان شروع آن کار مشکلی می‌باشد تا حدودی آن را یک پدیده و بلیه خزنده می‌دانند و از سویی چون خشک‌سالی برخلاف سایر بلایای طبیعی کمتر منجر به خسارات ساختاری می‌گردد، کمک‌رسانی در هنگام وقوع این پدیده در مقایسه با سایر پدیده‌ها مثل سیل پیچیده‌تر و مشکل‌تر می‌باشد (طالبی و موسوی، ۱۳۹۸). یکی از قدم‌های مهم و اساسی در مطالعات خشک‌سالی و ترسالی در هر منطقه تعیین شاخص‌هایی است که بتوان براساس آن‌ها میزان شدت و تداوم خشک‌سالی و ترسالی را ارزیابی کرد (حجازی زاده و پروین، ۱۳۸۶).

امروزه از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در پایش خشک‌سالی استفاده می‌شود. تصاویر رقومی ماهواره‌ای به عنوان یکی از منابع اطلاعاتی مکانی نسبت به سایر منابع متداول (مانند نقشه‌ها) و عکس‌های هوایی دارای برتری‌های متنوعی از جمله پوشش وسیع و تکراری، کاهش حجم عملیات میدانی، کاهش هزینه و همچنین به هنگام بودن اطلاعات می‌باشد (مهدوی و فلاح شمسی، ۱۳۹۱). از طرفی امتیاز دیگر داده‌های تصاویر ماهواره‌ای قابلیت ورود مستقیم آن‌ها به سامانه‌های پردازشی است که بازنگری و به هنگام سازی سریع آن‌ها را ممکن می‌سازد (باعقیده و

^۱Outlier

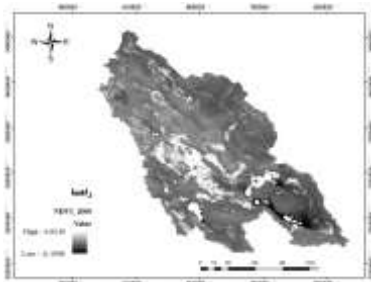
^۲High-High Clustering

^۳Low-Low Clustering

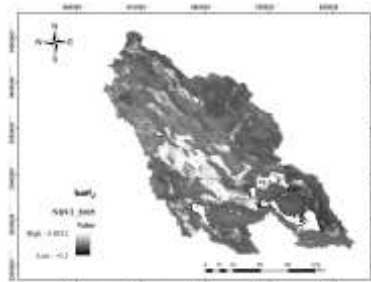
همکاران، ۱۳۹۰). خصوصیات نظیر فراهم ساختن دید وسیع و یک پارچه از منطقه، تکرارپذیری، تسهیل جمع آوری اطلاعات و صرفه جویی در زمان از جمله ویژگی‌هایی است که استفاده از اطلاعات کسب شده به کمک فناوری سنجش از دور را برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی نسبت به سایر روشها ارجحیت می‌بخشد (سرودی و جوزی، ۱۳۹۰). پایه سنجش از دور این است که اشیاء در طول موج‌های مختلف مقادیر متفاوتی از تابش را جذب و منتشر می‌کنند یا عبور می‌دهند. نسبتی از تابش که منعکس می‌شود به عنوان خصوصیات طیفی عارضه‌های مختلف از جمله گیاه به شمار می‌آید. لازمه شناخت و تفکیک جوامع گیاهی، آگاهی از خصوصیات طیفی گیاهان و اختلاف جزئی آنهاست. شاخص‌های پوشش گیاهی توسط بسیاری از دانشمندان به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها برای نقشه برداری زمین-های کشاورزی، بررسی بارش، تخمین اثرات آب و هوایی، محاسبه میزان بیوماس، بازدهی محصول و فرآوری چراگاه، شرایط خشک‌سالی و تعیین مقدار توان گیاهان مطرح شده است (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۹). پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و روش پژوهش آن تحلیلی مبتنی بر تلفیق آنالیز داده‌ها و تکنیک‌های دورسنجی و مشاهدات میدانی است. جهت دستیابی به اهداف مراحل زیر طی گردید. بدین گونه که پس از تعیین حدود حوضه مهارلو بختگان، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای منطقه در بازه زمانی ۲۱ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) از آرشيو داده‌های ماهواره ترا و آکوا سنجنده مادیس جمع آوری گردید. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزارهای ENVI، ArcGIS استفاده شده است.

– محاسبه شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی حوضه مهارلو بختگان (NDVI)

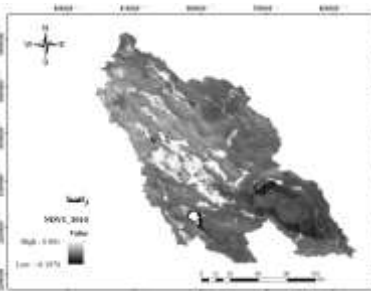
پس از جمع آوری تصاویر سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از منطقه مورد مطالعه چون داده‌ها به صورت خام می‌باشد، در ابتدا Scale Factor بر روی آنها اعمال شد. در مرحله بعد جهت آشکارسازی و تعیین پوشش گیاهی، مبادرت به پردازش و بارزسازی تصاویر در پنج بازه زمانی از طریق روش‌های آشکارسازی گردید. در این پژوهش از شاخص پوشش گیاهی NDVI برای بررسی پدیده خشک‌سالی استفاده شده است. شاخص NDVI معمول‌ترین و قدیمی‌ترین شاخص در تشخیص پوشش گیاهی موجود در تصاویر ماهواره‌ای است. دامنه به دست آمده از این شاخص از -۱ تا +۱ متغیر است. اعداد منفی برای پوشش‌های آبی مانند دریاها و دریاچه‌ها، اعداد مثبت برای پوشش گیاهی و اعداد اطراف صفر بیانگر مناطق خشک و یا فاقد گیاه است. در زیر تصاویر NDVI مربوط به سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ را مشاهده می‌کنید. در تصاویر ارائه شده (شکل ۲ تا ۶) قسمت‌هایی که روشن‌تر هستند پوشش گیاهی می‌باشند.



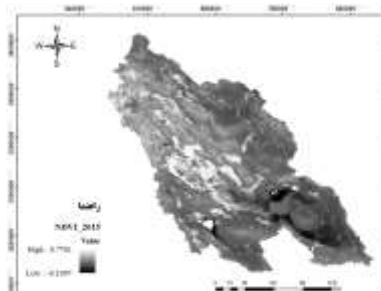
شکل ۲: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۰



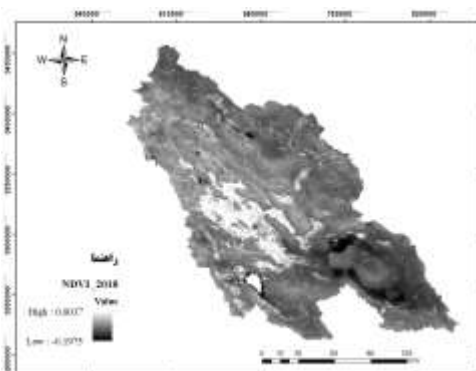
شکل ۳: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۵



شکل ۴: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۰



شکل ۵: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۵

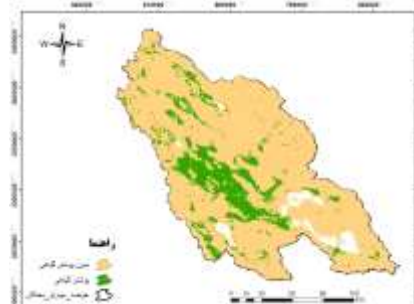


شکل ۶: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۲۰

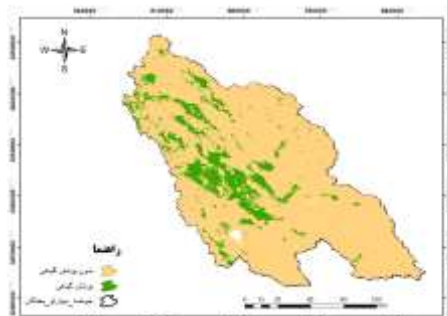
برای بهتر نمایش دادن پوشش گیاهی منطقه و بررسی تغییرات پوشش گیاهی، در نرم افزار ENVI پوشش گیاهی منطقه را ماسک کرده تا مناطقی که پوشش گیاهی دارند بهتر مشخص باشد. به این منظور تصویری رستری ایجاد شد که در آن مناطق به دو گروه مناطق با پوشش گیاهی و مناطق بدون پوشش گیاهی تقسیم بندی شده‌اند. (شکل ۷ تا شکل ۱۱)



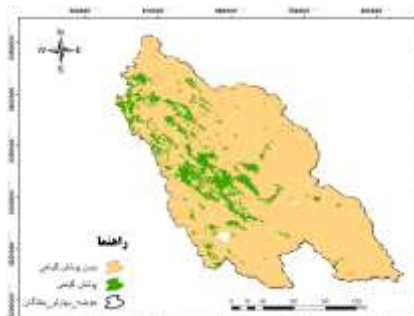
شکل ۷: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۰



شکل ۸: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۵



شکل ۹: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۰



شکل ۱۰: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۵



شکل ۱۱: نقشه پوشش گیاهی (NDVI) حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۲۰

سپس تصاویر NDVI را در نرم افزار GIS به یک لایه وکتوری تبدیل کرده و مساحت و درصد قسمت‌های پوشش گیاهی محاسبه شد. با توجه به محاسبات انجام شده پوشش گیاهی در طول ۲۱ سال گذشته در این منطقه دچار تغییرات زیادی بوده است. به طوری که مشاهده می‌نمایید در سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ پوشش گیاهی منطقه افزایش داشته است؛ و در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ دچار کاهش پوشش گیاهی در منطقه بوده‌ایم. از دلایل این تغییرات می‌توان به کاهش بارندگی‌های زمستانه، تغییرات کاربری اراضی، افزایش چرای خارج از فصل و بیرویه اشاره کرد؛ و بر اساس نتایج در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال‌های قبل شاهد افزایش پوشش گیاهی در منطقه می‌باشیم. مساحت پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰، ۲۹۷۲،۵۹ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۰۵، ۴۴۸۹،۸ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۱۰، ۳۹۶۴،۳۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۰ به ۵۹۷۸،۶۷ کیلومتر مربع رسیده است.

جدول ۲: نتایج حاصل از مساحی سنجی پوشش گیاهی حوضه مهارلو بختگان

سال	مساحت	بدون پوشش گیاهی	پوشش گیاهی
۲۰۰۰	Km2	۲۷۹۰۴,۷۶۸۸۹۷	۲۹۷۲,۵۹۳۳۰۸
	درصد	۹۰,۳۷۲۹۰۴	۹,۶۲۷۰۹۶
۲۰۰۵	Km2	۲۵۸۶۱,۲۱۸۳۲۷	۴۴۸۹,۸۰۰۸۱۱
	درصد	۸۵,۲۰۷۰۸۴	۱۴,۷۹۲۹۱۶
۲۰۱۰	Km2	۲۷۴۱۶,۲۰۵۷۵۶	۳۹۶۴,۳۱۶۳۷۹
	درصد	۸۷,۳۶۶۹۵۲	۱۲,۶۳۳۰۴۸
۲۰۱۵	Km2	۲۷۸۶۴,۴۱۳۰۶۶	۳۵۱۰,۹۵۷۲۶۱
	درصد	۸۸,۸۰۹۸۳	۱۱,۱۹۰۱۷
۲۰۲۰	Km2	۲۵۳۷۴,۳۷۲۴۵۵	۵۹۷۸,۶۷۳۳۶۹
	درصد	۸۰,۹۳۱۱۲۴	۱۹,۰۶۸۸۷۶

– بررسی خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

بارندگی مهم‌ترین منبع تأمین رطوبت در مناطق خشک با تأثیر بر میزان رطوبت قابل دسترس درون پروفیل خاک، ترکیب و پویایی جوامع گیاهی این مناطق را شدیداً تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این شرایط گیاهان یک ساله به مراتب بیشتر از گیاهان دائمی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. بسته به فرم رویشی و سیستم ریشه هم‌چنین زمان و کیفیت بارش، واکنش و وابستگی گیاهان به بارندگی متفاوت خواهد بود. در فصل رویش با افزایش دمای محیط، قسمت اعظم بارش‌های این فصل قبل از نفوذ، تبخیر می‌شوند. در این میان ریشه‌های سطحی فورب‌ها و گراس‌ها امکان جذب سریع رطوبت موقت سطحی را برای گیاه فراهم می‌کنند در صورتی‌که این امکان برای ریشه‌های عمیق گیاهان درختچه‌ای و بوته‌ای تا حد زیادی فراهم نمی‌باشد. در عوض ریشه‌های عمیق این گیاهان قابلیت بالایی در جذب رطوبت عمقی فصول پیشین دارند. در این پژوهش برای تعیین سال‌های خشک‌سالی و ترسالی از روش بارش استاندارد شده استفاده شد. شاخص SPI یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های پیشنهاد شده برای مطالعه خشک‌سالی و ترسالی است که امروزه در سطح گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و مورد پذیرش بسیاری از جوامع علمی قرار گرفته است. انعطاف پذیری این شاخص در مطالعه انواع مختلف خشک‌سالی از مهم‌ترین ویژگی‌های این شاخص است. مقیاس‌های کمتر از ۶ ماه برای مطالعه خشک‌سالی‌های کشاورزی و زراعی و مقیاس‌های ۶ تا ۱۰ ماهه برای مطالعه تغییرات بارندگی فصلی که بر روی منابع آب‌های سطحی تأثیر فراوان خود را نشان می‌دهد مناسب می‌باشد. مقیاس ۱۲ ماهه برای مطالعه تغییرات میان مدت و مقیاس‌های ۱۸ ماهه و بالاتر برای مطالعه خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی و آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبق این روش دوره خشک‌سالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد (بویان و همکاران، ۲۰۰۶). در این پژوهش از شاخص SPI در مقیاس زمانی ۳ ماهه استفاده شده است؛ زیرا با توجه به ماهیت خود شاخص SPI و هم‌چنین مطالعات انجام گرفته قبلی این شاخص در مقیاس زمانی ۳ ماهه بیشترین

همبستگی را با شاخص‌های سنجش از دوری داشته و در اکثر مطالعات این روش جهت ارزیابی موفقیت شاخص‌های سنجش از دوری پیشنهاد می‌گردد.

بر همین اساس مقادیر بارندگی ۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب حوضه مهارلو-بختگان (شیراز، زرقان، سد درودزن، اقلید، نی‌ریز و آباده) در طی دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد و شاخص بارش استاندارد شده در مقیاس زمانی سه ماهه محاسبه شد. اطلاعات مربوط به ویژگی و موقعیت ایستگاه‌ها در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳: مشخصات ایستگاه‌های حوضه مهارلو بختگان

ایستگاه	طول (درجه)	عرض (درجه)	ارتفاع (متر)
آباده	۵۲٫۴۰	۳۱٫۱۱	۲۰۳۰
اقلید	۵۲٫۷۱	۳۰٫۹۱	۲۳۰۰
زرقان	۵۲٫۴۳	۲۹٫۴۷	۱۵۹۶
سد درودزن	۵۲٫۲۷	۳۰٫۱۱	۱۶۵۲
شیراز	۵۲٫۳۶	۲۹٫۳۲	۱۴۸۴
نی‌ریز	۵۳٫۱۹	۲۹٫۱۱	۲۱۰۰

جدول (۴) تغییرات شاخص بارش استاندارد در منطقه را نمایش می‌دهند. نتایج بدست آمده در سال‌های ۲۰۰۰،

۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ خشک‌سالی‌های خفیف تا شدید را در منطقه نشان می‌دهند.

جدول ۴: شاخص بارش استاندارد شده در حوضه مهارلو بختگان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

سال	نی‌ریز	شیراز	سد درودزن	زرقان	اقلید	آباده
۲۰۰۰	-۱.۰۷	-۱.۹۴	-۱.۶۵	-۱.۶۵	-۱.۶۵	-۱.۹۲
۲۰۰۱	-۱.۱	-۱.۱۶	-۰.۶۲	-۱.۱۸	-۰.۲۷	-۰.۲۲
۲۰۰۲	-۰.۸۸	۱.۰۶	۱.۵	۱.۱۲	۱.۴	۰.۰۶
۲۰۰۳	-۰.۴۷	۰.۱۱	۰.۲۵	-۰.۲۵	۰.۴۱	-۰.۲۸
۲۰۰۴	-۰.۵۱	۰.۵۱	۱.۱	۰.۷۶	۰.۹۱	۱.۴۷
۲۰۰۵	-۱.۱	-۱.۱۲	-۱.۱۵	-۰.۸۸	-۱.۱۳	-۰.۰۲
۲۰۰۶	۱.۵۲	-۰.۹۳	-۰.۹۷	-۰.۸	۰.۷	۰.۲۸
۲۰۰۷	-۰.۸۷	-۰.۹۱	۱.۱۹	-۰.۸۴	۱.۱۴	۱.۰۶
۲۰۰۸	-۱.۱	-۱.۹۴	-۱.۱۵	-۰.۹۱	-۱.۶	-۱.۹۲
۲۰۰۹	-۰.۵۹	۰.۲۸	۰.۵۲	-۰.۲۶	۱.۰۷	۰.۸۸
۲۰۱۰	-۰.۲۳	-۰.۴۵	-۰.۴۴	۰.۳	-۰.۱۱	-۰.۱۹
۲۰۱۱	-۰.۶۲	-۰.۰۵	-۰.۲۳	۰.۴۱	-۰.۰۱	-۰.۷۵
۲۰۱۲	-۰.۵۳	-۰.۱۵	-۰.۷۸	-۱.۴۳	۰.۲۸	۰.۰۷
۲۰۱۳	۲.۱۹	۲.۳	۱.۴۹	۲.۱	۱.۸	۱.۹۸
۲۰۱۴	۰.۸	۰.۶۴	۰.۶۷	۰.۴۷	-۰.۲	۰.۰۷
۲۰۱۵	-۰.۱	-۰.۲۳	۰.۳	-۰.۶۳	-۰.۱۱	-۰.۰۸
۲۰۱۶	-۰.۱۳	-۰.۴۵	-۰.۱۸	-۰.۱۳	-۰.۱۵	۰.۳۵
۲۰۱۷	-۰.۵۴	-۰.۶۸	-۰.۲۹	۰.۵۳	۰.۰۶	۰.۰۹۸
۲۰۱۸	-۰.۶۲	-۰.۷۱	-۰.۲۷	۰.۲۴	-۰.۰۹	۰.۳۴
۲۰۱۹	-۰.۸۵	-۰.۵۴	-۰.۳۱	۰.۳۶	۰.۰۵	۰.۸۵
۲۰۲۰	-۰.۹۳	-۰.۴۵	-۰.۳۴	-۰.۵۹	-۰.۰۴	۱.۰۹

تحلیل فضایی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۰

در تحلیل خشک‌سالی با آماره موران مقدار شاخص $0/999$ به دست آمده است. از آن جا که عدد به دست آمده نزدیک به عدد مثبت یک است بنابراین داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است.

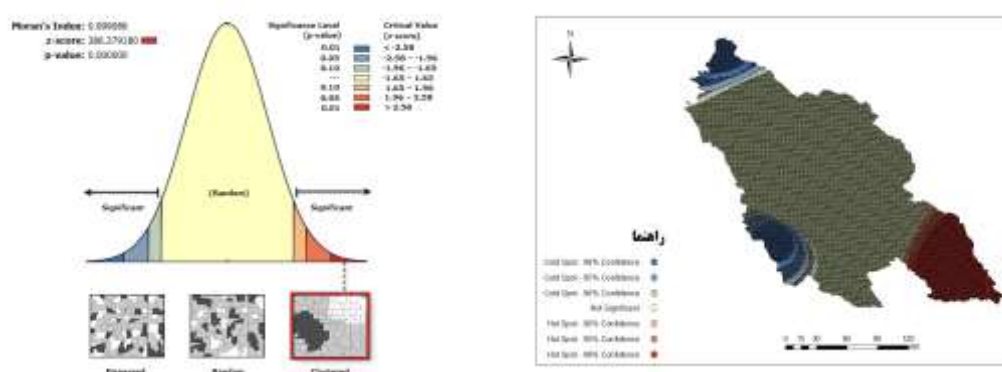
مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ است. نوع الگوی خوشه‌ای با شاخص خشک-

سالی SPI در تصویر زیر نشان داده شده است. (شکل ۱۲)

مطابق نقشه تهیه شده به کمک آماره موران محلی برای شاخص خشک‌سالی SPI این نتایج به دست می‌آید که

خوشه‌های خشک‌سالی با احتمال ۹۹ درصد در قسمت‌هایی از مناطق جنوبی شرقی حوضه مهارلو بختگان و همچنین

خوشه‌های ترسالی در قسمت‌هایی مناطق شمال و جنوب غربی مشاهده می‌شود. (شکل ۱۳)



شکل ۱۲: الگوی خوشه‌ای خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره موران در سال ۲۰۰۰

شکل ۱۳: نقشه خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره عمومی گتیس و آرد در سال ۲۰۰۰

تحلیل فضایی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۰۵

در تحلیل خشک‌سالی با آماره موران مقدار شاخص $0/999$ به دست آمده است. از آن جا که عدد به دست آمده نزدیک به عدد مثبت یک است بنابراین داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است.

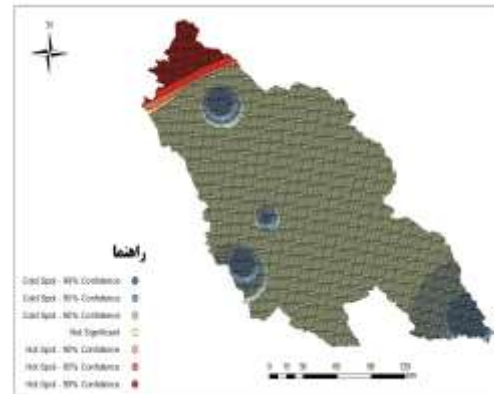
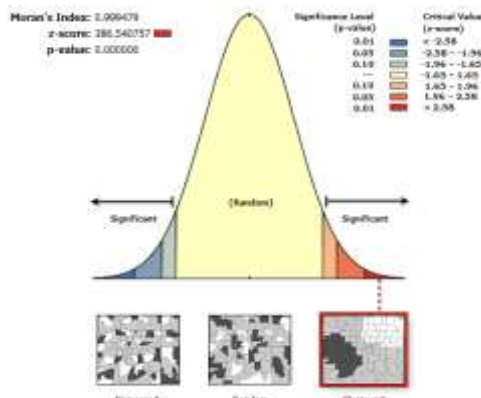
مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ است، نوع الگوی خوشه‌ای با شاخص خشک-

سالی SPI در تصویر زیر نشان داده شده است. (شکل ۱۴)

مطابق نقشه تهیه شده به کمک آماره موران محلی برای شاخص خشک‌سالی SPI این نتایج به دست می‌آید که

خوشه‌های خشک‌سالی با احتمال ۹۹ درصد در قسمت‌هایی از مناطق شمالی حوضه مهارلو بختگان و همچنین

خوشه‌های ترسالی در قسمت‌هایی از مناطق مرکز، جنوب غربی و جنوب شرقی مشاهده می‌شود. (شکل ۱۵)

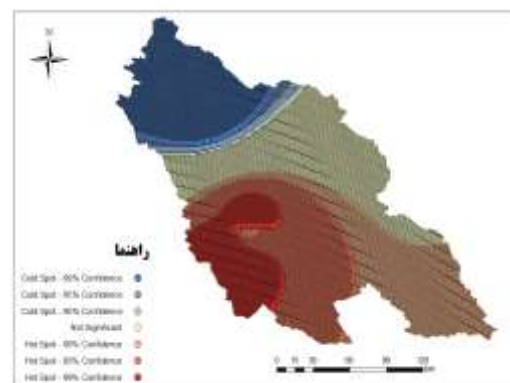
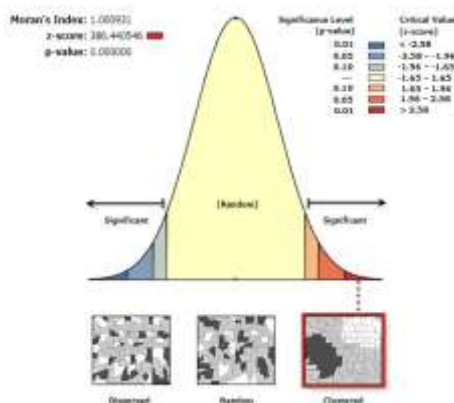


شکل ۱۵: نقشه خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره عمومی گتیس و آرد در سال ۲۰۰۵
 شکل ۱۴: الگوی خوشه‌ای خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره موران در سال ۲۰۰۵

تحلیل فضایی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۰

در تحلیل خشک‌سالی با آماره موران مقدار شاخص ۱ به دست آمده است از آن جا که عدد به دست آمده مثبت یک است بنابراین داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ است و الگوی خوشه‌ای با شاخص خشک‌سالی SPI در خشک‌سالی در تصویر زیر نشان داده شده است. (شکل ۱۶)

مطابق نقشه تهیه شده به کمک آماره موران محلی برای شاخص خشک‌سالی SPI این نتایج به دست می‌آید که خوشه‌های خشک‌سالی با احتمال ۹۹ درصد در قسمت‌هایی از مناطق غربی حوضه مهارلو بختگان و همچنین خوشه‌های ترسالی در قسمت‌هایی از مناطق شمالی، شمال شرقی و شمال غربی مشاهده می‌شود. (شکل ۱۷)



شکل ۱۶: الگوی خوشه‌ای خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره موران در سال ۲۰۱۰
 شکل ۱۷: نقشه خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره عمومی گتیس و آرد در سال ۲۰۱۰

تحلیل فضایی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۱۵

در تحلیل خشک‌سالی با آماره موران مقدار شاخص 0.998 به دست آمده است. از آن جا که عدد به دست آمده نزدیک به عدد مثبت یک است بنابراین داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است.

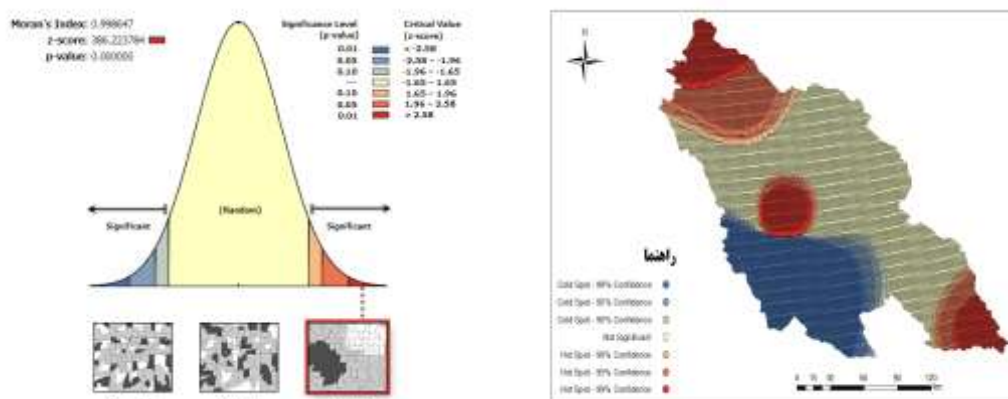
مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ است، نوع الگوی خوشه‌ای با شاخص خشک-

سالی SPI در تصویر زیر نشان داده شده است. (شکل ۱۸)

مطابق نقشه تهیه شده به کمک آماره موران محلی برای شاخص خشک‌سالی SPI این نتایج به دست می‌آید که

خوشه‌های خشک‌سالی با احتمال ۹۹ درصد در قسمت‌هایی از مناطق شمالی، مرکزی و جنوب شرقی حوضه مهارلو

بختگان و همچنین خوشه‌های ترسالی در قسمت‌هایی از مناطق غرب و جنوب غربی مشاهده می‌شود. (شکل ۱۹)



شکل ۱۹: نقشه خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره عمومی گتیس و آرد در سال ۲۰۱۵

شکل ۱۸: الگوی خوشه‌ای خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره موران در سال ۲۰۱۵

تحلیل فضایی خشک‌سالی در حوضه مهارلو بختگان در سال ۲۰۲۰

در تحلیل خشک‌سالی با آماره موران مقدار شاخص ۱ به دست آمده است. از آن جا که عدد به دست آمده مثبت یک است بنابراین داده‌های شاخص خشک‌سالی SPI دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای است.

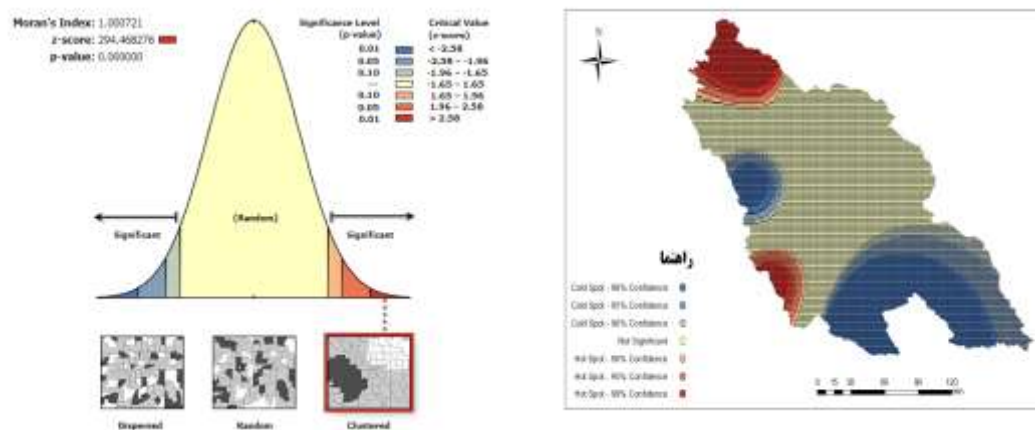
مقدار P-Value بسیار کوچک و مقدار Z محاسبه شده بسیار بزرگ است، نوع الگوی خوشه‌ای با شاخص خشک-

سالی SPI در تصویر زیر نشان داده شده است. (شکل ۲۰)

مطابق نقشه تهیه شده به کمک آماره موران محلی برای شاخص خشک‌سالی SPI این نتایج به دست می‌آید که

خوشه‌های خشک‌سالی با احتمال ۹۹ درصد در قسمت‌هایی از مناطق شمالی و جنوب غربی حوضه مهارلو بختگان و هم-

چنین خوشه‌های ترسالی در قسمت‌هایی از مناطق غرب، جنوب و جنوب شرقی مشاهده می‌شود. (شکل ۲۱)



شکل ۲۱: نقشه خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره عمومی گتیس و آرد در سال ۲۰۲۰

شکل ۲۰: الگوی خوشه‌های خشک‌سالی حوضه مهارلو بختگان با آماره موران در سال ۲۰۲۰

نتیجه‌گیری

داده‌ها و تصاویر سنجش از دوری، می‌توانند نقش مؤثری را در پایش و بررسی خشک‌سالی عهده دار باشند. در این پژوهش با توجه به روند تغییرات شاخص‌های گیاهی منتخب، شاخص NDVI به دلیل هماهنگ بودن با داده‌های باران سنجی، تبیین شد. بدین منظور ابتدا جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی، از داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌های مربوط به سالهای ۲۰۰۵، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ استفاده شد. در مرحله بعد عملیات پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. در این مرحله ابتدا شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده (NDVI) بر روی تصاویر اعمال و سپس تغییرات مساحت پوشش گیاهی بررسی شد. با توجه به محاسبات انجام شده پوشش گیاهی در طول ۲۱ سال گذشته در این منطقه دچار تغییرات زیادی بوده است. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۰۵ نسبت به سال ۲۰۰۰ پوشش گیاهی منطقه افزایش داشته است؛ و در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵ دچار کاهش پوشش گیاهی در منطقه بوده‌ایم. از دلایل این تغییرات می‌توان به کاهش بارندگی‌های زمستانه، تغییرات کاربری اراضی، افزایش چرای خارج از فصل و بیرویه اشاره کرد؛ و بر اساس نتایج در سال ۲۰۲۰ نسبت به سال‌های قبل شاهد افزایش پوشش گیاهی در منطقه می‌باشیم. مساحت پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۰، ۲۹۷۲،۵۹ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۰۵، ۸،۴۴۸۹ کیلومتر مربع، در سال ۲۰۱۰، ۳۱،۳۹۶۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۰ به ۵۹۷۸،۶۷ کیلومتر مربع رسیده است. در واقع نتایج بیانگر وجود خشک‌سالی در منطقه است.

در نهایت شاخص بارش استاندارد شده (SPI) در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ محاسبه و تحلیل آمارفضایی خشک-سالی انجام شد. برای برآورد شاخص بارش استاندارد شده، از آمار ۶ ایستگاه منتخب سینوپتیک (شیراز، زرقان، سد دروزن، اقلید، نی ریز و آباده) استفاده شد. در تحلیل الگوی خوشه‌های خشک‌سالی با آماره موران در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۵ مقدار شاخص ۰،۹۹۹ و در سال ۲۰۱۵ مقدار شاخص ۰،۹۹۸ و در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ مقدار شاخص ۱ به دست آمد. این نتایج نشانگر خوشه‌ای بودن خشک‌سالی‌ها در حوضه مهارلو بختگان در دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۰ می‌باشد.

همچنین نتایج حاصل از مقادیر امتیاز استاندارد Z و مقدار P-Value، خوشه‌ای بودن توزیع فضایی خشک‌سالی را مورد تأیید قرارداد. نتایج بررسی نشان داد که در دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۰) تمرکز بیشتر خوشه خشک‌سالی در شمالی و جنوب شرقی استان می‌باشد و مناطق جنوب و شرق استان از تمرکز کمتر خوشه خشک‌سالی‌ها برخوردار هستند و در واقع مقادیر خفیف خشک‌سالی در این خوشه‌ها دیده می‌شود. در نتیجه، با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای تلفیقی می‌توان به طور جامع نسبت به پیش‌بینی و برآوردهای منطقه‌ای پدیده خشک‌سالی در مناطق فاقد ایستگاه‌های زمینی و یا مناطقی با شبکه ایستگاه‌های زمینی پراکنده و نامنظم اقدام و نتایج بهتری برآورد کرد.

منابع

- ۱- باعقیده، محمد، علیجانی، بهلول و ضیائیان، پرویز، بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI در تحلیل خشک‌سالی‌های استان اصفهان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، (۱۳۹۰): شماره ۳، صص ۱-۱۶.
- ۲- حجازی زاده، زهرا؛ جوی زاده، سعید، (۱۳۹۸): تحلیل آمار فضایی خشک‌سالی در ایران، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸.
- ۳- حجازی زاده، زهرا و پروین، نادر (۱۳۸۶): مدل سازی بارش و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل‌های SARIMA و پیش‌خشک‌سالی به کمک شاخص BMI و نمایه PDRI در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۷، ۱۳۴-۹۷.
- ۴- حکیم دوست، سید یاسر؛ پورزیدی، علی محمد؛ گرامی، محمد صالح، (۱۳۹۳): تحلیل مکانی بارش رگ‌باری استان مازندران در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مقاله ۱۴، دوره ۲۶، شماره ۱۰۲، تابستان ۱۳۹۶، صص ۱۹۱-۲۰۳.
- ۵- خسروی، یونس؛ لشکری، حسن؛ متکان، علی اکبر؛ عساکره، حسین (۱۳۹۴): تحلیل فضایی فشار بخار آب در جنوب و جنوب غرب ایران با استفاده از تکنیک‌های خودهمبستگی فضایی با تأکید بر مراکز و کانون‌های جمعیتی، مدیریت شهری، شماره ۳۹، تابستان ۱۳۹۴.
- ۶- داداشی رودباری، عباسعلی؛ فلاح قالهری، غلام عباس؛ کرمی، مختار؛ باعقیده، محمد، (۱۳۹۴): تحلیل تغییرات بارش حوضه آبریز هراز با استفاده از روش‌های آماری و تکنیک تحلیل طیفی، سامانه مدیریت نشریات علمی، دوره ۲، شماره ۷، تابستان ۱۳۹۵، صص ۵۹-۸۶.
- ۷- سرودی، م؛ جوزی، س (۱۳۹۰): پیش‌بینی تغییرات گیاهان با مدل مارکوف، مجله برنامه‌های سنجش از راه دور و GIS، ۸۳-۹۵.
- ۸- عساکره، حسین، سیفی پور، زهره (۱۳۹۲): توصیف ساختار مکانی بارش سالانه ایران، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۴، سال ۲۸.
- ۱۰- قالهردی، غ. ع. اسدی، م و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴): تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی. (۴)۴۷: صص ۶۳۷-۶۵۰.
- ۱۱- قهرودی، م. و بابایی، ا. (۱۳۹۳): درآمدی بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (رشته جغرافیا). انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- ۱۲- کرمی و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۳): ارزیابی الگوهای بارشی استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های نوین آمار فضایی، مجله علمی-ترویجی سامانه و سطوح آبگیرباران، (۳)۴: صص ۶۱-۷۲.
- ۱۳- مهدوی، ع؛ و س. ر. فلاح شمسی (۱۳۹۱): تهیه نقشه تغییرات سطح جنگل با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره IRS مطالعه موردی: شهرستان ایلام، مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۱۹ (۱): صص ۷۷-۹۰.

۱۴- میرموسوی، سید حسین؛ کریمی، حمیده (۱۳۸۹): مطالعه اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجدهی MODIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱.

- 15- Allard, D. And Soubeyrand, S. (2018). "Skew-Normality For Climatic Data And Dispersal Models For Plant Epidemiology: When Application Fields Drive Spatial Statistics". *Spatial Statistics*, 1, 50-64.
- 16- Anselin, L. (1988), *Spatial Econometrics: Methods And Models*, Kluwer, Boston.
- 17- Anselin, L. (1995a): *Spacestat Version 1.80 Users Guide* Research Institute. West Virginia.
- 18- Bajat, B. Blagojević, D. Kilibarda, M. Luković, J. And Tošić, I. (2014): "Spatial Analysis Of The Temperature Trends In Serbia During The Period 1961–2010". *Theoretical And Applied Climatology*. 1-13.
- 19- Bruce, J.P. (2016): *Natural Disaster Reduction And Global Change*. *Bulletin Of The American Metrological Society*, Vol. 75, NO. 10, PP.181-1835.
- 20- Chao-Bing, H.L. M.D. And Ning, L.I. (2017). "A Review On The Hotspot Issues Of Urban Heat Island Effect". *Journal Of Meteorology And Environment*. 4. 011.
- 21- N.S. Giorgi, F. And Pal, J. S. (2018): "Climate Change Hotspots In The United States". *Geophysical Research Letters*. 35 (16),140-150.
- 22- Heim RR, 2002. A Review Of Twentieth-Century Drought Indices Used In United States. *Bulletin Of The American*
- 23- Jia, S. Zhu, W. Lü, A. And Yan, T. (2019): "A Statistical Spatial Downscaling Algorithm Of TRMM Precipitation Based On NDVI And DEM In The Qaidam Basin Of China". *Remote Sensing Of Environment*. 115 (12), 3069-3079.
- 24- Killeen, T.J. Douglas, M. Consiglio, T. Jorgensen, P.M. And Mejia, J. (2007): "Dry Spots And Wet Spots In The Andean Hotspot". *Journal Of Biogeography*. 34 (8), 1357-1373.
- 25- Matkan, Ali Akbar. Shahri, Matin. Mirzaie, Mojgan (2013): BIVARIATE MORAN'S I AND LISA TO EXPLORE THE CRASH RISKY LOCATIONS IN URBAN AREAS. N-AERUS XIV Enschede 12 - 14th September 2013.
- 26- Mckee, T.B. Doesken, N.J And Kleist, J. (1993): The Relationship Of Drought Frequency And Duration To Time Scales, 8th Conference On Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, Pp. 176- 184.
- 27- Moran, P. A. P. (1948): The Interpretation Of Statistical Maps. *Journal Of The Royal Statistical Society B* 10: 243–51
- 28- Obasi, G. O. P. (1994): WMO's Role In The International Decade For Natural Disaster Reduction. *Bulletin Of The American Meteorological Society*, 75, 1655-1661.
- 30- Ohayon, B. (2011): *Statistical Analysis Of Temperature Changes In Israel: An Application Of Change Point Detection And Estimation Techniques*.170-189.
- 40- Wilhite D.A. (2017): Responding To Drought: Common Threads From The Past, Vision For The Future. *Journal Of The American Water Resources Association*, 33(5): 951-959.