

## ارزیابی تغییر اقلیم و کاربری زمین و ارائه برنامه پیشنهادی آمایش کم کربن در حوضه آبخیز دشت کاشان

ملیحه سادات حمصی - دانشجوی دکتری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
داریوش یاراحمدی - دانشیار، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
مجید اونق - استاد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گرگان، گرگان، ایران  
علی اکبر شمسی پور - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۳۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۲۸

### چکیده

هدف از این مطالعه بررسی پدیده تغییر اقلیم در حوضه دشت کاشان و ارزیابی اثرهای این پدیده و کاربری اراضی بر خشک‌سالی است. به منظور شناسایی روند تغییرات در سیمای این حوضه از تصاویر ماهواره لندست در یک دوره سی و دو ساله استفاده شد. در طبقه‌بندی تصاویر از روش نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. پردازش اطلاعات در این دوره زمانی حاکی از افزایش سطح اراضی کشاورزی، مسکونی، و صنعتی در دوره ۱۹۸۵-۲۰۰۰ به میزان ۵,۷ و ۳,۲ درصد و کاهش اراضی مرتع و کشاورزی به میزان ۵,۶ و ۴,۷ درصد و افزایش اراضی شورزار به مقدار ۲۰ درصد در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷ است. با هدف پیش‌بینی آینده، داده‌های بارش با مدل آماری SDSM برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۰ محاسبه شد. همچنین، با مدل من-کندال روند تغییرات بارش در دوره ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۷ بررسی شد. خشک‌سالی از طریق شاخص SPI به‌دست آمد. مطالعه هم‌زمان تغییر کاربری و اقلیم با توجه به خشک‌سالی طولانی‌مدت، آسیب‌پذیری، و خشک‌بودن حاکی از تحمیل فشارهای زیاد بر محیط زیست منطقه است. در صورت ادامه روند فعلی حوضه دشت کاشان با خسارت جبران‌ناپذیری روبه‌رو می‌شود. از این رو، این تحقیق راهبرد آمایش سبز (کم کربن) را برای کاهش خطرهای محیط زیستی و خسارات خشک‌سالی در منطقه پیشنهاد می‌کند.

واژگان کلیدی: آمایش سبز (کم کربن)، تغییر اقلیم، تغییر کاربری زمین، حوضه دشت کاشان.

### مقدمه

تبادل کربن بین اتمسفر و بیوسفر کره زمین مهم‌ترین عامل در کنترل گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی است (واتسون و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۸۹). افزایش نگرانی در مورد تغییرات اقلیم جهانی توجه جامعه علمی را به استفاده از کاربری‌هایی با تولید دی اکسید کربن کمتر جلب کرده است (لوباوسکی و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۳۵). بنابراین، بررسی تغییرات میزان کربن در جنگل کاری، بازکاشت جنگل، جنگل‌زدایی، و دیگر فعالیت‌های مرتبط با کاربری اراضی مهم است (واتسون و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۸۹). کاربری اراضی و تغییرات آن متغیرهای مهمی هستند که اثرهای قابل توجهی در محیط زیست می‌گذارند (فودی، ۲۰۰۰: ۴۳۳) و می‌توانند موجب انتشار گازهای گلخانه‌ای شوند که باعث تغییر اقلیم می‌شود. همچنین، تغییر اقلیم و کاربری زمین بر یکدیگر اثر متقابل دارند. فعالیت‌های بشر از طریق تغییر در پراکنش اکوسیستم‌ها و پوشش زمین تغییر اقلیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (دال، ۱۹۹۷: ۷۵۳؛ جهانی شکیب و همکاران، ۱۳۹۳: ۶۳۲). در طی سال‌های اخیر سرعت تغییر در اکوسیستم‌ها چنان سریع انجام گرفته که امکان سازگاری موجودات زنده با تغییرات محیطی

به‌سختی انجام می‌گیرد (مس، ۲۰۰۴: ۲۵۰) و این عارضه ناشی از عدم استفاده منطقی از سرزمین (مخدوم، ۱۳۸۵) و تبدیل و تغییر در نوع کاربری و استفاده از زمین بدون توجه به میزان کربن تولیدی هر کاربری است. بنابراین، داشتن اطلاع از نوع استفاده از اراضی و تغییرات آن در طی زمان از موارد مهم در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در کشور است (نظری سامانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۴۴۲). این مسئله در خصوص مناطق حساس و به‌ویژه مناطق خشک، بیابانی، و کویری از اهمیت بیشتری برخوردار است. این مناطق یک بخش حیاتی از محیط زیست فیزیکی و انسانی زمین‌اند (بیابان و استرک، ۲۰۱۲: ۱۰۰). مناطق خشک و نیمه‌خشک با توجه به ویژگی‌های حاکم بر آن و شیوه‌های بهره‌برداری نامناسب (ولی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۶) به تغییرات اقلیمی و کاربری زمین حساس‌اند (لگس، ۲۰۰۳: ۶۷). پیامد منفی بهره‌برداری‌های نامناسب و بی‌توجهی به میزان تولید کربن کاربری‌های ایجادشده باعث ایجاد تغییرات بسیاری در وضعیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز این مناطق شده است؛ به‌طوری‌که در سال‌های اخیر شدت خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌ها در بخش‌های مختلف مناطق خشک و نیمه‌خشک به نحو چشم‌گیری افزایش داشته است. درباره آشکارسازی تغییرات اقلیم مطالعه خشک‌سالی در تحقیقات انجام‌گرفته بسیار مورد توجه واقع شده است (آقاکوچک و همکاران، ۲۰۱۴: آیارس، ۲۰۱۳: دموس و همکاران، ۲۰۰۶: کوک و همکاران، ۲۰۱۵: لیو و همکاران، ۲۰۱۷: لوکاس و همکاران، ۲۰۰۸). زیرا خشک‌سالی بخش جدایی‌ناپذیر تغییرات اقلیمی است (کتاب‌فروش بدری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱) و ایران به جهت قرارگرفتن در منطقه خشک و بیابانی جهان با بارشی حدود یک‌سوم بارش جهانی (کردوانی، ۱۳۷۱) و دوربودن از منابع رطوبتی و نوسان‌های شدید مکانی و زمانی پدیده مذکور از جمله کشورهایی است که خسارات هنگفتی را از این تهدید طبیعی در گستره‌های مختلف دریافت کرده است. خشکی یک پدیده ذاتی و مربوط به یک منطقه است که تغییرپذیر نیست، ولی خشک‌سالی پدیده‌ای موقتی است که امکان بروز و ظهور در هر اقلیمی را دارد (رحیمی و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۵). به‌منظور مدیریت اثر هم‌زمان تغییر اقلیم و کاربری زمین بر افزایش بلایای طبیعی همچون خشک‌سالی، سناریوی آمایش سبز<sup>۱</sup> یا کم‌کربن<sup>۲</sup> در این تحقیق پیشنهاد می‌شود. آمایش کم‌کربن یک فرایند برنامه‌ریزی برای استفاده از کاربری زمین با توجه به پتانسیل زمین است که براساس محاسبه مقدار کربن و کمیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در چشم‌اندازها و کاربری‌های مختلف اراضی این برنامه‌ریزی انجام می‌گیرد (باربر و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۴). در حال حاضر تکنولوژی سنجش از دور و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بهترین وسیله برای پایش تغییرات محیطی و استخراج کاربری اراضی است که بیشترین سرعت و دقت و کمترین هزینه را دارد (فیضی‌زاده و حاجی میر رحیمی، ۱۳۸۷: ۶؛ طاهری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۲۸).

در زمینه اثر تغییر اقلیم و کاربری زمین بر بلایای طبیعی مطالعات متعددی انجام پذیرفته است. مثلاً، کیو و همکاران (۲۰۱۳) تأثیرات تغییر و تحول پوشش زمین و تغییر اقلیم را بر روی هیدرولوژی حوضه بالادست رودخانه یلودر چین مطالعه کردند. دلگادو و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی اثرهای بارش و کاربری اراضی در تولید رسوب در حوضه رودخانه بلیساریو در آرژانتین پرداختند. شی و چن (۲۰۱۸) روند تغییر اقلیم را در استانیونان چین تحلیل کردند و نتیجه گرفتند که ارتباط بین تغییرات پوشش زمین و دما قوی‌تر از ارتباط آن با بارش در این منطقه است. جهانی شکیب و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی روند تغییرات کاربری زمین و تغییر اقلیم در سیمای سرزمین تالاب چغاخور با تأکید بر آثار محیط زیستی پرداختند. بحری و دستورانی (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای اثرهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ

1. Green Land Use Planning (GLUP)

2. Low Carbon

هیدرولوژیک حوضه آبخیز اسکندری را ارزیابی کردند. دارابی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود به تغییرپذیری شاخص‌های حدی هیدرولوژیک در سناریوهای مختلف کاربری اراضی در حوضه آبخیز ماربره استان (لرستان) اشاره دارند. تیموری و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز کندران پرداختند. در زمینه آمایش کم کربن نیز مطالعات بسیاری انجام شده است (دیوجاک، ۲۰۰۹؛ کمپل و همکاران، ۲۰۱۲؛ باربر و همکاران، ۲۰۱۵).

مطالعات متعددی در زمینه ارزیابی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر بلایای طبیعی انجام پذیرفته است، اما تحقیقی که هم‌زمان به بررسی اثر دو عامل تغییر اقلیم و تغییر کاربری زمین بر افزایش خشک‌سالی در آینده، که شاخصی از بروز تغییر اقلیم است، و یک راهکار مدیریتی جهت کاهش این اثرها ارائه دهد دیده نشده است. با توجه به کاستی‌های تحقیقاتی موجود در زمینه بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی به‌طور هم‌زمان و در نظر نگرفتن میزان کربن تولیدی کاربری‌های پیشنهادی در برنامه‌های مدیریت آمایشی، در تحقیق پیش رو به ارزیابی اثر دو پارامتر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر افزایش خشک‌سالی در حوضه دشت کاشان در دهه ۲۰۳۰ پرداخته شده است. پیشنهاد مطالعه حاضر رویکرد نوین آمایش کم کربن<sup>۱</sup> یا سبز (باربر و همکاران، ۲۰۱۵) به‌عنوان یک ابزار مدیریت برای کاهش اثرهای تغییر اقلیم و کم‌رنگ کردن ردپای کربن<sup>۲</sup> (پیترز، ۲۰۱۰: ۲۴۵) در ارتباط با کاربری زمین است. همچنین، این پژوهش می‌تواند راهگشای پیش‌بینی وضعیت در آینده و ارائه برنامه‌های کارآتر در زمینه توسعه پایدار منابع موجود در منطقه مطالعاتی باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کاشان با مساحتی برابر ۵۵۷۴ کیلومتر مربع در شمال استان اصفهان و جنوب غرب تهران با مختصات جغرافیایی بین "۲۹'۵۴" تا "۳'۵۲" طول شرقی و "۳۶'۳۶" تا "۶'۳۴" عرض شمالی واقع شده است و از شمال به دریاچه نمک، از شرق به حوضه کویر مرکزی، از جنوب به حوضه زاینده‌رود، و از غرب به دلیجان محلات از حوضه قمرود محدود می‌شود (تصویر ۱). اقلیم منطقه مورد مطالعه، با توجه به روش دومارتن، در مناطق دشتی جزو اقلیم خشک یا بیابانی و در مناطق کوهستانی جزو اقلیم نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌شود. حداکثر بارش منطقه در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد (شرکت باغبان سبز کویر کاشان، ۱۳۹۸: ۸).

### روش‌ها

ابزار و روش‌های مورد نظر در این پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود.

### بررسی تغییرات اقلیمی

در این تحقیق، اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کاشان (E ۴۱°۵۱' و N ۳۳°۹۸')، که دارای آمار طولانی مدت و ارتفاعی برابر ارتفاع متوسط وزنی حوضه آبخیز دشت کاشان است، استفاده شد و داده‌های میانگین بارش ماهانه این ایستگاه طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۱۷ برای پایش خشک‌سالی و بررسی روند بارش در منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شد. یکنواختی و

1. Green Land Use Planning (GLUP)

2. Carbon Footprint

صعودی یا نزولی بودن پارامترهای اقلیمی می‌تواند تعیین‌کننده روند داده‌ها باشد (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۱۳۹۰: ۸۴). برای تشخیص روند بارش بر سری زمانی، آزمون غیرپارامتریک من-کندال (امیری و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۵۲) انجام شد. در پژوهش حاضر به منظور برآورد داده‌های بارش آینده از مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سناریوی انتخابی RCP4.5 و از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM4.2 (تیموری و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۵۸) استفاده شد. هم‌زمان با بررسی تغییرات بارش، روند تغییرات خشک‌سالی نیز طی دوره ۱۹۶۶-۲۰۵۰ به منظور ارزیابی تغییرات اقلیم به دست آمد. برای پایش خشک‌سالی، از نتایج محاسبه شاخص بارش استاندارد شده<sup>۱</sup> (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵) در مقیاس دوازده‌ماهه توسط نرم‌افزار درینسی<sup>۲</sup> استفاده شد. در نهایت، برای آزمون کارایی مدل، از معیارهای ضریب تعیین<sup>۳</sup> (شیدائیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۶۴)، مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۴</sup>، و میانگین مطلق خطا<sup>۵</sup> (صداقت‌کردار و فتاحی، ۱۳۸۷: ۶۷؛ هوشیار و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۳) استفاده شد.

### بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی

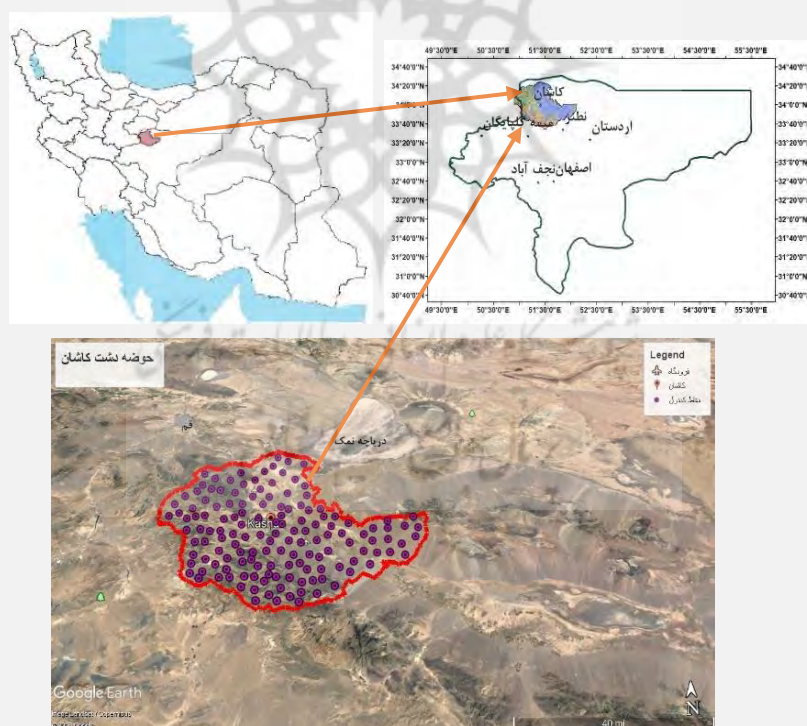
برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی منطقه مطالعه‌شده، از تصاویر ماهواره‌اندست، سنجنده‌های MSS، ETM+، و OLI (۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷) استفاده شد (جدول ۱). با توجه به اقلیم منطقه مورد مطالعه، پوشش گیاهی به دلیل افزایش دما و تبخیر بالای منطقه دوره رشد کوتاهی دارد. در این منطقه در ماه می دوره رشد گیاهان کامل می‌شود. بنابراین، در این تحقیق از تصاویر ماه می استفاده شد. تصاویر باندهای مختلف سال ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷ با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، گوگل ارث<sup>۶</sup>، و با استفاده از نقاط کنترل زمینی<sup>۷</sup> (۱۴۳ نقطه) به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب تصحیح هندسی شد. سپس، تصاویر رنگی کاذب هر تاریخ با استفاده از ترکیب باندهای ۲ (سبز)، ۳ (قرمز)، و ۴ (مادون قرمز نزدیک) برای شناسایی کاربری‌های مختلف ساخته شد و در نهایت نقشه کاربری زمین تهیه شد. طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۸</sup> بر اساس روش حداکثر احتمال<sup>۹</sup> انجام گرفت. این روش طبقه‌بندی براساس واریانس و کواریانس انجام می‌شود. در نهایت، در هشت طبقه به نام‌های کشاورزی، مرتع، باغات، جنگل‌داری، مسکونی، اراضی شور، اراضی بایر، سندون<sup>۱۰</sup> تقسیم‌بندی شد و صحت‌سنجی طبقه‌بندی از طریق دو شاخص ارزیابی دقت شامل شاخص صحت کلی<sup>۱۱</sup> و ضریب کاپا<sup>۱۲</sup> (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۸) انجام گرفت.

### آمایش کم‌کربن (سبز)

یکی از راه‌های حفظ منابع برای آینده و توسعه پایدار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۱۳</sup> است. تغییر کاربری و استفاده نامناسب از زمین بر میزان انتشار این گازها و در نتیجه گرمایش جهانی تأثیر بسزایی دارد. یکی از راه‌های پیشنهادی این

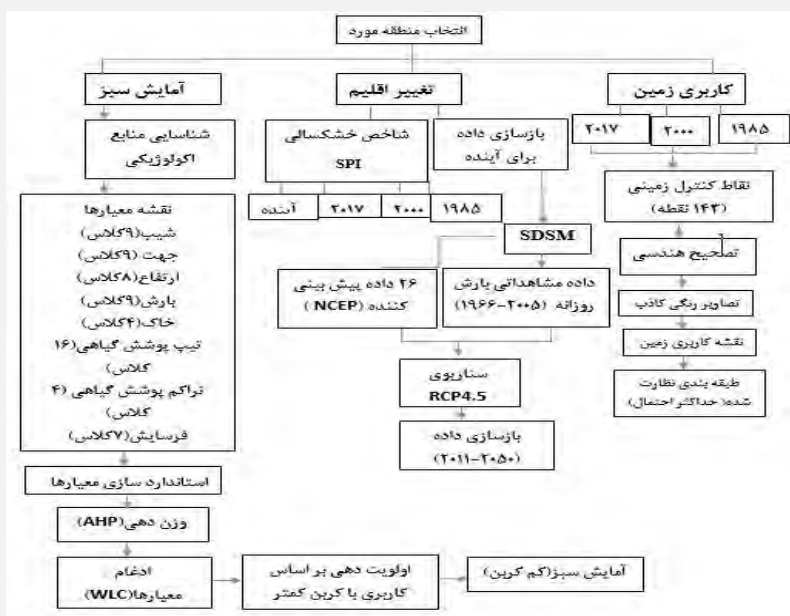
1. Standard Precipitation Index (SPI)
2. DrinC
3. Coefficient of Determination(R<sup>2</sup>)
4. Root-mean-square error (RMSE)
5. Mean Squared Error( MAE)
6. Google Earth
7. Ground Control Point(GCP)
8. Supervised Classification
9. Maximum Likelihood
10. Sanddune
11. Overall accuracy
12. Kappa coefficient
13. Green House Gases(GHG)

پژوهش برای کاهش اثر گازهای گلخانه‌ای و کم‌رنگ کردن رد پای کربن (تجمع کربن در اثر تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی)<sup>۱</sup> (پرتسوا، ۲۰۰۷: ۵) استفاده از رویکرد آمایش کم کربن است که عبارت است از تعیین کاربری مناسب هر منطقه براساس توان پتانسیل آن به نحوی که کاربری کم‌کربن‌تر به جای پُرکربن‌تر انتخاب شود (باربر و همکاران، ۲۰۱۵: ۶). جدول ۲ اولویت انتشار در کاربری‌های مختلف آمایشی را نشان می‌دهد. برای به‌دست‌آوردن نقشه آمایش کم کربن، نخستین گام استانداردسازی معیارها و محدودیت‌هاست. برای استانداردسازی چندین روش وجود دارد که در این تحقیق از روش فازی و توابع خطی برای استانداردسازی شاخص‌ها استفاده شد. این روش کلیه مقادیر و ارزش‌های لایه‌های نقشه‌ای را به دامنه یکسانی بین صفر تا یک یا صفر تا ۲۵۵ تبدیل می‌کند (قاسمی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۱۷). گام بعدی وزن‌دهی به معیارها و محدودیت‌هاست. روش‌های متنوعی برای وزن‌دهی وجود دارد که در این تحقیق از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شد (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰: ۷۹). در نهایت، ارزیابی چندمعیاری به روش ترکیب خطی وزن‌دار<sup>۲</sup> انجام شد. روش ترکیب خطی وزن‌دار رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاری است که بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تحلیلگر یا تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای «اهمیت نسبی» هر معیار مورد بررسی وزن نهایی به معیارها می‌دهد. سپس، از طریق ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن خصیصه، یک مقدار نهایی برای هر آلترناتیو<sup>۳</sup> به‌دست می‌آید. پس از آن آلترناتیوی که بیشترین مقدار را داشته باشد برای هدف مورد نظر مناسب‌تر خواهد بود.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در تحقیق و نقاط کنترل زمینی

1. Anthropogenic climate change
2. Weighted Linear Combination(WLC)
3. Alternative



شکل ۲. نمودار مراحل کار تحقیق

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای

ردیف	ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک مکانی	شماره ردیف و گذر	قدرت تفکیک رادیومتری
۱	لندست ۵	MSS	۱۹۸۵/۵/۱۴	۷۹ متر	۱۶۴/۳۶ و ۱۶۴/۳۷	۸ بیت
۲	لندست ۷	+ETM	۲۰۰۰/۵/۱۵	۲۸٫۵ متر	۱۶۴/۳۶ و ۱۶۴/۳۷	۸ بیت
۳	لندست ۸	OLI	۲۰۱۷/۵/۲۲	۳۰ متر	۱۶۴/۳۶ و ۱۶۴/۳۷	۱۶ بیت

جدول ۲. اولویت انتشار کربن در کاربری‌های آمایشی

اولویت انتشار کربن	کاربری زمین	اولویت انتشار کربن	کاربری زمین
۱۷	توسعه شهر و روستا و صنعت ۱	۱۴	توریسم متمرکز ۲
۱۸	توسعه شهر و روستا و صنعت ۲	۱۵	توریسم گسترده ۱
۸	کشاورزی ۳	۱۶	توریسم گسترده ۲
۹	کشاورزی ۴	۴	مرتع‌داری ۱
۱۰	کشاورزی ۵	۵	مرتع‌داری ۲
۱۱	کشاورزی ۶	۶	مرتع‌داری ۳
۱۲	کشاورزی ۷	۲	جنگل‌داری ۶
۷	کشاورزی ۲	۳	جنگل‌داری ۷
۱۳	توریسم متمرکز ۱	۱	حفاظت محیط زیست

منبع: براساس مطالعات دال، ۱۹۹۷؛ لوبوسکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ هوگتون و همکاران، ۲۰۱۲؛ توبیلو و همکاران، ۲۰۱۴؛ هرگولاک و ورچات، ۲۰۱۴

در این روش قاعده تصمیم‌گیری، مقدار هر آلترناتیو با رابطه ۱ محاسبه می‌شود (کرم، ۱۳۸۳: ۱۳۷):

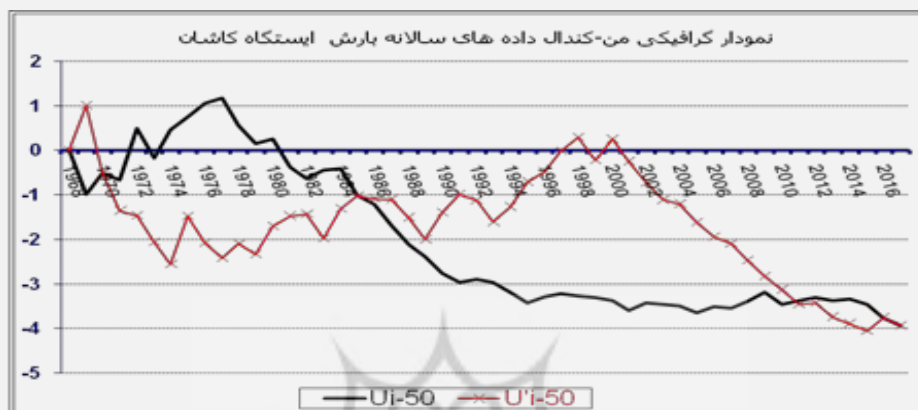
$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \tag{1}$$

در رابطه ۱، وزن شاخص زام و  $X_{ij}$  مقداری است که مکان زام در رابطه با شاخص زام به خود پذیرفته است.

### یافته‌های پژوهش

#### بررسی روند بارش با استفاده از مدل من - کندال

در شکل ۳ نمودار من - کندال داده‌های بارش سالانه ایستگاه کاشان در دوره ۱۹۶۸-۲۰۱۷ در جدول ۳ تغییرات میانگین بارش نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار تغییرات آماره‌های U و U' بارش متوسط سالانه

از شکل ۳ استنباط می‌شود که در نمودار گرافیکی من - کندال داده‌های سالانه بارش ایستگاه مورد مطالعه در سال ۱۹۸۵ و ۱۹۶۹ جهش کاهشی مشاهده می‌شود. همچنین، به علت قطع نمودار دو مؤلفه U و U' در سال ۲۰۱۵ روند کاهشی بارش دیده می‌شود که تا سال ۲۰۱۷ ادامه دارد. براساس جدول ۳، ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، می، آگوست، اکتبر، و دسامبر دارای روند معنی‌دار منفی بوده و به جز ماه سپتامبر با تغییر میانگین بارش ۰٫۵ میلی‌متر، که دارای تغییرات افزایشی است، سایر ماه‌های باقی‌مانده دارای تغییرات کاهشی بارش‌اند. در داده‌های بارش سالانه با کاهش ۱٫۸ میلی‌متر نیز روند معنی‌دار کاهشی دیده می‌شود.

جدول ۳. بررسی نوع (حروف) و زمان (اعداد) تغییر میانگین بارش در ایستگاه مطالعاتی

نام ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئلی	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
کاشان	-۲٫۶	-۳٫۴	۲٫۷-	-۱٫۱	-۳٫۳	-۱٫۱	-۰٫۹	-۳٫۰	۰٫۵	-۲٫۹	-۰٫۳	-۱٫۸	-۱٫۸

TD: روند منفی (کاهشی)، TI: روند مثبت (افزایشی)، AD: تغییر کاهشی، AI: تغییر افزایشی

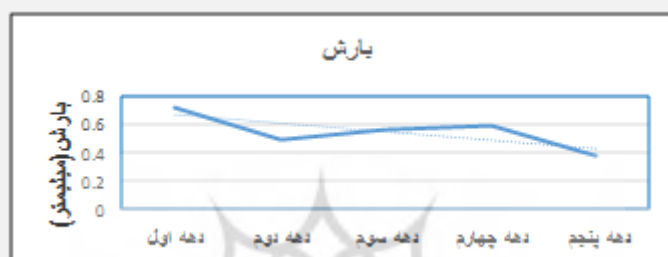
مأخذ: معروف‌نژاد و قاسمی، ۱۳۹۵: ۱۶۲

به‌منظور بررسی روند و میزان انحراف تغییرات پارامتر بارش، داده‌های میانگین سالانه این پارامتر در ایستگاه سینوپتیک کاشان در بازه زمانی پنجاه‌ساله ۱۹۶۸-۲۰۱۷ تحلیل و ارزیابی شد. بدین‌منظور، نخست میانگین پنجاه‌ساله پارامتر بارش ۵۴۵ میلی‌متر به‌دست آمد. سپس، این بازه زمانی به پنج دهه (۱۹۶۸-۱۹۷۷)، (۱۹۷۸-۱۹۸۷)، (۱۹۸۷-۱۹۹۶)

۱۹۹۷)، (۲۰۰۷-۱۹۹۸)، و (۲۰۱۷-۲۰۰۷) دسته‌بندی شد. میانگین هر دهه محاسبه گردید و اختلاف میانگین هر دهه از میانگین بلندمدت پنجاه‌ساله به‌دست آمد (جدول ۴). در نهایت، این تغییرات به‌صورت نمودار (شکل ۴) نشان داده شد.

جدول ۴. تغییرات میانگین بارش در دهه‌های مختلف از میانگین بلندمدت پنجاه‌ساله (۱۹۶۸-۲۰۱۷)

بازه زمانی	میانگین بارش (میلی‌متر)	انحراف میانگین دما از میانگین پنجاه‌ساله
دهه اول (۱۹۶۸-۱۹۷۷)	۰,۷۱۲	۰,۱۶۷
دهه دوم (۱۹۷۸-۱۹۸۷)	۰,۴۹۰	-۰,۰۵۵
دهه سوم (۱۹۸۷-۱۹۹۷)	۰,۵۶۴	۰,۰۱۹
دهه چهارم (۱۹۹۸-۲۰۰۷)	۰,۵۸۶	۰,۰۴۱
دهه پنجم (۲۰۰۷-۲۰۱۷)	۰,۳۷۴	-۰,۱۷۱



شکل ۴. تغییرات میانگین بارش در دهه‌های مختلف از میانگین بلندمدت پنجاه‌ساله (۱۹۶۸-۲۰۱۷)

براساس جدول ۴ و شکل ۴، میانگین بارش دهه اول (۱۹۶۸-۱۹۷۷) به میزان ۰,۱۶۷ میلی‌متر، دهه دوم (۱۹۸۷-۱۹۹۷) ۰,۰۵۵ میلی‌متر کاهش، دهه سوم (۱۹۸۷-۱۹۹۷) ۰,۰۱۹ میلی‌متر افزایش بارش، دهه چهارم (۱۹۹۸-۲۰۰۷) ۰,۰۴۱ میلی‌متر افزایش، و دهه پنجم (۲۰۰۷-۲۰۱۷) به مقدار ۰,۱۷۱ میلی‌متر کاهش دارد. این نتایج گویای روند و تغییرات کاهشی بارش در دهه اخیر است.

#### اعتبارسنجی<sup>۱</sup> مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

اعتبارسنجی مدل ریزمقیاس‌نمایی براساس سه شاخص عملکردی در جدول ۵ ارائه شده است. برای اطمینان از صحت مدل، به ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی‌شده با استفاده از متغیرهای NCEP (رطوبت ویژه در ارتفاع ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه سطحی، و کل بارش مایع و جامد) و داده‌های مشاهداتی برای دوره پایه (۱۹۶۶-۲۰۰۵) پرداخته شد و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که در پیش‌بینی بارش با توجه به طبیعت غیرعادی<sup>۲</sup> آن اطمینان کمتری وجود دارد؛ اما این مطلب قابل ذکر است که مقدار  $R^2$  کم برای داده‌های بارش روزانه در منطقه مورد مطالعه قابل قبول است، زیرا براساس استانداردهای جهانی حوضه دشت کاشان به‌عنوان یک منطقه خشک کلاس‌بندی شده است. در مجموع، نتایج حاصل از شاخص‌ها بیانگر این است که مدل SDSM در مقیاس ماهانه و فصلی و سالانه از دقت بیشتری نسبت به مقیاس روزانه برای ریزمقیاس‌گردانی پارامتر بارش در حوضه مورد بررسی برخوردار است و در کل مدل کارایی مناسبی در کوچک‌مقیاس کردن مقادیر بارش منطقه دارد.

1. Validation

2. Abnormal

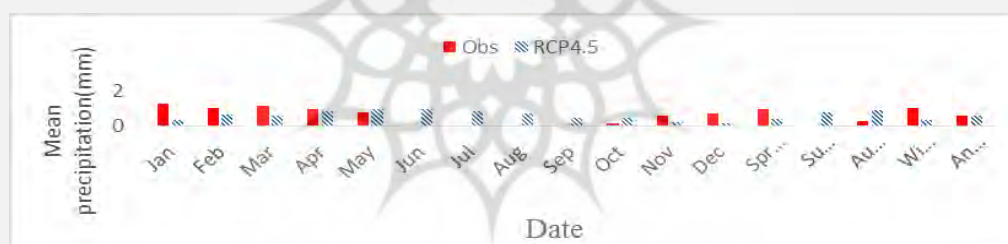


جدول ۵. نتایج اعتبارسنجی مدل ریزمقیاس نمایی SDSM

مقیاس زمانی	شاخص‌های عملکردی آماری	بارش	مقیاس زمانی	شاخص‌های عملکردی آماری	بارش
روزانه	$R^2$	۰,۵۹	فصلی	$R^2$	۰,۹۹
	MAE	۰,۲۰		MAE	۰,۰۰۲
	RMSE	۲,۵۹		RMSE	۰,۰۰۲
ماهانه	$R^2$	۰,۹۹	سالانه	$R^2$	۰,۹۹
	MAE	۰,۰۲		MAE	۰,۰۰۰۱
	RMSE	۰,۰۰۴		RMSE	۰,۰۰۰۱

### نتایج ریزمقیاس نمایی مدل SDSM

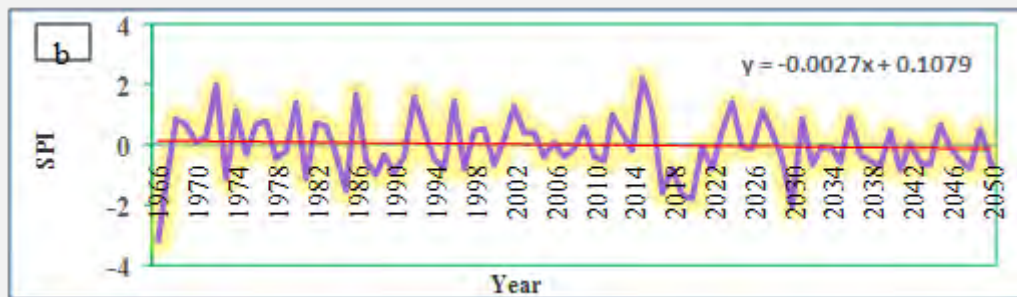
نمودار ۵ نشان می‌دهد که میانگین بارش در ایستگاه کاشان در بیشتر ماه‌ها در آینده کاهش خواهد داشت. مقدار بارش در ماه‌های می، ژوئن، جولای، اوت، سپتامبر، و اکتبر در سناریوی انتخابی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت. افزایش بارش در ماه‌های ژوئن، جولای، و اوت در فصل تابستان حتی بیشتر از ماه‌های فصل زمستان ناشی از افزایش میزان دی‌اکسید کربن است (سیاری و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۲۵) و توزیع زمانی نامناسب بارندگی را نشان می‌دهد که حاصل ایجاد اختلالات رژیم آب و هوا به دلیل پدیده تغییرات اقلیمی طی سال‌های آتی است (گل‌محمدی و بوانی، ۱۳۹۰: ۳۲۰). براساس نتایج به‌دست‌آمده از SDSM، RCP4.5 کمترین میانگین بارش ۰,۲ mm را در ماه دسامبر و بیشترین میانگین بارش ۰,۹۹mm را در ماه می پیش‌بینی کرده است.



شکل ۵. مقایسه میانگین بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۵۰ تحت سناریوی RCP 4.5 با دوره مشاهداتی

### ارزیابی خشک‌سالی

نتایج بررسی روند شاخص SPI دوازده‌ماهه برای دوره پایه و پیش‌بینی با RCP4.5 در شکل ۴ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در سال ۱۹۸۵ خشک‌سالی در طبقه ۱,۵- تا ۱,۹۹- جای دارد که گویای چیرگی خشک‌سالی شدید بر منطقه مورد مطالعه است. در سال ۲۰۰۰ نیز خشک‌سالی در طبقه ۰,۹۹- تا ۰,۹۹ قرار دارد که نمایانگر خشکی نزدیک به نرمال است. همچنین، در سال ۲۰۱۷، کاهش در میانگین دوازده‌ماهه SPI دیده می‌شود و خشک‌سالی در طبقه ۱,۹۹- تا ۱,۵- قرار دارد که بیانگر خشک‌سالی شدید است. براساس شاخص SPI در آینده برای سال ۲۰۳۰ (۲۰۱۱-۲۰۵۰) تحت سناریوی RCP4.5 در مقایسه با دوره پایه کاهش یافته و خشک‌سالی در طبقه ۲- و کمتر قرار دارد که گویای خشک‌سالی حاد است. بنابراین، براساس روند بارش، شاهد جهش کاهشی بارش در سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۱۷ هم‌زمان با خشک‌سالی شدید می‌باشیم. همچنین، روند تغییرات خشک‌سالی در طول دوره مورد مطالعه شیب منفی را نشان می‌دهد (شکل ۶). این نتایج نشان می‌دهد که خشک‌سالی شدید به‌عنوان یکی از نتایج تغییر اقلیم به‌احتمال زیاد در آینده رخ خواهد داد (لی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۲).



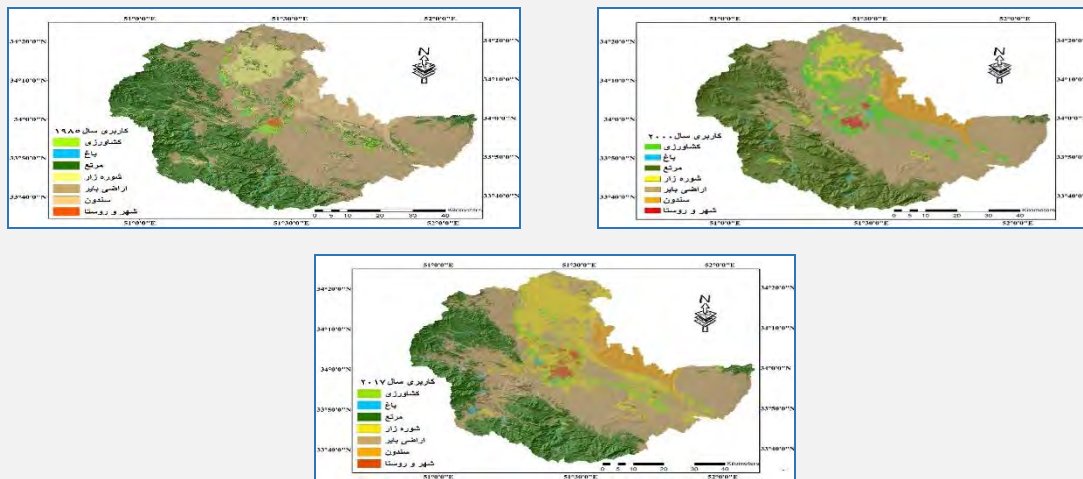
شکل ۶. روند تغییرات شاخص SPI در مقیاس زمانی دوازده‌ماهه در طول دوره آماری ۸۵ ساله (۱۹۶۶-۲۰۵۰)

### تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی

نقشه کاربری اراضی برای سه دوره زمانی (سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷) در شکل ۷ آورده شده است. پس از تهیه نقشه کاربری، مساحت برای هفت طبقه کاربری زمین محاسبه شد. نتایج تغییرات رخ داده نشان می‌دهد که طی دوره زمانی (۱۹۸۵-۲۰۰۰) وسعت کاربری اراضی کشاورزی به میزان ۵,۷ درصد، بایر به میزان ۰,۶۱ درصد، و شهر و روستا و صنعت به میزان ۰,۳۲ درصد از کل سطح منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است و کاربری‌های مرتع، سندون، شوره‌زار، و باغ به ترتیب به میزان ۵,۰۵، ۰,۹۲، ۰,۵۷، و ۰,۱ درصد کاهش یافته است. در سال ۲۰۰۰ با توجه به افزایش میزان بارش در مقایسه با سال ۱۹۸۵ و کاهش خشک‌سالی، کاهش اراضی شوره‌زار و سندون دیده می‌شود. نتایج حاصل از بررسی تغییرات بین دوره زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۷) نشان می‌دهد که کاربری‌های شوره‌زار، شهر، و باغ به ترتیب به میزان ۱,۲۰، ۱,۰۷، و ۰,۲۸ درصد افزایش داشته و کاربری‌های مرتع، کشاورزی، بایر، و سندون به ترتیب به میزان ۵,۶۲، ۴,۶۹، ۲,۵۲، و ۰,۷۳ درصد کاهش مساحت را نشان می‌دهند.

جدول ۶. مساحت و درصد طبقه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین برای سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷ میلادی (کیلومتر مربع)

طبقه کاربری / پوشش اراضی	۱۹۸۵	۲۰۰۰	اختلاف (%)	۱۹۸۵	۲۰۱۷	اختلاف (%)
کشاورزی	۳,۶۹	۵۲۴,۵۲	۹,۴۱	۵,۷۱	۲۶۳,۴۰	۴,۷۳
باغ	۰,۷۹	۳۶,۰۴۶	۰,۶۵	-۰,۱۵	۵۶,۱۲۰	۰,۳۶
مرتع	۴۰,۰۱	۱۹۴۹,۱۹	۳۴,۹۷	-۵,۰۴	۱۶۳۵,۵۰	۲۹,۳۴
شوره‌زار	۶,۰۵	۳۰۵,۶۶	۵,۴۸	-۰,۵۷	۹۸۴,۱۲	۱۷,۶۶
اراضی بایر	۶,۱۶	۲۴۳۲,۲۴	۴۳,۶۴	۳۷,۴۸	۲۲۹۱,۷۰	۴۱,۱۱
سندون	۶,۱۶	۲۹۲,۶۲	۵,۲۵	-۰,۹۱	۲۵۰,۵۲	۴,۴۹
شهر و روستا	۰,۲۸	۳۳,۷۲	۰,۶۱	۰,۳۳	۹۲,۶۰	۱,۰۶



شکل ۷. نقشه کاربری / پوشش اراضی (سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷)

### ارزیابی صحت طبقه‌بندی

نتایج صحت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری / پوشش اراضی در طی دوره مورد مطالعه در جدول ۷ آورده شده است. براساس جدول ۷، بهترین نتایج حاصل از طبقه‌بندی مربوط به تصاویر سال ۲۰۱۷ است که مقدار دقت کلی ۰٫۹۴ و ضریب کاپای ۰٫۹ را نشان می‌دهد.

### ارزیابی تون اکولوژیک

پس از فازی کردن نقشه‌های معیار، ارزیابی توان اکولوژیک برای هشت کاربری کشاورزی، مرتع‌داری، جنگل‌داری، حفاظت، توریسم گسترده و متمرکز، و توسعه شهر و روستا انجام گرفت (شکل ۸). جدول ۸، کلاس‌های مختلف به‌دست‌آمده در ارزیابی توان اکولوژیک و نقشه آمایش سبز در حوضه دشت کاشان را نشان می‌دهد.

جدول ۷. دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری / پوشش اراضی (سال‌های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰، و ۲۰۱۷)

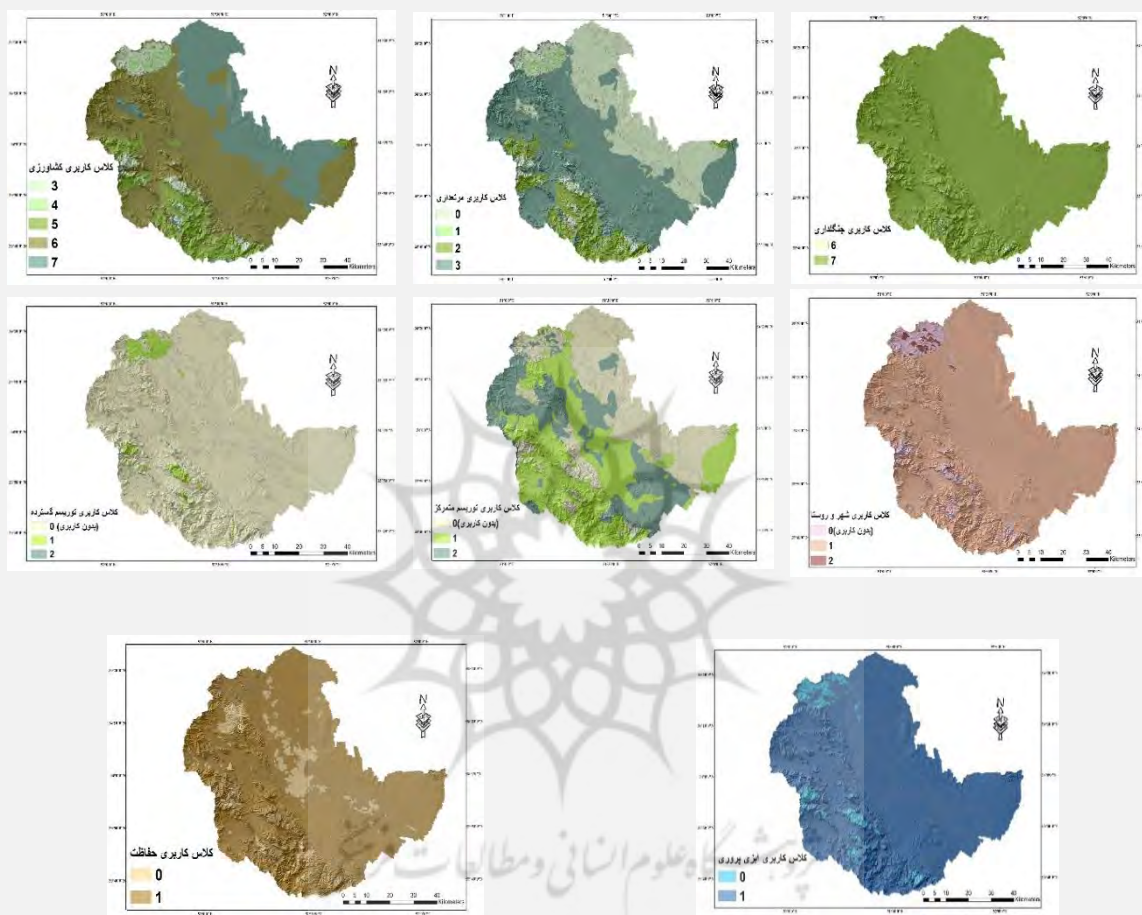
سال	۱۹۸۵	۲۰۰۰	۲۰۱۷
دقت کلی	۰٫۸۸	۰٫۹۱	۰٫۹۴
ضریب کاپا	۰٫۸۶	۰٫۸۹	۰٫۹

جدول ۸. کلاس‌های ارزیابی توان اکولوژیک (مخدوم، ۱۳۸۵)

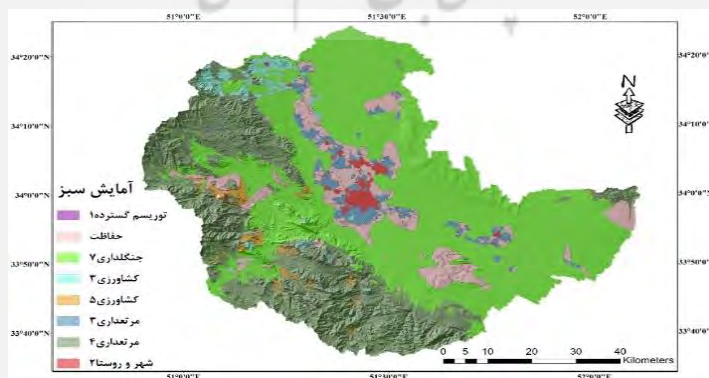
کاربری	کلاس	قابلیت	کاربری	کلاس	قابلیت
	۰	نامناسب		۰	نامناسب
مرتع‌داری	۱	مناسب	حفاظت	۱	مناسب
	۲	مناسب	آبزی پروری	۲	نامناسب
	۳	مناسب		۱	مناسب
کشاورزی	۳	کشت آبی، باغبانی با آبیاری و دام‌پروری	توریسم متمرکز	۱	مناسب
	۴	کشت دیم، باغبانی بدون آبیاری		۲	مناسب
	۵	علوفه‌کاری، دیم، و مرتع‌داری ۱		۱	مناسب
	۶	عدم تناسب برای کشاورزی		۲	مناسب
	۶	محدودیت شدید جنگل تجاری		۱	مناسب
جنگل‌داری	۶	محدودیت شدید جنگل تجاری	توسعه شهر و روستا	۱	مناسب
	۷	محدودیت شدید جنگل تجاری		۲	مناسب

**آمایش سرزمین سبز یا کم‌کربن**

برای اجرای آمایش سبز، ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین با استفاده از مدل سیستمیک مخدوم (۱۳۸۵) با روش کیفی قیاسی انجام شد. نقشه آمایش سبز با اولویت بر کاربری‌هایی که مصرف آب کمتر دارد با توجه به خشک‌سالی موجود و کم‌کربن‌تر است، به‌منظور کاهش اثر بر روند تغییر اقلیم برای حوضه دشت کاشان ایجاد شد (شکل ۹). جدول ۹ مساحت کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۸. نقشه‌های توان اکولوژیک حوضه دشت کاشان



شکل ۹. نقشه آمایش سبز (کم‌کربن) حوضه دشت کاشان

جدول ۹. مساحت کاربری‌ها در نقشه آمایش سرزمین سبز

کاربری زمین	مساحت (km <sup>2</sup> )	مساحت (درصد)
جنگل‌داری ۷	۱۶۵۰٫۹۲	۲۹٫۶
کشاورزی ۳	۵۱۷٫۵۹	۹٫۳۹
کشاورزی ۵	۸۶٫۷۵	۱٫۵۶
مرتعداری ۳	۱۲۸٫۸	۲٫۳۱
مرتعداری ۴	۲۹۴۸٫۳	۵۲٫۹
توریسم گسترده ۱	۱٫۰۴	۰٫۰۱۹
شهر و روستا ۲	۶۸٫۳	۱٫۲۶
حفاظت	۱۷۲٫۳	۳٫۰۹

با توجه به شکل ۹ و جدول ۹، مشاهده می‌شود که در نقشه به‌دست‌آمده با توجه به شرایط خشک منطقه و کم‌بودن منابع آب، کاربری‌های مرتعداری ۴ و جنگل‌داری ۷ در اولویت قرار داده شده است و کاربری توریسم گسترده ۱، که شامل ماهی‌گیری و گردش در طبیعت است، کمترین درصد مساحت را دربر می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر افزایش خشک‌سالی در حوضه آبخیز دشت کاشان انجام پذیرفته است. بررسی روند تغییرات بارش با مدل من-کندال در محدوده مورد مطالعه کاهش را در دهه‌های اخیر نشان می‌دهد. در بارش پیش‌بینی‌شده برای آینده به‌علت افزایش دی اکسید کربن افزایش بارش در فصل تابستان و بهار دیده می‌شود که با نتایج مطالعات سیاری و همکاران (۲۰۱۳) همخوانی دارد. نتایج پایش تصاویر ماهواره‌ای حاکی از افزایش شوره‌زار و اراضی بایر است. در نهایت، مشخص شد که تغییرات رو به کاهش در بارش و افزایش خشک‌سالی در دهه‌های اخیر دیده می‌شود. نتایج مطالعات آل بوعلی و همکاران (۱۳۹۵) در دشت کاشان حاکی از افزایش خشک‌سالی هواشناسی و خشک‌سالی منابع آب ناشی از تغییر اقلیم در دشت کاشان است. فخرآبادی و همکاران (۱۳۹۳) افزایش خشک‌سالی را در سال‌های اخیر در دشت کاشان تأیید می‌کنند.

مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌طور شدیدی در مقابل تغییر اقلیم آسیب‌پذیرند. روند تغییر کاربری در طی این دوره در حوضه دشت کاشان نشان می‌دهد که هم‌زمان با شروع مطالعه روند تغییر اقلیم (۱۹۸۵) سطح اراضی کشاورزی و مسکونی و صنعتی افزایش یافته است. کاربری‌های مذکور در کل بیشترین تأثیر را در میزان تبخیر و تعرق و کاهش منابع آب و افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای دارند. با تداوم روند تغییر اقلیم و منفی‌شدن شیب خشک‌سالی، سطح اراضی کشاورزی و مرتع کاهش و در مقابل سطح شوره‌زار افزایش یافته است که این وضعیت به‌دلیل کاهش راندمان اراضی کشاورزی به‌علت شوری خاک و خشک‌شدن چاه‌های آبیاری و رهاکردن این اراضی به‌خصوص در محدوده دریاچه نمک و زمین‌های شمال آران و بیدگل و ابوزیدآباد و نصرآباد است. کاهش سطح مرتع نیز حاصل فشارهای بخش کشاورزی و انسان‌ساخت است. این نتایج با نتیجه پژوهش‌های جهانی شکیب و همکاران (۱۳۹۳) و شی و چن (۲۰۱۸) همخوانی دارد. در چنین شرایطی باید به دنبال راه منطقی برای خروج از بحران و جلوگیری از افت محیط زیستی منطقه بود. راهبرد این تحقیق به‌منظور کاهش آثار محیط زیستی و کاهش خسارات خشک‌سالی در منطقه، قراردادن برنامه آمایش سبز، یا کم‌کربن در دستور کار برنامه‌ریزان است که اولویت با کاربری‌هایی است با مصرف آب کمتر با توجه به خشک‌سالی موجود و کاربری‌های کم‌کربن‌تر به‌منظور کاهش اثر بر روند تغییر اقلیم.



## منابع

- آل بوعلی، ع.؛ قضاوی، ر. و ساداتی‌نژاد، س.ج. (۱۳۹۵). بررسی اثرات خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه موردی: دشت کاشان)، مجله علمی - پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ص ۱۳-۲۲.
- امیری، م.ج؛ کرباسی، ع.ر.؛ ذوقی، م. و سادات، م. (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییرات اقلیمی با تحلیل آزمون گرافیکی کندال و شاخص‌های خشک‌سالی (مطالعه موردی: حاشیه تالاب آق گل همدان)، مجله محیط‌شناسی، ۴۱(۳): ۵۴۱-۵۶۵.
- بحری، م. و دستورانی، م. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژیک حوضه آبخیز اسکندری، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۲: ۳۷-۵۷.
- تیموری، ف.؛ بذرافشان، ام. و رفیعی ساردویی، ا. (۱۳۹۸). ارزیابی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کندران)، مجله اکوهیدرولوژی، ۶(۲): ۳۵۳-۳۶۸.
- جمالی‌پور، م.؛ شاهپوری، ا. و قربانی، م. (۱۳۹۳). عوامل مؤثر بر شکل‌گیری تغییر کاربری اراضی در استان مازندران (مطالعه موردی: شهرستان تنکابن)، دانشگاه فردوسی مشهد، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۹(۲): ۱۰۷-۱۱۵.
- جهانی شکیب، ف.؛ ملک‌محمدی، ب.؛ یآوری، ا.؛ شریفی، ی. و عادل، ف. (۱۳۹۳). ارزیابی روند تغییرات کاربری زمین و تغییر اقلیم در سیمای سرزمین تالاب چغاخور با تأکید بر آثار محیط زیستی، مجله محیط‌شناسی، ۴۰(۳): ۶۳۱-۶۴۳.
- دارابی، ح.؛ شاهی، ک.؛ سلیمانی، ک. و کلاو، ب. (۱۳۹۷). تغییرپذیری شاخص‌های حدی هیدرولوژیک در سناریوهای مختلف کاربری اراضی، نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۲(۴): ۸۱-۹۵.
- رجبی، م.؛ منصوریان، ع. و طالعی، م. (۱۳۹۰). مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP\_OWA، Fuzzy و AHP\_OWA برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز، محیط‌شناسی، ۳۷(۵۷): ۷۷-۹۲.
- رحیمی، د.؛ موحدی، س. و برقی، ح. (۱۳۸۸). بررسی شدت خشک‌سالی با شاخص نرمال بارش (SPI): مطالعه موردی استان سیستان و بلوچستان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۶ دوره ۲۰، شماره ۴ (پیاپی ۳۶): ۴۳-۵۶.
- رحیمی، م.؛ اوتق، م.؛ سلمان ماهینی، ع. و سعدالدین، ا. (۱۳۹۱). تدوین برنامه آمایش در راستای توسعه پایدار در حوضه آبخیز چهل‌چای، مجله پژوهش‌های محیط زیست، ۳(۶): ۲۷-۳۶.
- رضاپور اندبیلی، ن. و علی‌خواه اصل، م. (۱۳۹۶). ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه حفاظت‌شده آق‌داغ برای کاربری جنگل‌داری، فصل‌نامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، ۲۶(۱۰۲): ۲۰۵-۲۱۶.
- رضایی، م.؛ نهتانی، م.؛ آبکار، ع.؛ رضایی، م. و میرکازهی ریگی، م. (۱۳۹۳). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۵(۱۰): ۱۱۷-۱۳۱.
- شیدائیان، م.؛ ضیاتباب احمدی، م. و فضل‌اولی، ر. (۱۳۹۶). مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و SDSM در کوچک‌مقیاس‌سازی دما، دانشگاه شهید چمران اهواز، مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۲): ۵۹-۷۲.
- صداقت‌کردار، ع. و فتاحی، ا. (۱۳۸۷). شاخص‌های پیش‌آگاهی خشک‌سالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۶(۱۱): ۵۹-۷۶.

- طاهری، ف.؛ رهنما، م.ر.؛ خوارزمی، ا.ع. و خاکپور، ب. (۱۳۹۷). بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چندزمانه شهر شاندیز طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴، *جغرافیا و توسعه*، ۱۶(۵۰): ۱۲۷-۱۴۲.
- طایی سمیرمی، س.؛ مرادی، ح. و خداقلی، م. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور)، *فصل‌نامه انسان و محیط زیست*، ۲۸: ۱-۱۵.
- فخرآبادی، ا.؛ انتظاری، ع.ر. و بذرافشان، ام. (۱۳۹۳). بررسی وضعیت خشک‌سالی دشت کاشان شامل شهرستان‌های کاشان و آران بیدگل (نوش‌آباد) با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI)، *فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین*، ۱۱(۴۲): ۷۷-۸۶.
- فیضی‌زاده، ب. و حاجی میر رحیمی، س.م. (۱۳۸۷). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا (مطالعه موردی: شهرک اندیشه)، *نشریه نقشه‌برداری*، ۹۹: ۱-۶.
- قاسمی‌نژاد، س.؛ سلطانی، س. و سفینیان، ع. (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک خشک‌سالی استان اصفهان، *مجله علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۸(۶۸): ۲۱۳-۲۲۵.
- کازمی حسونند، م.؛ شهبازیگی روزبهانی، م. و شریفان، ح. (۱۳۹۲). بررسی پدیده خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از نمایه SPI در مناطق مرکزی ایران، *اولین همایش آبیاری و بهره‌موری آب*، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱-۶.
- کردوانی، پ. (۱۳۷۱). *منابع و مسائل آب ایران*، دانشگاه تهران.
- کتاب‌فروش بدری، آ.؛ محمدوند ناهیدی، م. و کتاب‌فروش بدری، ا. (۱۳۹۲). بررسی تأثیرات خشک‌سالی بر محیط زیست، دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم، همدان - شرکت هم‌اندیشان محیط زیست فردا، ۱-۱۶.
- کرم، ع. (۱۳۸۳). کاربرد مدل ترکیب خطی وزین (WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش، *مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری*، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۲(۴): ۱۳۱-۱۴۶.
- گل محمدی، م. و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰). بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی تحت تأثیر تغییر اقلیم، *نشریه آب و خاک*، ۲۵(۲): ۳۱۵-۳۲۶.
- محمدی، ش.؛ حبشی، خ. و پورمنافی، س. (۱۳۹۷). پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری / پوشش اراضی و ارتباط آن با خشک‌سالی (مطالعه موردی: زیرحوضه پارسل B<sub>2</sub>، حوضه آبخیز زاینده‌رود)، *مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۹(۱): ۲۴-۳۹.
- مخدوم، م. (۱۳۸۵). *سالوده آمایش سرزمین*، چ ۷، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- نظری سامانی، ع.؛ قربانی، م. و کوهبنانی، ح. (۱۳۸۹). ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه آبخیز طالقان در دوره ۱۳۸۰ تا ۱۳۶۶، *مجله علمی - پژوهشی مرتع*، ۴(۳): ۴۴۲-۴۵۱.
- ولی، ع.؛ موسوی، س.ح. و سادات احمدی، س.م. (۱۳۹۴). ارزیابی شدت بیابان‌زایی حوضه مسجد سلیمان با استفاده از IMDPA، *مجله علمی - پژوهشی اکوسیستم بیابان*، ۴(۹): ۴۳-۵۶.
- هوشیار، م.؛ حسینی، س.ا. و مسگری، ا. (۱۳۹۱). مدل‌سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی، *مجله اندیشه جغرافیایی*، ۶(۱۲): ۳۳-۵۰.
- شرکت باغبان سبز کویر کاشان (۱۳۹۸). *زراعت چوب درختان و درختچه‌های مقاوم به خشکی در کاشان*.

نیرومند، ح.ع. و بزرگ‌نیا، س.ا. (۱۳۹۰). مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی، ج ۳، دانشگاه فردوسی مشهد.

- Aghakouchak, A.; Cheng, L.; Mazdiasni, O. and Farahmand, O. (2014). Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes : insights from the 2014 California drought, *Geophysical Research Letters*, 41(24): 8847-8852. Doi:10.1002/2014gl062308.
- Aleboali, A.; Ghazavi, R. and Sadatinezhad, S.J. (2016). Study the effects of Drought on Groundwater Resources Using SPI Index (A Case Study: Kashan Plain), *Desert Ecosystem Engineering journal*, pp. 22-13.
- Amiri, M.J.; Karbasi, A.R.; Zoghi, M. and Sadat, M. (2015). Detection of Climate Change by mann-Kendall analysis and Drought Indexes (Case Study: Agh Gol Wetland), *Journal of Environmental Studies*, 41(3): 541-565.
- Ayars, J.E. (2013). Adapting irrigated agriculture to drought in the San Joaquin valley in California, Drought in aridandsemi arid regions, pp:25-39. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6636-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6636-5_2).
- Barber, J.; Saah, D.; Stephen, P. and Chi Pham, P. (2015). Guidance on Low Emission Land Use Planning, *United States Forest Service International Program*: 1-68.
- Bahri, M. and Dastoorani, M. (2017). Evaluation of the impact of Climate and Land Use Changes on Hydrological Responses of Eskandari Basin in the futre decade, *Geography and environmental hazards*, 22: 37-57.
- Biazin, B. and Sterk, G. (2012). Drought vulnerability drives land-use and land cover changes in the Rift Valley dry lands of Ethiopia, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 164: 100-113.
- Campbell, C.; Lilly, A.; Towers, W.; Chapman, Stephen, J; Werritty, A. and Hanley, N. (2012). Land use and a low-carbon society, *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 103: 165-173.
- Cuo, L.; Zhang, Y.; Gao, Y.; Hao, Zh. and Cairang, L. (2013). The impacts of climate change and land cover/use transition on the hydrology in the upper Yellow River Basin, China, *Journal of Hydrology*, 502: 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.003>
- Dale, V.H. (1997). The relationship between land-use change and climate change Ecological Applications, 7(3): 753-769. DOI: 10.2307/2269433.
- Darabi, H.; Shahedi, K.; Soleimani, K. and Klav, B. (2018). Hydrological indices variability based on land use change scenarios, *Iranian Journal of Watershed Management Sciences*, 12(4): 95-81.
- Delgado, M.I.; Gaspari, F.J. and Kruse, E.E. (2015). Land Use Changes and Sediment Yield on a Hilly Watershed in Central- East Argentina, *Soil & Water Res.*, 10(3): 189-197. Doi:10.17221/49/2014-S.
- Demuth, S.; Gustard, A.; Planos, E.; Scatena, F.; Servat, E.; Askew, A.; Prudhomme, C.; Hughes, D.; Tallaksen, L.; Menéndez Fernández Cuesto, L.; Bonell, M.; Daniell, T. and Grabs, W. (eds.) (2006). *FRIEND2006, Water Resource Variability: Processes, Analyses and Impacts*, IAHS Publ. Vol 308.
- Fakhrabadi, A. and Entezary, A. (2014). Assessment the drought situation in Kashan desert of Kashan Aran Bidgol (Nushabad) cities using Standardized Precipitation Index (SPI), *Geographical Land Journal*, 11(42): 77-86.
- Feizi Zadeh, B. and Hji Mir Rahimi, S.M. (2008). Detection of Land Use Change Using Objective Classification (Case Study: Andisheh Town), *Surveying Journal*, 99: 1-6.
- Foody, G.M. (2000). Mapping Land Cover from Remotely Sensed Data with a Softened Ghats (India), *Sensors*, 29(4): 433-449. <https://doi.org/10.1023/A:1008112125526>.



- Ghaseminejad, S.; Soltani, S. and Soffianian, A. (2014). Drought risk assessment in Isfahan province, Journal of science and technology of Agricultural and Natural Resources, *Water and Soil Science*, 18(68): 213-225.
- Golmohammadi, M. and Masah Bavani, A. (2011). The perusal climate change impact on drought intensity and duration in Qara-e-Souz basin in subsequent periods under the influence of climate change, *Journal of Water and Soil(Agriculture Sciences and Technology)*, 25(2): 315-326.
- Green Garden Company of Kashan Desert (2019). *Wood Agriculture of Drought-resistant Trees and Shrubs in Kashan*, 65 p.
- Hergoualc'h, K. and Verchot, L.V. (2014). Greenhouse gas emission factors for land use and land-use change in Southeast Asian peatlands, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(6): 789-807.
- Houghton, R.A; House, J.I; Pongratz, J.; Werf, G.R. Van der; DeFries, R.S.; Hansen, M.C; Quer, Le and Ramankutty, N. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change, *Biogeosciences*, 9: 5125-5142. doi:10.5194/bg-9-5125-2012
- Houshiar, M.; Hoseini, S.A. and Mesgari, E. (2012). Modeling the Minimum Temperatures of Urmia City Using Multiple Linear and Nonlinear Regression Models and Artificial Neural Networks, *Journal of Geographic Thought*, Sixth, Twelfth(82): 33-50
- Jahani Shakib, F.; MalekMohammadi, B.; Yavari, A.R.; Sharify, Y. and Adeli, F. (2014). Assessment of the trends of Land Use and Climate Changes in Choghakhor wetland Landscape Emphasizing on Environmental Impacts, *Journal of Environmental Studies*, 40(3): 631-643.
- JamaliPour, M.; Shahpouri, A. and Ghorbani, M. (2014). Factors Affecting the Formation of change in Land Use in Mazandaran Province (A Case Study of Tonekabon), Mashhad Ferdows University, *Journal of Agricultural Economics & Development*, 29(2): 115-107.
- Karam, A.A. (2004). Application of Weighted linear Combination (WLC) Model in zonation of Potential occurrence of landsliding(The. Case Study of Sarkhoun Area in Chahar-mahal & Bakhtiari ), *Geography and Development iranian Journal*, 2(4): 131-146.
- Kardavani, P. (1992). *Iranian Resources and Water Issues*, Tehran University.
- Kazemi Hasanvand, M.; Shahbazbeigi Rouzbahani, M. and Sharifan, M. (2013). Investigation of Drought and Sustainable Drought by Using SPI Indicator in Central Iran, *First Irrigation and Water Efficiency Conference, Irrigation and Drainage Association of Iran*, Ferdowsi University, Mashhad, pp.1-6.
- Ketabforush Badri, A.; Mohammadvand Nahidi, M. and Ketabforush Badri, E. (2013). Study of Drought Effects on the Environment, Second National Conference on Sustainable Agricultural Development and Environment, Hamedan - Farda Environmental Society, pp:1-16.
- Kwak, J.; Kim, S.; Singh, V.P.; Kim, H.S.; Kim, D.; Hong, S. and Lee, K. (2015). Impact climate change on hydrological droughts in the upper Namhan river basin, Korea, *KSCE journal of sivil engineering*, 19(2): 376-384. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0446-5>.
- Lee, S.H.; Yoo, S.H.; Choi, J.Y. and Bae, S. (2017). Assessment of the Impact of Climate Change on Drought Characteristics in the Hwanghae Plain North Korea Using Time Series SPI and SPEI: 1981–2100, *Journal of Water*, 8(8): 579, 1-19. <https://doi.org/10.3390/w9080579>.
- Legesse, D.; Vallet-Coulomb, Ch. and Gasse, F. (2003). Hydrological response of a catchment to climate and land use changes in Tropical Africa: case study South Central Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 275(1-2): 67-85. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00019-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00019-2).

- Li, Z.; Liu, W.Z.; Zhang, X.C. and Lizheng, F. (2009). Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China, *Journal of hydrology*, 377(1-2): 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.007>.
- Liu, B.; Yan, Z.; Sha, J. and Li, S. (2017). Drought evolution Due to climate change and links to precipitation intensity in the Haihe river basin, *Water*, 9(1): 1-19. Doi:10.3390/w9110878.
- Loukas, A.; Vasilades, L. and Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity, *Advances in Geosciences*, 17: 23-29. <https://doi.org/10.5194/adgeo-17-23-2008>.
- Lubowski, Ruben N.; Plantinga, Andrew J. and Stavins, Robert N. (2006). Land use change and carbon sinks: Econometric estimation of the carbon sequestration supply function, *Journal of environmental economics and management*, 51: 135-152
- Makhdom, M. (2006). *The foundation of the land*, Publication of the University of Tehran, seventh edition.
- Mango, L.M.; Melesse, A.M.; McClain, M.E.; Gann, D. and Setegn, S.G. (2011). Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: results of a modeling study to support better resource management, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2245-2258. Doi:10.5194/hess-15-2245-2011.
- Mas, J.F.; Velazquez, A.; Diaz-Gallegos, JR.; Mayorga Saucedo, R.; Alcantara, C.; Bocco, G.; Castro, R.; Fernandez, T. and Perez Vega, A. (2004). Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(4): 249-261. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.002>.
- McKee, T.B.; Doesken N.J. and Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales Preprints, *9th Conference on Applied Climatology*, 15-20 January, Dallas, TX, 233-236.
- Mohammadi, Sh.; Habashi, Kh. And Pormanafi, S. (2018). Monitoring and prediction of land use / land cover changes and its relation to drought (Case study: sub basin Pars B2, Zayandeh Rood watershed), *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(1): 24-39.
- Nidumolu, U.B.; Bie, C.; Keulen, H.V.; Skidmore, A.K. and Harmsen, K. (2006). Review of a land use planning programme through the soft systems methodology. *Land Use Policy*, 23(2):187-203. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2004.08.003>.
- Niromand, H.A. and Bozorgia, S.A. (2011). *Introduction to Time Series Analysis*, Third Edition, Ferdowsi University of Mashhad, 290 p.
- Nzari Samani, A.; Ghorbani, M. and Kouhbanani, H. (2010). Evaluation of land use change trend in Taleghan watershed during the period from 2001 to 1366, *Scientific Journal of Rangeland*, 4(3): 442-451.
- Pertsova, C.C. (2007). *Ecological economics research trends*, Nova Science Publishers, Inc, New York, 1-237.
- Peters, Glen P. (2010). Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales, *Current Opinion in Environmental Sustainability journal*, 2(4): 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2010.05.004>.
- Rahimi, M.; Onagh, M.; SalmanMahini, A.R. and Saadaldin, A. (2012). Land use planning for sustainable development in Chehl-Chai watershed of Golestan province, *Journal of Environmental Researches*, 3(6): 36-27.
- Rahimi, D.; Movahedi, S. and Barghi, H. (2009). Drought severity analysis with Normal Precipitation Index (SPI): A Case Study of Sistan & Baluchestan Province), *Journal of Geography and Environmental Planning*, 20(4) (Successive 36): 43-56.

- Rajabi, M.; Mansoorian, A. and Taleie, M. (2011). Comparison of AHP, AHP\_OWA and Fuzzy AHP\_OWA Multi-Criteria Decision Making Methods for Locating Residential Complexes in Journal of Environmental Studies, Thirty-seventh Year( 57): 77-92. Tabriz.
- Rezaie, M.; Nohtani, M.; Abkar, A.; Rezaie, M. and Mirkazehi Rigi, M. (2014). Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in forecasting temperature indexes in two Arid and Hyper regions (Case study: Kerman and Bam), *Journal of watershed Management Research*, 5(10): Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, pp. 131-117.
- Rezapour Andalibi, N. and Alikhah Asl, M. (2017). Evaluation of ecological capability of Aq Dagh protected area for forestry use, *Journal of Geosciences Research*, 26(102): 205-216.
- Roger, A. and Pielke, Sr. (2005). Land use and Climate change, *Science*, 310(5754): 1625-1626. DOI: 10.1126/science.1120529.
- Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (1991). *Prediction, Projection and Forecasting*, Kluwer Academic Publisher.
- Sasek Divjak, M. (2009). Strategic Land Use Planning for Low Carbon Cities in Ljubljana Urban Region, Strategic Land Use Planning – LUR, *45th ISOCARP Congress*, 1-11.
- Sayary, N.; Bannayan, M.; Alizadeh, A. and Farid, A. (2013). Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin), *Journal of Meteorological Applications*, 20:115-127.
- Sedaghat Kerdar, A. and Fatahi, E. (2008). Drought early methods over Iran, *Geography and Development Iranian Journal*, University of Sistan and Balouchestan, Vol6, Issue 11, Pages 76-59.
- Sheidaei, M.; Ziatabar Ahmadi, M.kh. and Fazl Ola, R. (2017). Comparison of Artificial Neural Network (ANN) and SDSM Model to Downscaling of Temperature, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, Shahid Chamran University of Ahwaz, 40(2): 59-73.
- Shi, H. and Chen, Ji. (2018). Characteristics of climate change and its relationship with land use/cover change in Yunnan Province, China, *International journal of climatology*, 38(5): 2520-2537. <https://doi.org/10.1002/joc.5404>.
- Taei Semiromi, S.; Moradi, H.R. and Khodaghali, M. (2014). Simulation and prediction some climate variable by using multi line SDSM and global circulation models (case study: Bar watershed Neishabour), *Human and Environment Quarterly*, 28: 1-15.
- Taheri, F.; Rahnama, M.R.; Kharazmi, A.A. and Khakpour, B. (2018). The analysis and prediction of land use changes using multi-temporal satellite data in Shandiz city (Between 2000-2015), *Journals Geography and Development*, 16(50): 127-142.
- Teimouri, F.; Bazrafshan, O.B. and Rafiei Sardoei, E. (2019). Assessment of climate change and Land Use Change on Soil Erosion (Case Study: Kondaran Watershed), *Iranian Journal of Ecohydrology*, 6(2): 353-368.
- Tubiello, F.N.; Salvatore, M.; Condor Golec, R.D.; Ferrara, A.; Ross, S.; Biancalani, R.; Federici, S.; Jacobs, H. and Flammini, A. (2014). Agriculture, Forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks, FAO, 1-66.
- Vali, A.A.; Mousavi, S.H. and Sadat Ahmadi, S.M. (2015). Assessment of Desertification intensity in Masjed Soleyman Basin Using IMDPA model, *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(9): 43-56.
- Watson, R.T.; Noble, I.R.; Bolin, B.; Ravindranath, N.H.; Verardo, D.J. and Dokken, D.J. (2000). Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, World Bank, Washington, DC 20433, USA: 388 pp.

Wheeler, S. and Shaw, J. (1994) *Contract Law: Cases, Materials, and Commentary*, Oxford, Oxford University Press.

Wilby R.L. and Dawson, C.W. (2007). *Hadnbook of SDSM4.2-User Manual*, Department of Geography.Lancaster Univ, Press, UK, 94.

