

# واکاوی تغییرات بیابان‌زایی با تأکید بر اقلیم بارش در استان قم

امیرحسین حلبیان\*: دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
 زهره جمشیدیان: دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کاربردی، دانشگاه پیام نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

## چکیده

بیابان‌زایی پس از دو چالش تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین سومین چالش مهم جهانی در قرن بیست و یکم به شمار می‌رود. این پدیده حاصل فرایندهایی است که دو عامل تغییرات اقلیمی و رفتار زیست‌محیطی انسان در زمره‌ی مهم‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود. بنابراین، شناخت و ارزیابی روند بیابان‌زایی در مدیریت بهینه‌ی منطقه‌ای ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بر این اساس، هدف از این پژوهش ارزیابی تغییرات بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنجنده‌های ۵ TM و ۸ LDCM در دوره‌ی آماری (۱۹۸۴-۲۰۱۳) و با تأکید بر فراسنج اقلیمی بارش است. شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش را نیز شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص شوری خاک (s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>) تشکیل می‌دهند. کاربرهای اراضی نیز بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP شناسایی و تغییرات کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی (۱۹۸۴-۲۰۱۳) بر اساس مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی (MLP) در محیط نرم‌افزار TERRSET ارزیابی گردید. برای بررسی تأثیر بارش بر بیابان‌زایی از داده‌های پایگاه بارش جهانی (GPCP) استفاده و با آزمون من‌کنندال به واکاوی مکانی و زمانی بارش و تحلیل روند سالانه‌ی این نهاده‌ی مهم اقلیمی مبادرت ورزیده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که اراضی شور و بیابانی نسبت به سال نخست مطالعه ۱۵٪ افزایش و پوشش گیاهی ۵٪ کاهش داشته است. بیشینه افزایش اراضی شور در بخش غربی استان قم مشاهده می‌شود که جایگزین پوشش گیاهی شده است. میزان افزایش اراضی شور و بیابانی در دوره‌ی مورد مطالعه حدود ۱۷۵۱ کیلومتر مربع است. بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز آشکار ساخت که اراضی شور و شهری رو به افزایش و پوشش گیاهی، دریاچه‌ی حوض سلطان، دریاچه‌ی نمک و سایر (اراضی بایر) رو به کاهش است. تحلیل روند مکانی و زمانی بارش سالانه نیز حکایت از روند کاهشی در سطح اطمینان ۹۵٪ دارد. نتایج پژوهش حاضر بستری مناسب را برای شناخت و مقابله‌ی شایسته با پدیده‌ی بیابان‌زایی در منطقه‌ی مورد مطالعه ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، Fuzzy ARTMAP، سنجش از دور، پرسپترون چند لایه (MLP)، بارش، قم

## Analysis of desertification changes with emphasis on precipitation in Qom province

Amir Hosein Halbiaan<sup>1\*</sup>, Zohreh Jamshidian<sup>2</sup>

### Abstract

Desertification after climate changes and deficiency of fresh water is the third important global challenge during the 21st century. This phenomenon is the consequence of a series of processes in which climate change and human activities are more important factors than others. Therefore, recognition and assessment of the desertification trend are very important issues for better region management. Hence, the aim of this study is the assessment of desertification changes in Qom province using Landsat satellite images, TM5 and LDCM8 sensors in (1984-2013) with emphasis on the precipitation. Indicators used in this study are Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil Salinity Index (s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub>, s<sub>3</sub>). According to Fuzzy ARTMAP method, the land use during the period of (1984-2013) recognized and the land use changes were evaluated based on the Multilayer Perceptron Neural Network (MLP) Model in software TERRSET. To study the effect of precipitation on desertification, the monthly data of GPCP have been used and the spatial-temporal trend of annual precipitation was evaluated using the Mann-Kendall nonparametric test at 0.95 level of significance. The results showed that the salinity and the desert lands have been increased relative to the first year of study period from 3% to 18% and about 15% growth. The vegetation has arrived from 7% to 2% that about was reduced 5%. The greatest increase of saline land is seen in the western part of Qom, which replaces the vegetation. The increasing amount in saline and desert lands is about 1751 km<sup>2</sup>. Study of land use changes illustrated that saline lands and city are growing whereas vegetation, Sultan-Houz Lake, Salt Lake, and arid lands are reducing. The analysis of precipitation spatial-temporal trend revealed a decreasing trend on annual time series at the 0.95 level of significance. Obtained results provide a basis for better recognition and proper combating desertification in the studied region.

**Keywords:** Desertification, Fuzzy ARTMAP, Remote Sensing, Multilayer Perceptron (MLP), Precipitation, Qom.

1 Associate professor, Geography Department, Payame Noor University, Tehran, Iran

2 M.A student, Applied climatology, Payame Noor University

استفاده از روش اصلاح شده‌ی ESAs<sup>۱۴</sup> مورد بررسی قرار دادند. آنان بخش شمالی سنت لوئیس را با حساسیت بحرانی به بیابان‌زایی مشخص و در نهایت نقشه‌ی بیابان‌زایی توسعه یافته را ابزاری ارزشمند برای ترویج مدیریتی کارآمدتر از مناطق آسیب دیده و جهت‌یابی مؤثر برای سیاست‌های پیش‌گیری از بیابان‌زایی قلمداد کردند [۵]. اکبری و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM سال ۱۹۹۰ و ETM<sup>+</sup> ۲۰۰۱<sup>۱۵</sup> به ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه‌ی خشک شمال اصفهان پرداختند. یافته‌ها نشان داد که بیشترین تغییرات به ترتیب مربوط به تبدیل اراضی مرتعی و کشاورزی به اراضی تخریب شده، تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی و توسعه‌ی اراضی شهری است [۶]. ربیعی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی تغییرات و تحولات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان در سال‌های ۱۹۹۰ و ۱۹۹۸ با استفاده از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست پرداختند. نتایج حاصله نشان‌دهنده‌ی تغییر وسیع کاربری اراضی کشاورزی مجاور شهر اصفهان به منطقه‌ی مسکونی در طول هشت سال است [۷]. فتاحی (۱۳۸۸) روند بیابان‌زایی در استان قم را با تأکید بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب بررسی کرد. نتایج نشان داد که فعالیت‌های انسانی و دستکاری او در طبیعت دو عامل اصلی افت کمی و کیفی منابع آب در استان قم بوده که می‌تواند تشدید بیابان‌زایی را به دنبال داشته باشد [۸]. احدنژاد و حسینی (۱۳۹۰) تغییرات و پراکنش افقی شهرها را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه و GIS در شهر تبریز ارزیابی و پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که روند توسعه‌ی شهر تمایل به گسترش کالبدی فضایی در امتداد شرقی-غربی یعنی زمین‌های مرغوب کشاورزی دارد [۹]. زائرئ امیرانی و سفیانیان (۱۳۹۱) با استفاده از روش فازی آرت مپ، شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و تصویر سنجنده LISS-III در سال ۱۳۸۷ به تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش اراضی اصفهان پرداختند و در نهایت نقشه‌ی پوشش اراضی منطقه را به ۵ طبقه (آب، مناطق مسکونی، اراضی بایر، پوشش گیاهی، جاده) تقسیم کردند [۱۰]. غلامعلی فرد و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران را با استفاده از مدل LCM<sup>۱۶</sup> و تصاویر ماهواره لندست مدل‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی نیروی انتقال با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در اکثر زیرمدل‌ها صحت بالایی را نشان داد. مدل‌سازی برای سال ۱۳۹۵ نیز نشان داد که مساحت کاربری جنگل و اراضی باز در این سال نسبت به ۱۳۹۰ کاهش و کاربری کشاورزی و مسکونی افزایش خواهند یافت [۱۱]. ضیائیان فیروز آبادی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود با استفاده از داده‌های اقلیمی و همچنین تصاویر MSS و TM و ETM<sup>+</sup> ماهواره‌ی لندست روند تغییرات اقلیمی و تغییرات اراضی میقان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی (کاهش بارش و افزایش دما) در افزایش مساحت اراضی کویری تأثیر مثبت داشته است [۱۲]. موسوی و همکاران (۱۳۹۲) وضعیت بیابان‌زایی کویر حاج علیقلی را با تکنیک سنجنش از دور در طی دوره‌ی ۱۹۸۷-۲۰۰۶ پایش کردند. نتایج این پژوهش حاکی از تغییرات گسترده در ویژگی‌های اکولوژی مورفولوژی پهنه‌ی مطالعاتی است؛ به گونه‌ای که ۷۴۸

بیابان‌زایی یکی دیگر از پدیده‌های مخربی است که هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا قابل مشاهده است. پایش این پدیده خود ناشی از فعالیت‌های مخرب بشری و همچنین ناهنجاری‌های اقلیمی است و یاری‌رسان خوبی برای ارزیابی آثار تغییرات اقلیمی بر روی پوشش‌های گیاهی است. شناسایی این پدیده و همچنین تعیین شدت و ضعف آن در مناطق مختلف از جمله اقداماتی است که با توجه به رویکردهای نوین و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های مختلف سنجنش از دور میسر می‌شود. بیابان‌زایی کاهش توان اکولوژیکی و بیولوژیکی زمین است که ممکن است به صورت طبیعی یا غیرطبیعی اتفاق بیفتد و عوارض منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای آن تمام جنبه‌های زندگی انسان را متأثر می‌سازد. تشخیص به هنگام تغییرات ویژگی‌های عوارض سطح زمین، پایه و اساس برای درک بهتر روابط بین پدیده‌های انسانی و چند زمانه برای تجزیه و تحلیل کمی اثرهای موقتی یک پدیده است. تکنولوژی سنجنش از دور به دلیل تولید تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالا به منزله‌ی وسیله‌ای برای آشکارسازی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی شناخته شده است. در این زمینه، قوسی<sup>۱۷</sup> (۱۹۹۳) با تصاویر TM لندست و MSS<sup>۱۸</sup> همراه با داده‌های آماری هواشناسی در زمینه‌ی عوامل محیطی مؤثر بر بیابان‌زایی مطالعاتی انجام داد. نتایج حاصله آشکارسازی درجات متفاوتی از بیابان‌زایی در ایالت راجاستین هند را نشان داد [۱]. کارلسون<sup>۱۹</sup> و همکاران (۱۹۹۳) در منطقه‌ی کاستاریکا با استفاده از داده‌های رقومی سنجنده TM سال‌های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۹ و اطلاعات ماهواره‌ای AVHRR<sup>۲۰</sup> اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی کردند و تغییرات کاربری اراضی و اثرات توسعه‌ی شهری روی اقلیم سطح را در طول ۸ سال به دست آوردند. آنان دریافتند توسعه‌ی شهری باعث افزایش درجه حرارت سطح و کاهش پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق می‌شود [۲]. سوگوماران<sup>۲۱</sup> (۲۰۰۱) با استفاده از سنجنده LISS-III<sup>۲۲</sup> ماهواره IRS-IC به مقایسه‌ی روش‌های طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی پوشش اراضی منطقه‌ی جنگلی پرداخت. یافته‌ها نشان داد که روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی توانایی جداسازی جنگل دست کاشت و آب را داشت ولی تفاوت چشمگیری در طبقه‌بندی جنگل طبیعی همگن ایجاد نکرد [۳]. ژیا و آنتونی<sup>۲۳</sup> (۲۰۰۴) با توجه به تحقیقاتی که در مورد بیابان‌زایی و تغییرات کاربری زمین در طول دو دوره‌ی زمانی متفاوت انجام دادند، مشخص کردند که چگونه فعالیت‌های مدیریتی کاربری زمین می‌تواند بر روی تغییر واحدهای شکل زمین تأثیر بگذارد. آنان وضعیت آب و هوایی گرم و خشک منطقه را دلیل تخریب زمین و دیگر مشکلات محیطی مطرح کردند. این پژوهش نشان داد که پوشش سطح زمین و خاک که به وسیله‌ی فعالیت‌های غیرمنطقی اقتصادی تخریب شده منجر به از بین رفتن علفزارها و مناطق کشاورزی گردیده است [۴]. توپا<sup>۲۴</sup> و همکاران (۲۰۱۳) حساسیت به بیابان‌زایی دو منطقه‌ی نیمه‌شهری جنوب صحرائی اوآ گادوگو (بورکینافاسو) و سنت لوئیس (سنگال) را با

### تصحیح هندسی تصاویر

از نظر رادیومتریک تصاویری که از سازمان زمین‌شناسی آمریکا اخذ می‌شوند در سطح ۱ اصلاح شده هستند. از آنجایی که این تصاویر دارای مقادیر DN بین ۰ تا ۲۵۵ هستند، بنابراین برای پردازش، مقادیر عددی این تصاویر به تابش تبدیل گردید. این تصحیح هندسی از روش تصویر به تصویر و با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی انجام می‌شود. پس از انتخاب چند نقطه و با استفاده از معادله‌ی چند جمله‌ای خطی و روش نمونه‌گیری از نوع نزدیک‌ترین همسایه ارزش‌ها و DN پیکسل‌ها از تصویر ایجاد شده منتقل و تصحیح هندسی انجام می‌گیرد. برای محاسبه‌ی تابش طیفی تصاویر لندست TM و OLI از رابطه‌ی زیر استفاده شده است.

رابطه‌ی ۱:

$$L_{\lambda} = \frac{(LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda})}{QCALMAX - QCALMIN} \times (DN - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

در این رابطه  $L_{\lambda}$  بیانگر تابش طیفی در روزنه سنسور و LMIN حداقل تابش طیفی و LMAX بیانگر حداکثر تابش طیفی برای هر باند است. QCALMAX بیانگر حداکثر مقدار هر یاخته واسنجی شده در واحد DN و QCALMIN بیانگر حداقل مقدار هر یاخته واسنجی شده در واحد DN است. DN مقدار عددی هر یاخته است و بیانگر  $\lambda$  طول موج است. این مقادیر به همراه هر تصویر ماهواره‌ای موجود است [۱۷].

### شاخص گیاهی NDVI

برای شناسایی پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه از شاخص پوشش گیاهی استفاده گردید.

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

رابطه‌ی ۲:

در این رابطه NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴) و RED باند قرمز (باند ۳) که دامنه‌ی آن از -۱ تا +۱ است. اگر پوشش گیاهی پرتراکم باشد، این شاخص به +۱ نزدیک می‌شود و در حالت تخریب پوشش گیاهی آن کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۱: تصاویر آماری استفاده شده در منطقه‌ی مطالعاتی

سنجنده	شماره گذر و تصویر	سال	روز
TM ۵	۱۶۴۰۳۶	۱۹۸۷	۱۸۸
	۱۶۵۰۳۶	۱۹۸۷	۱۷۹
TM ۵	۱۶۴۰۳۶	۱۹۹۳	۱۸۸
	۱۶۵۰۳۶	۱۹۹۳	۱۷۹
TM ۵	۱۶۴۰۳۶	۲۰۰۰	۲۰۸
	۱۶۵۰۳۶	۲۰۰۰	۲۱۵
TM ۵	۱۶۴۰۳۶	۲۰۱۰	۱۵۵
OLI- TIRS	۱۶۴۰۳۵	۲۰۱۰	۱۷۸
	۱۶۴۰۳۶	۲۰۱۳	۱۹۵
	۱۶۵۰۳۶	۲۰۱۳	۲۰۲

کیلومتر مربع از مساحت منطقه‌ی تحت تأثیر تغییر کاربری و کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک قرار گرفته است [۱۳]. سیلاخوری و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی با عنوان ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه‌ی سبزوار با استفاده از مدل (MICD<sup>۷</sup>) به این نتیجه رسیدند که در کاربری مرتعی شاخص‌های تداوم وزش باد بیش از ۶ متر بر ثانیه به منزله‌ی سرعت آستانه و تراکم پوشش گیاهی مؤثر در خاک؛ در اراضی بدون کاربری، تداوم وزش باد بیش از سرعت آستانه و انباشت خاک و در کاربری کشاورزی، مدیریت بقایی گیاهی و وضعیت باد شکن‌ها در اطراف مزارع شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی بودند [۱۴]. از آنجایی که بخش گسترده‌ای از ایران را مناطق خشک و نیمه خشک فرا گرفته و منطقه‌ی قم نیز نمونه‌ی بارزی از این مناطق بیابانی به‌شمار می‌رود، این پژوهش می‌کوشد تا به ارزیابی تغییرات بیابان‌زایی با تأکید بر بارش در استان قم در دوره‌ی آماری (۱۹۸۴-۲۰۱۳) با استفاده از فناوری سنجش از دور و تکنیک‌های نوین Fuzzy ARTMAP و MLP به کمک پایگاه داده‌ی بارش جهانی (GPCC) بپردازد.

### موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

استان قم با ۱۱۵۲۵ کیلومتر وسعت ۶٪ درصد از مساحت ایران را در بر می‌گیرد که از لحاظ موقعیت جغرافیایی تقریباً در مرکز ایران واقع شده است. این استان که در طول جغرافیایی ۵۰۰۳' تا ۵۲۰۰۰' درجه‌ی شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۴۰۰۶' تا ۳۵۰۱۳' درجه‌ی شمالی واقع شده و به طور متوسط ۹۳۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد، در یک منطقه‌ی خشک و نیمه خشک قرار گرفته و دارای آب و هوای گرم و خشک است.

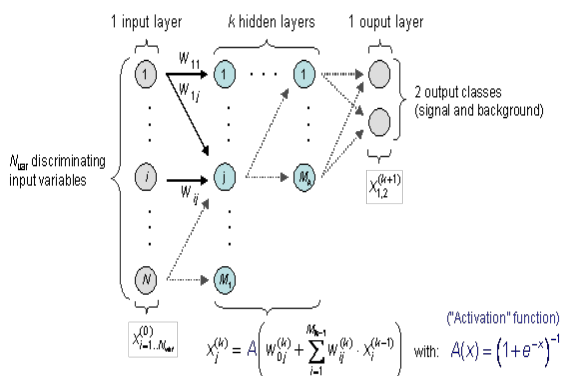


تصویر ۱: محدوده‌ی مورد مطالعه (استان قم)

### روش تحقیق و ابزارها

در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای سایت علوم و زمین ایالات متحده‌ی آمریکا [۱۵] و از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های TM5 و سنجنده LDCM8 ماهواره‌ی لندست [۱۶] در بازه‌ی زمانی (۱۹۸۴-۲۰۱۳) استفاده شده است. مشخصات تصاویر استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ آمده است.

ساخته می‌شوند. لایه‌ی خروجی و زمینه‌ی هر یک دارای  $m$  نرون هستند. بین این دو لایه ارتباط یک به یکی برقرار است. شاخص احتیاط یکی از عوامل مهمی است که میزان محکمی یک دسته را کنترل می‌کند. مقادیر کم شاخص احتیاط اجازه می‌دهد الگوهای بیشتری با نرون‌های مشابه در لایه‌ی  $F_2$  ارتباط داشته باشند، در نتیجه دسته‌بندی سستی صورت می‌گیرد. در حالی که مقادیر بالای شاخص احتیاط موجب می‌شود سیستم شبکه، نمونه‌ی آموزشی را به اجرا در آورد. در ادامه، پس از شناسایی کاربری‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت شده به روش Fuzzy ARTMAP، تغییرات مناطقی که تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند مدل‌سازی گردید. برای ارزیابی تغییرات نیاز است که هر یک از انتقال‌ها (تغییرات) به صورت تجربی مدله شود. در روش برای این کار وجود دارد: وایازی لجستیک و شبکه‌ی عصبی پرسپترون‌های چند لایه MLP (از بین ۱۲ مدل). در صورت استفاده از سوابق، هر یک از این انتقال‌ها باید به صورت مجزا مدله شود. هرچند اگر مدل MLP استفاده شود، یک مزیت وجود دارد که می‌تواند چند انتقال یا حتی تمامی انتقال‌ها را مدله کرد. این مورد در صورتی معقول و منطقی است که نیروهای اصلی در این انتقال‌ها مشابه باشند و این که یک گروه عام از متغیرهای تبیینی بتوانند تمامی انتقال‌ها را که در یک زیرمدل مجتمع شده‌اند به اندازه‌ی کافی مدله کنند. در این پژوهش نیز از مدل MLP استفاده گردید. اگر بخواهید چند انتقال را در یک زیرمدل گروه کنید، نیاز است که یک اسم عام داشته باشند. مدل نهایی می‌تواند شامل یک دامنه باشد، یک زیرمدل که تمامی انتقال‌ها را تشریح کند یا برای هر انتقال یک زیرمدل باشد [۲۰]. یکی از مزیت‌های بارز این گونه مدل‌ها نسبت به مدل‌های دیگر غیرخطی این است که شبکه‌های مصنوعی، یک تقریب زنده‌ی جهانی هستند. که می‌توانند هر نوع تابعی را با دقت دلخواه تقریب بزنند. این‌گونه از شبکه‌ها نیاز به هیچ‌گونه پیش فرضی در مورد شکل مدل دریافتی ندارند و به طور کلی مدل مبتنی بر داده هستند. MLP شبکه‌هایی پیشرو با یک لایه‌ی مخفی و یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی هستند [۲۱]. این گونه مدل‌ها از سه لایه پردازش ساده‌ی اطلاعات متصل به هم تشکیل شده‌اند (تصویر ۳).



تصویر ۳: ساختار کلی یک پرسپترون چندلایه

### شاخص شوری

از آنجایی که با ارزیابی شاخص شوری خاک در بازه‌های زمانی مختلف می‌توان به روند بیابان‌زایی در یک گستره‌ی جغرافیایی پی برد، در این پژوهش سه شاخص شوری خاک ( $S_3, S_2, S_1$ ) استفاده گردید [۱۸].

$$S1 = \sqrt{b2 \times b3}$$

رابطه‌ی ۳:

$$S2 = \sqrt{b2^2 + b3^2 + b4^2}$$

رابطه‌ی ۴:

$$S3 = \sqrt{b2^2 + b3^2}$$

رابطه‌ی ۵:

که در این رابطه‌ها ( $S_3, S_2, S_1$ ) از مقادیر عددی اطلاعات باندهای (۱، ۲، ۳) است که با استفاده از نرم‌افزار GIS محاسبه می‌گردد. پس از مشخص شدن مناطق تحت سلطه‌ی فرایند بیابان‌زایی از روش طبقه‌بندی نظارت شده برای جداسازی کلاس‌ها استفاده گردید و برای روش طبقه‌بندی از الگوریتم بیشترین شباهت استفاده شد.

### روش Fuzzy ARTMAP و شبکه‌ی عصبی مصنوعی (MLP)

در این پژوهش برای تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری‌های منطقه به روش طبقه‌بندی نظارت شده از روش Fuzzy ARTMAP بهره گرفته شد. روش فازی آرت مپ یکی از انواع طبقه‌بندی‌های سنجش از دور است، که بر اساس تجزیه و تحلیل شبکه‌ی عصبی مصنوعی با استفاده از تئوری تشدید تطبیقی استوار است. طبقه‌بندی نظارت‌شده‌ی فازی آرت مپ شامل چهار لایه به ترتیب زیر است:

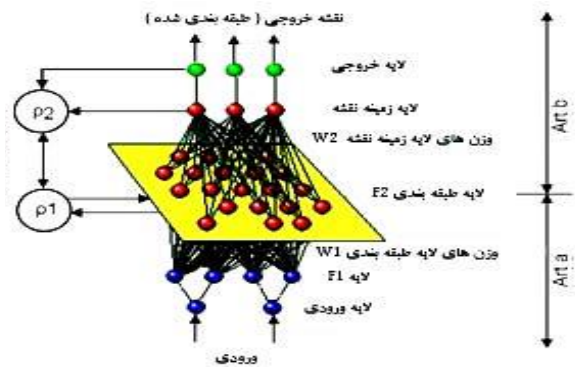
لایه‌ی ( $F_1$ )، ( $F_2$ )، لایه‌ی زمینه‌ی نقشه و لایه‌ی خروجی (تصویر ۲) [۱۹].

لایه‌ی ورودی تصاویر وارد شده را نشان می‌دهد، بنابراین برای اندازه‌گیری هر معیار نرون‌هایی وجود دارد. لایه‌ی ورودی برای بی‌نهایت معیار است.

رابطه‌ی ۶:

$$I = (a, a^c) = (a_1, a_2, \dots, a_n, 1 - a_1, 1 - a_2, \dots, 1 - a_n)$$

در این روش تعداد نرون‌های لایه‌ی  $F_2$  به صورت خودکار تعیین می‌شود. دو لایه‌ی زمینه‌ی نقشه و لایه‌ی خروجی با مدل ARTB



تصویر ۲: ساختار فازی آرت مپ

آزمون شد. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن و تعیین روند در سری های زمانی استفاده می شود. مراحل محاسبه ی آماره ی این آزمون به شرح زیر است:

۱. محاسبه ی اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع علامت ۱ و استخراج پارامتر S به شرح رابطه ی ۱۰:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k)$$

که n تعداد جملات سری  $X_k$  و  $X_j$  به ترتیب داده های زام و k ام سری هستند. تابع علامت نیز به شرح رابطه ی ۱۱ قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

۲. محاسبه ی پراش با یکی از رابطه های ۱۲ و ۱۳:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

اگر که n تعداد داده ها و m معرف تعداد سری هایی است که در آن ها حداقل یک داده ی تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده های با ارزش یکسان است.

۳. استخراج آماره ی Z به کمک رابطه ی ۱۴:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

در یک آزمون دو دامنه برای روندیابی سری داده ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می شود که رابطه ی ۱۵ برقرار باشد.

$$|Z| \leq Z \alpha / 2$$

که  $\alpha$  سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود و  $Z \alpha$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی دار  $\alpha$  است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون،  $\alpha / 2$  از استفاده شده است. در بررسی حاضر این آزمون برای سطح اعتماد ۹۵٪ به کار گرفته شد. در صورتی که آماره ی Z مثبت باشد، روند سری داده ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می شود [۲۲].

### بحث و نتایج

بررسی شاخص پوشش گیاهی در منطقه ی مطالعاتی عمدتاً نشان از استقرار پراکنده ی پوشش گیاهی در پهنه های غربی، شمال غربی و مرکزی دارد (نقشه های ۴ تا ۸). نتایج بررسی شاخص پوشش گیاهی نشان می دهد که بیشترین میزان تغییر پوشش گیاهی در قلمرو مطالعاتی در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال

در این مدل به جز گره های ورودی، هر گره با یک تابع کنشوری غیرخطی یک نرون (عنصر پردازشی) محسوب می شود. MLP در واقع اصلاح شده ی مدل پرسپترون خطی استاندارد است و می تواند داده هایی که به صورت خطی قابل تفکیک نیستند را متمایز کرد. در این گونه از شبکه ها رابطه ی بین خروجی  $(y_t)$  و ورودی ها  $(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p})$  به صورت زیر است:

$$y_t = b_0 + \sum_{j=1}^Q w_{j0} \cdot g(b_{0j} + \sum_{i=1}^p w_{ij} \cdot y_{t-i}) + \varepsilon_t$$

به طوری که  $w_{ij}$  پارامترهای مدل هستند که غالباً وزن های اتصالی نامیده می شوند. P تعداد گره های ورودی و Q تعداد گره های مخفی اند. تابع سیگنوییدی اغلب به منزله ی تابع کنشوری لایه ی مخفی مورد استفاده قرار می گیرد.

$$g(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}$$

از این رو پرسپترون چندلایه (MLP) اشاره شده در رابطه ی ۷ به منزله ی یک نگاشت غیرخطی از مشاهدات گذشته به مقدار آینده خواهد بود. یعنی:

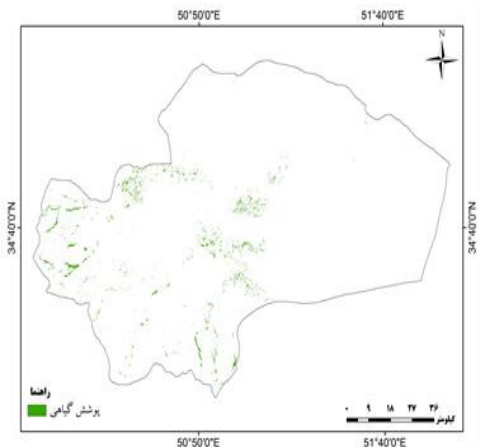
$$y_t = f(y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-p}, W) + \varepsilon_t$$

به طوری که W بردار همه ی پارامترها و f تابعی است که توسط ساختار شبکه ی عصبی و وزن های اتصالی تعیین می شود، از این رو شبکه های عصبی معادل مدل های خودرگرسیون غیرخطی هستند. مدل ساده ی بیان شده در رابطه ی ۱ دارای قدرت تقریب بسیار زیادی است، چرا که قادر است هر تابع دلخواه را به شرط آنکه تعداد گره های مخفی (Q) به اندازه ی کافی بزرگ باشد، تقریب بزند. در عمل ساختار یک شبکه ی عصبی ساده که تعداد نرون کمتری در لایه ی مخفی خود دارد، غالباً در پیش بینی های خارج از نمونه بهتر عمل خواهد کرد و این به دلیل دوری جستن از مسئله ی برازش بیش از حد است که عمدتاً در فرایند مدل سازی شبکه های عصبی مصنوعی رخ می دهد.

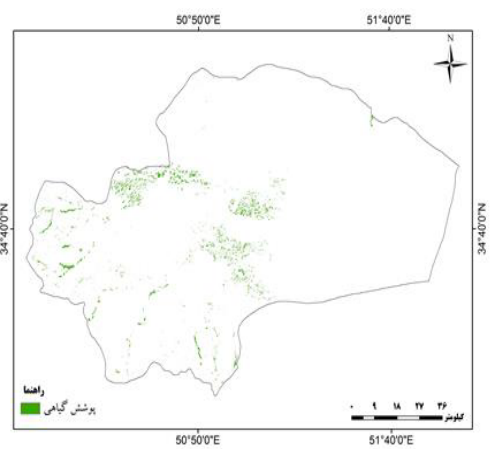
### واکاوی مکانی - زمانی بارش و روند آن در قلمرو مطالعاتی

برای بررسی تأثیر بارش بر بیابان زایی از داده های پایگاه بارش جهانی (GPCC) که دارای تفکیک مکانی ۰/۵ در ۰/۵ درجه است، در بازه ی زمانی ۱۹۸۴-۲۰۱۳ استفاده گردید و با استفاده از این پایگاه داده ماهانه و روش ناپارامتریک آزمون من کندانل به واکاوی مکانی و زمانی بارش سالانه و تحلیل روند این نهاده ی مهم اقلیمی در قلمرو پژوهش مبادرت ورزیده شد. در ابتدا برای بررسی مکانی بارش با استفاده از داده های پایگاه مزبور میانگین سالانه ی بارش در نرم افزار Mat lab (متلب) استخراج و با بهره گیری از نرم افزار Arc Map و روش IDW (وزن دهی معکوس) نقشه ی میانگین سالانه تهیه گردید. سپس برای بررسی زمانی با استفاده از میانگین داده های بارش سالانه نمودار سری زمانی تهیه گردید و معنی داری روند سری زمانی از طریق روش ناپارامتری من کندانل در سطح ۹۵٪

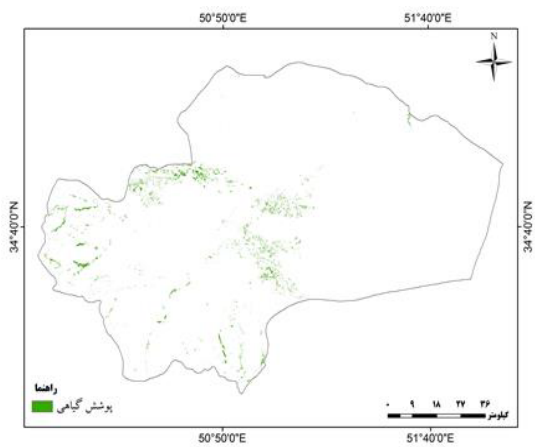
۳/۶۰۵ کیلومتر مربع تقلیل یافته است (جدول ۲ و نقشه‌های ۴ تا ۸). به نظر می‌رسد عوامل انسانی نظیر چرای شدید، تخریب مراتع و تغییرات کاربری اراضی عامل اساسی در تخریب پوشش گیاهی منطقه باشد.



تصویر ۴: نقشه‌ی NDVI روز ۱۸۸ سال ۱۹۸۷ استان قم



تصویر ۶: نقشه‌ی NDVI روز ۲۰۸ سال ۲۰۰۰ استان قم

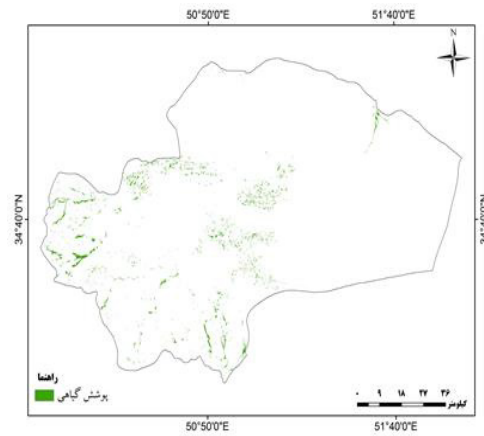


تصویر ۸: نقشه‌ی NDVI روز ۱۹۵ سال ۲۰۱۳ استان قم

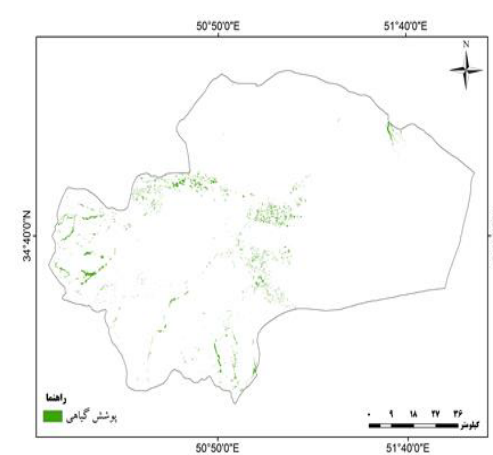
۱۹۹۳ رخ داده است؛ به گونه‌ای که در طی این مدت ۷ ساله حدود ۵۲۶ کیلومتر مربع از وسعت پوشش گیاهی این گستره‌ی جغرافیایی کاسته شده است. در عین حال در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ نیز مساحت پوشش گیاهی در منطقه‌ی مطالعاتی حدود ۷۴/۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است. در مجموع، پوشش گیاهی قلمرو مورد بررسی در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۸۷ حدود

جدول ۲: مساحت پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI در استان قم

لندست	روز	سال	مساحت پوشش گیاهی (کیلومتر مربع)
۵	۱۸۸	۱۹۸۷	۸۴۷/۹۹۳۴۴۳
۵	۱۸۸	۱۹۹۳	۸۳۹/۳۳۲۵۹۷
۵	۲۰۸	۲۰۰۰	۳۱۳/۳۶۸۹۸۱
۵	۱۵۵	۲۰۱۰	۳۱۶/۸۲۱۴۳۸
۸	۱۹۵	۲۰۱۳	۲۴۲/۶۴۴۴۱۶



تصویر ۵: نقشه‌ی NDVI روز ۱۸۸ سال ۱۹۹۳ استان قم



تصویر ۷: نقشه‌ی NDVI روز ۱۵۵ سال ۲۰۱۰ استان قم

۱۱۰

شماره چهاردهم

پاییز و زمستان  
۱۳۹۷

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

بهرین

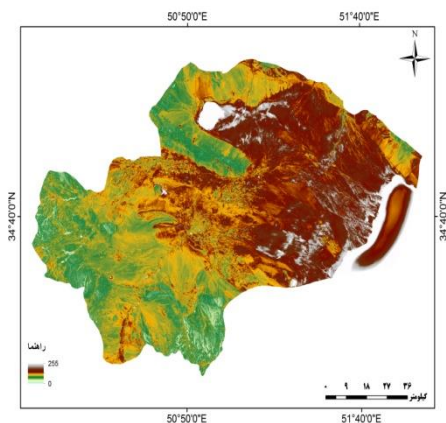
واکاوی تغییرات پیدایان‌زایی با تانگید بر اقلیم بارش در استان قم

افزایش یافته و از ۳٪ به ۱۸٪ رسیده است (جدول ۳ و نقشه‌های ۹ تا ۲۳).

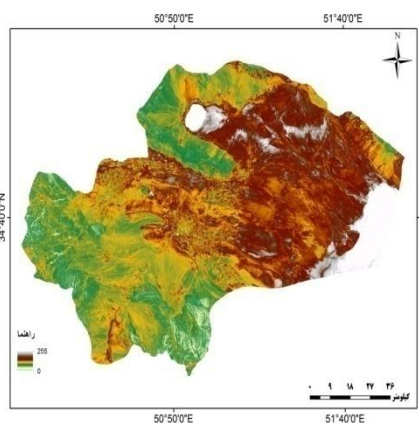
جدول ۳: مساحت شوری خاک حاصل از شاخص شوری در استان قم

لندست	روز	سال	مساحت اراضی بیابانی و شور (کیلومتر مربع)
۵	۱۸۸	۱۹۸۷	۳۵۲/۶۲۵۴۳۷
۵	۱۸۸	۱۹۹۳	۶۰۹/۵۴۰۲۸۹
۵	۲۰۸	۲۰۰۰	۱۰۲۹/۷۵۸۲۵۶
۵	۱۵۵	۲۰۱۰	۱۵۳۱/۲۰۳۱۸
۸	۱۹۵	۲۰۱۳	۲۱۰۳/۸۴۴۷۴۷

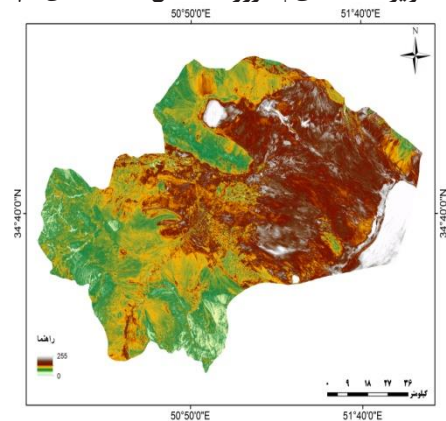
نتایج حاصل از اعمال سه شاخص شوری  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  در قلمرو مطالعاتی نشان از افزایش فزاینده‌ی مساحت اراضی شور و بیابانی و رابطه‌ی معکوس آن با وسعت پوشش گیاهی در بازه‌ی زمانی مورد بررسی دارد. نتایج بررسی شاخص‌های شوری نشان می‌دهد که بیشترین میزان تغییر وسعت اراضی شور و بیابانی در قلمرو مطالعاتی در سال ۲۰۱۳ در مقایسه با سال ۲۰۱۰ رخ داده است؛ به گونه‌ای که در طی این بازه‌ی زمانی حدود ۵۷۲/۶۴ کیلومتر مربع بر وسعت اراضی شور و بیابانی این گستره‌ی جغرافیایی افزوده شده است. در عین حال در دوره‌ی زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۰ نیز مساحت اراضی شور و بیابانی در منطقه‌ی مطالعاتی حدود ۴۲۰/۲ کیلومتر مربع افزایش یافته است. در مجموع، اراضی شور و بیابانی قلمرو مورد بررسی در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۸۷ حدود ۱۷۵۱/۲ کیلومتر مربع



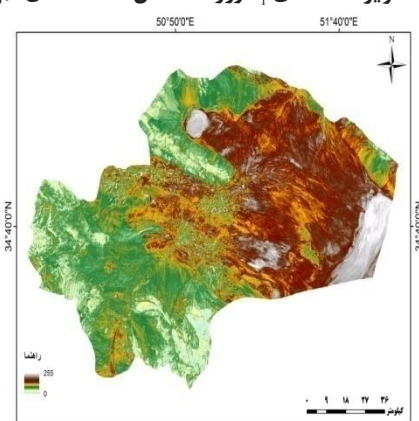
تصویر ۱۰: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۹۳ استان قم



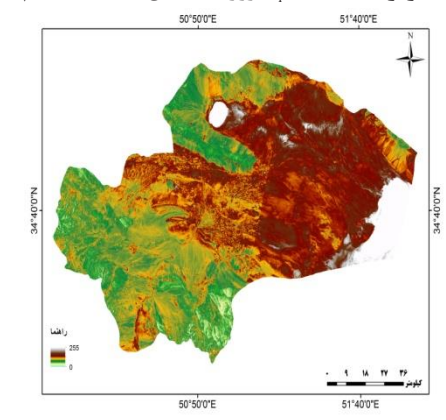
تصویر ۹: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۸۷ استان قم



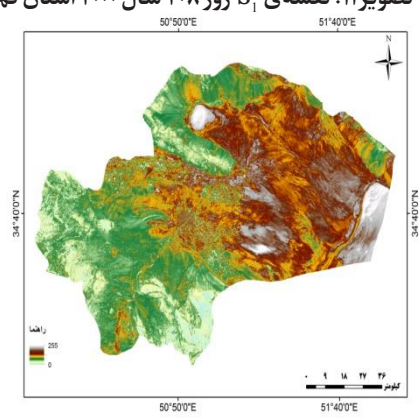
تصویر ۱۲: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۱۵۵ سال ۲۰۱۰ استان قم



تصویر ۱۱: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۲۰۸ سال ۲۰۰۰ استان قم



تصویر ۱۴: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۸۷ استان قم



تصویر ۱۳: نقشه‌ی  $S_1$  روز ۱۹۵ سال ۲۰۱۳ استان قم

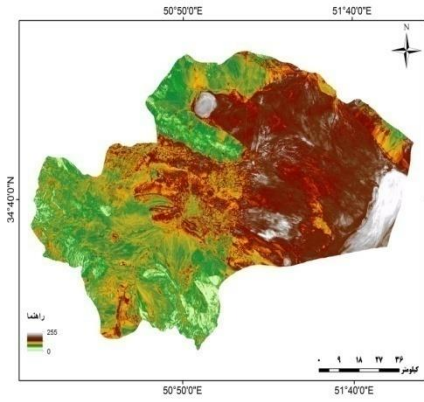
۱۱۱

شماره چهاردهم  
بایزومستان  
۱۳۹۷

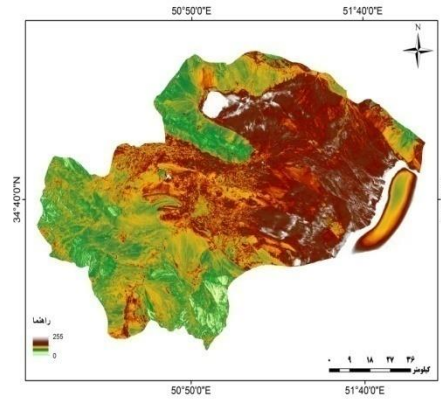
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی



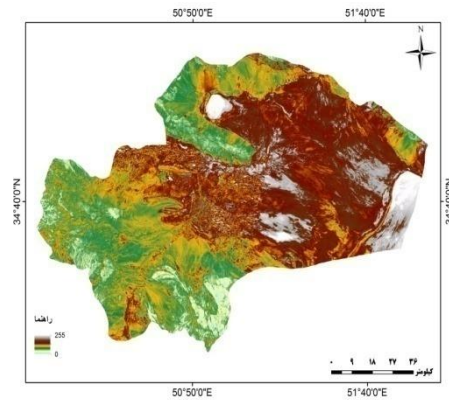
واکاوی تغییرات بیابان‌زایی با تأکید بر اقلیم بارش در استان قم



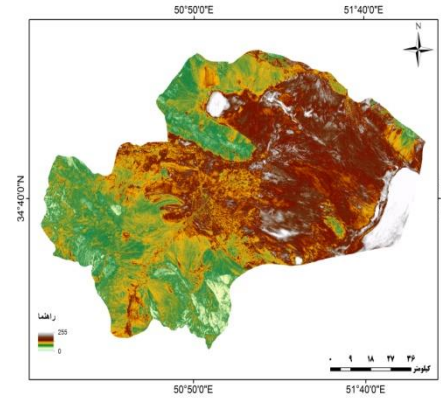
تصویر ۱۶: نقشه‌ی  $S_2$  روز ۲۰۸ سال ۲۰۰۰ استان قم



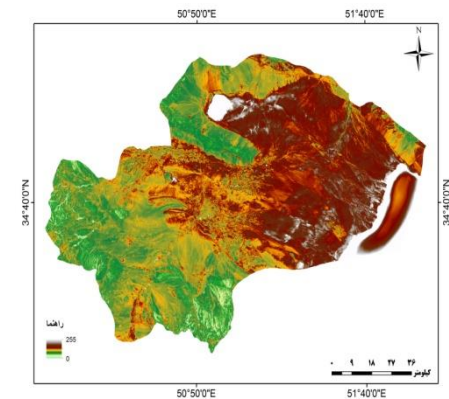
تصویر ۱۵: نقشه‌ی  $S_2$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۹۳ استان قم



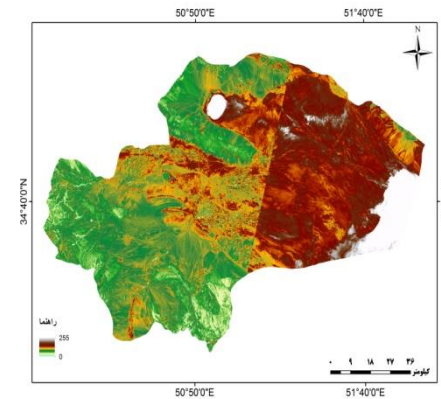
تصویر ۱۸: نقشه‌ی  $S_2$  روز ۱۹۵ سال ۲۰۱۳ استان قم



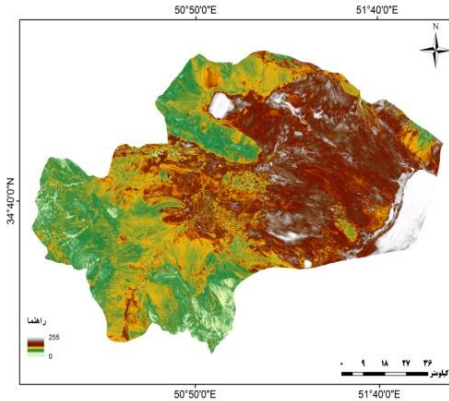
تصویر ۱۷: نقشه‌ی  $S_2$  روز ۱۵۵ سال ۲۰۱۰ استان قم



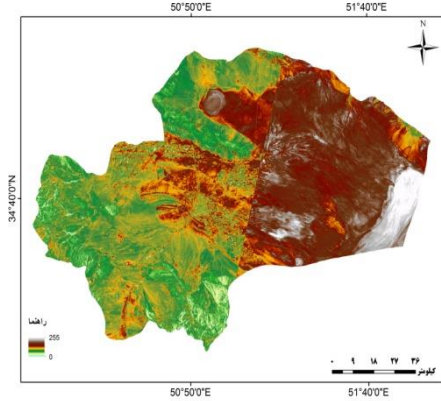
تصویر ۲۰: نقشه‌ی  $S_3$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۹۳ استان قم



تصویر ۱۹: نقشه‌ی  $S_2$  روز ۱۸۸ سال ۱۹۸۷ استان قم



تصویر ۲۲: نقشه‌ی  $S_3$  روز ۱۵۵ سال ۲۰۱۰ استان قم



تصویر ۲۱: نقشه‌ی  $S_3$  روز ۲۰۸ سال ۲۰۰۰ استان قم

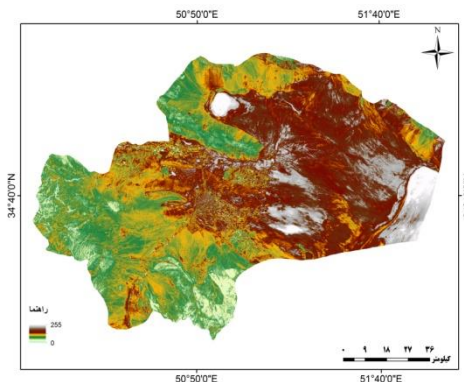
۱۱۲  
شماره چهاردهم  
پاییز و زمستان  
۱۳۹۷  
دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

بهرین

واکاوی تغییرات پیدایابی با تانگید بر اقلیم بارش در استان قم



کیلومتر مربع کاهش داشته است. در عین حال، وسعت دریاچه‌ی نمک در همین دوره‌ی ۶ ساله حدود ۳۲ کیلومتر مربع کاهش را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۰۰ نسبت به سال ۱۹۹۳ بیشترین شدت تغییرات را می‌توان در پوشش گیاهی مشاهده کرد؛ به گونه‌ای که در طی این دوره‌ی ۷ ساله حدود ۵۲۶ کیلومتر مربع از وسعت پوشش گیاهی کاسته شده است. در عین حال، اراضی شور و بیابانی نیز در این مدت حدود ۲/۴۲۰ کیلومتر مربع افزایش وسعت داشته است و محدوده‌ی دریاچه‌ی نمک ۸/۳۶ کیلومتر مربع کاهش را نشان می‌دهد. در دوره‌ی ده ساله، ۲۰۱۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ بیشترین تغییرات در اراضی شور و بیابانی را دارد که حدود ۵۰۱/۵ کیلومتر مربع افزایش را نشان می‌دهد. این میزان افزایش با کاهش ۷/۴۶۶ کیلومتر مربعی اراضی بایر (سایر) و ۷/۵۱ کیلومتر مربعی کاهش وسعت دریاچه‌ی نمک می‌تواند مرتبط باشد. در این مدت محدوده‌ی شهر نیز ۴/۱۸ کیلومتر مربع افزایش وسعت داشته است. در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ شدیدترین تغییرات با افزایش ۶/۵۷۲ کیلومتر مربعی اراضی شور و بیابانی و کاهش ۳/۴۷۴ کیلومتر مربعی اراضی بایر (سایر) اتفاق افتاده است (جدول ۴ تا ۸). بدین ترتیب، مساحت پوشش گیاهی، دریاچه‌ی حوض سلطان و دریاچه‌ی نمک در طول بازه‌ی زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۷ کاهش چشمگیر و در مقابل وسعت اراضی بیابانی و شور و شهر افزایش فزاینده‌ای داشته است. در این مدت مساحت اراضی بایر (سایر) از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۳ حدود ۱۰٪ کاهش داشته است.



تصویر ۲۳: نقشه‌ی S<sub>3</sub> روز ۱۹۵ سال ۲۰۱۳ استان قم

### بررسی کاربری اراضی در قلمرو مطالعاتی

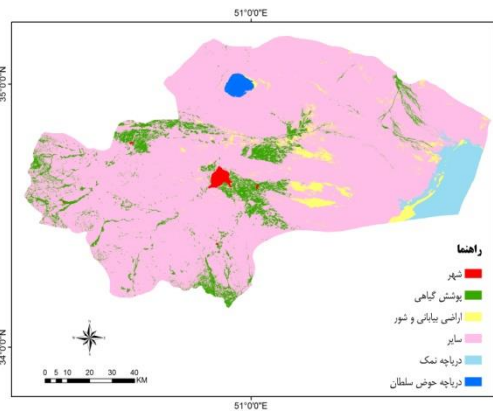
تصاویر ۲۴ تا ۲۸ نقشه‌های کاربری اراضی منطقه را برای ۵ تاریخ ارائه شده به روش طبقه‌بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP نشان می‌دهد. بر این اساس گستره‌ی مطالعاتی به شش کاربری اراضی بیابانی و شور، پوشش گیاهی، شهر، سایر (اراضی بایر)، دریاچه‌ی نمک و دریاچه‌ی حوض سلطان طبقه‌بندی و اقدام به آشکارسازی تغییرات در بازه‌ی زمانی مورد بررسی گردید. بر اساس جدول ۴ بیشترین شدت تغییرات در اراضی شور و بیابانی سال ۱۹۹۳ نسبت به سال ۱۹۸۷ رخ داده، به گونه‌ای که در طی این دوره حدود ۲۵۷ کیلومتر مربع بر وسعت اراضی شور و بیابانی افزوده شده است. اما در طی همین دوره اراضی بایر (سایر) حدود ۲۱۶

جدول ۴: مساحت کاربری اراضی استان قم سال ۱۹۸۷

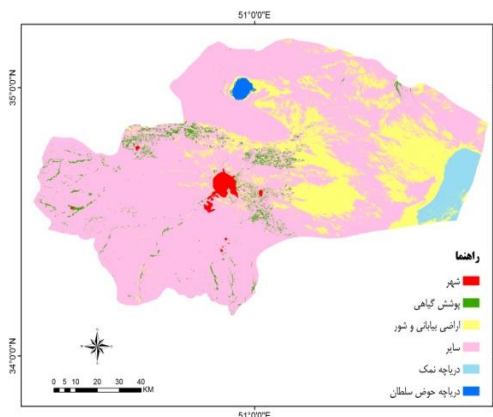
کاربری‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
پوشش گیاهی	۸۴۷/۹۹۳۴۴۳
اراضی بیابانی و شور	۳۵۲/۶۲۵۴۳۷
شهر	۴۸/۸۲۰۹۶۱
دریاچه‌ی حوض سلطان	۷۴/۲۳۲۹
دریاچه‌ی نمک	۴۹۳/۴۸۷۱
سایر	۹۷۰۸/۳۶۱۸۱۷

جدول ۵: مساحت کاربری اراضی استان قم سال ۱۹۹۳

کاربری‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
پوشش گیاهی	۸۳۹/۳۳۲۵۹۷
اراضی بیابانی و شور	۶۰۹/۵۴۰۲۸۹
شهر	۵۲/۵۱۰۳۶۸
دریاچه‌ی حوض سلطان	۷۰/۳۱۳۴
دریاچه‌ی نمک	۴۶۱/۵۸۲۱
سایر	۹۴۹۲/۲۷۰۲۰۳



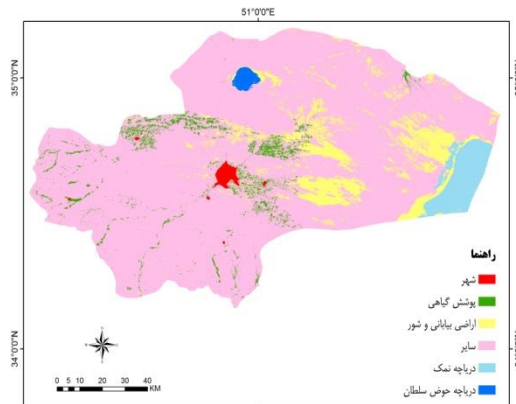
تصویر ۲۴: نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۹۸۷ استان قم



تصویر ۲۵: نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۱۹۹۳ استان قم

جدول ۶: مساحت کاربری اراضی استان قم سال ۲۰۰۰

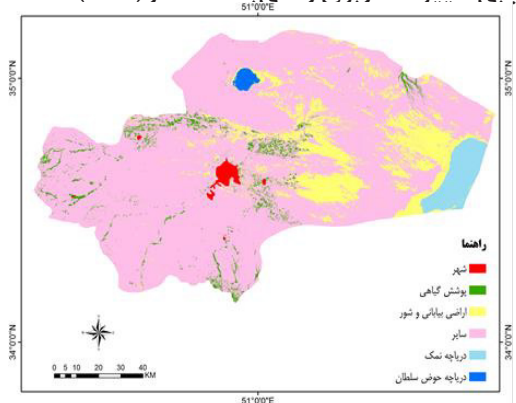
کاربری‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
پوشش گیاهی	۳۱۳/۳۶۸۹۸۹
اراضی بیابانی و شور	۱۰۲۹/۷۵۸۲۵۶
شهر	۶۵/۷۵۱۳۴۷
دریاچه‌ی حوض سلطان	۶۶/۳۶۸۷
دریاچه‌ی نمک	۴۲۴/۷۸۶۵
سایر	۹۶۲۵/۲۱۵۴۷



تصویر ۲۶: نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ استان قم ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از (MLP)

جدول ۷: مساحت کاربری اراضی استان قم سال ۲۰۱۰

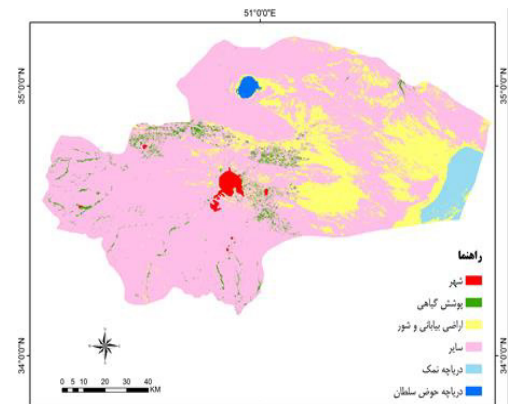
کاربری‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
پوشش گیاهی	۳۱۶/۸۲۱۴۳۸
اراضی بیابانی و شور	۱۵۳۱/۲۰۲۳۱۸
شهر	۸۴/۱۱۹۸۸۶
دریاچه‌ی حوض سلطان	۶۱/۵۵۲۸
دریاچه‌ی نمک	۳۷۳/۱۲۴۷
سایر	۹۱۵۸/۵۸۳۶۸۵



تصویر ۲۷: نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ استان قم

جدول ۸: مساحت کاربری اراضی استان قم سال ۲۰۱۳

کاربری‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
پوشش گیاهی	۲۴۲/۶۴۴۴۱۶
اراضی بیابانی و شور	۲۱۰۳/۸۴۴۷۴۷
شهر	۹۵/۸۷۴۶۴۲
دریاچه‌ی حوض سلطان	۵۳/۱۱۷۱
دریاچه‌ی نمک	۳۴۵/۶۴۱۴
سایر	۸۶۸۴/۲۶۸۴۰۱



تصویر ۲۸: نقشه‌ی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ استان قم

دریاچه‌ی حوض سلطان ۳/۹۲ کیلومتر مربع، پوشش گیاهی ۸/۶۶ کیلومتر مربع و سایر ۲۱۶/۰۷ کیلومتر مربع کاسته شده و به مساحت‌های شهر ۳/۶۵ کیلومتر مربع و اراضی شور ۲۵۶/۹۱ کیلومتر مربع افزوده شده است (تصویر ۲۹). در دوره‌ی (۲۰۰۰-۱۹۹۳) از وسعت پوشش گیاهی به میزان ۵۲۵/۸۹ کیلومتر مربع کاسته شده و در عوض به مساحت‌های اراضی بایر (سایر)، اراضی شور و شهر به ترتیب به مقدار ۴۸۶/۲۷، ۳۷/۱۱ و ۲/۵ کیلومتر مربع افزوده شده است. در مجموع، در این دوره از وسعت‌های دریاچه‌ی نمک ۳۶/۸ کیلومتر مربع، دریاچه‌ی حوض سلطان

نتایج حاصل از جدول ۹ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تغییر در دوره‌ی (۱۹۹۳-۱۹۸۷) مربوط به اراضی شور است که به مساحت آن ۲۵۶/۹۱ کیلومتر مربع افزوده شده است. به بیان دیگر، از وسعت اراضی بایر (سایر)، دریاچه‌ی نمک، پوشش گیاهی و حوض سلطان به ترتیب به میزان ۲۳۳/۷۳، ۱۳/۹۴، ۶/۹۵ و ۲/۴۲ کیلومتر مربع کاسته شده و به مساحت اراضی شور افزوده شده است. این درحالی است که ۰/۱۳ کیلومتر مربع از اراضی شور به کاربری شهر اختصاص یافته است. در مجموع، در این دوره از وسعت‌های دریاچه‌ی نمک ۳۱/۹۱ کیلومتر مربع،

جدول ۹: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۱۹۹۳-۱۹۸۷)

دریاچه‌ی نمک	۰	۱۷/۹۶	۱۳/۹۴	۰	۰	*	-۳۱/۹۱
حوض سلطان	۰	۱/۵	۲/۴۲	۰	*	۰	-۳/۹۲
پوشش گیاهی	۰/۹۸	-۰/۷۳	۶/۹۵	*	۰	۰	-۸/۶۶
اراضی شور	۰/۱۳	-۲۳۳/۷۳	*	-۶/۹۵	-۲/۴۲	-۱۳/۹۴	۲۵۶/۹۱
سایر	۲/۵۴	*	۲۳۳/۷۳	-۰/۷۳	-۱/۵	-۱۷/۹۶	-۲۱۶/۰۷
شهر	*	-۲/۵۴	-۰/۱۳	-۰/۹۸	۰	۰	۳/۶۵
	شهر	سایر	اراضی شور	پوشش گیاهی	حوض سلطان	دریاچه‌ی نمک	اختلاف

جدول ۱۰: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۱۹۹۳-۲۰۰۰)

دریاچه‌ی نمک	۰	۱۱/۳۷	۲۵/۴۳	۰	۰	*	-۳۶/۸
حوض سلطان	۰	۱	۲/۹۴	۰	*	۰	-۳/۹۴
پوشش گیاهی	۲/۵	۴۸۶/۲۷	۳۷/۱۱	*	۰	۰	-۵۲۵/۸۹
اراضی شور	۰/۶۲	-۳۵۵/۳۱	*	-۳۷/۱۱	-۲/۹۴	-۲۵/۴۳	۴۲۰/۱۸
سایر	۱۰/۲۱	*	۳۵۵/۳۱	-۴۸۶/۲۷	-۱	-۱۱/۳۷	۱۳۳/۱۲
شهر	*	-۱۰/۲۱	-۰/۶۲	-۲/۵	۰	۰	۱۳/۳۳
	شهر	سایر	اراضی شور	پوشش گیاهی	حوض سلطان	دریاچه‌ی نمک	اختلاف

جدول ۱۱: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۲۰۰۰-۲۰۱۰)

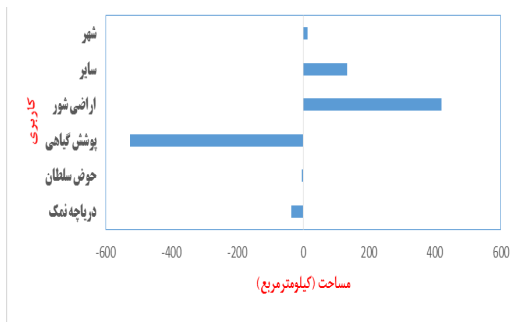
دریاچه‌ی نمک	۰	۷/۱۵	۴۴/۵۲	۰	۰	*	-۵۱/۶۶
حوض سلطان	۰	۰/۶۹	۴/۱۲	۰	*	۰	-۴/۸۲
پوشش گیاهی	-۱/۶۶	-۱۵/۲۵	۱۰/۱۷	*	۰	۰	-۳/۴۳
اراضی شور	۱/۰۴	-۴۴۳/۷۲	*	-۱۰/۱۷	-۴/۱۲	-۴۴/۵۲	۵۰۱/۴۸
سایر	۱۵/۶	*	۴۴۳/۷۲	۱۵/۲۵	-۰/۶۹	-۷/۱۵	-۴۶۶/۷۳
شهر	*	-۱۵/۶	-۱/۰۴	-۱/۶۶	۰	۰	۱۸/۲۹
	شهر	سایر	اراضی شور	پوشش گیاهی	حوض سلطان	دریاچه‌ی نمک	اختلاف

جدول ۱۲: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۲۰۱۰-۲۰۱۳)

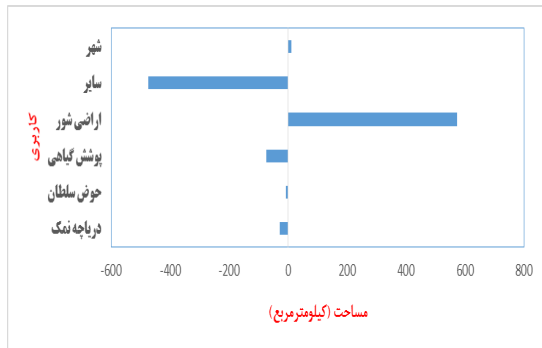
دریاچه‌ی نمک	۰	۰	۲۷/۴۸	۰	۰	*	-۲۷/۴۸
حوض سلطان	۰	۰/۱۴	۸/۳	۰	*	۰	-۸/۴۴
پوشش گیاهی	۰/۵۲	۶۲/۴۳	۱۱/۱۹	*	۰	۰	-۷۴/۱۴
اراضی شور	۰/۰۳	-۵۲۶/۶۶	*	-۱۱/۱۹	-۸/۳	-۲۴/۴۸	۵۷۲/۶۱
سایر	۱۰/۲۲	*	۵۲۶/۶۶	-۶۲/۴۳	-۰/۱۴	۰	-۴۷۴/۳۱
شهر	*	-۱۰/۲۲	-۱/۰۳	-۰/۵۲	۰	۰	۱۱/۷۷
	شهر	سایر	اراضی شور	پوشش گیاهی	حوض سلطان	دریاچه‌ی نمک	اختلاف

شهر تصرف کرده است. در مجموع، در این دوره از وسعت‌های دریاچه‌ی نمک ۵۱/۶۶ کیلومتر مربع، دریاچه‌ی حوض سلطان ۴/۸۲ کیلومتر مربع، پوشش گیاهی ۳/۴۳ کیلومتر مربع و سایر ۴۶۶/۷۳ کیلومتر مربع کاسته شده و به مساحت‌های شهر ۱۸/۲۹ کیلومتر مربع و اراضی شور ۵۰۱/۴۸ کیلومتر مربع افزوده شده است (جدول ۱۱ و تصویر ۳). در دوره‌ی (۲۰۱۳-۲۰۱۰) به وسعت اراضی شور به میزان ۵۷۲/۶۱ کیلومتر مربع افزوده شده و در عوض از مساحت‌های اراضی بایر (سایر)، دریاچه‌ی نمک، پوشش گیاهی و حوض سلطان به ترتیب به مقدار ۵۲۶/۶۶، ۲۴/۴۸، ۱۱/۷۷ و ۸/۳ کیلومتر مربع کاسته شده است. این درحالی است که ۰/۰۳

۳/۹۴ کیلومتر مربع و پوشش گیاهی ۵۲۵/۸۹ کیلومتر مربع کاسته شده و به مساحت‌های اراضی شور ۴۲۰/۸ کیلومتر مربع، سایر ۱۳۳/۱۲ کیلومتر مربع و شهر ۱۳/۳۳ کیلومتر مربع افزوده شده است (جدول ۱۰ و تصویر ۳). بیشترین مقدار تغییر در دوره‌ی (۲۰۰۰-۲۰۱۰) مربوط به اراضی شور است که مساحت آن ۵۰۱/۴۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است. به عبارت دیگر، وسعت اراضی بایر (سایر)، دریاچه‌ی نمک، پوشش گیاهی و حوض سلطان به ترتیب به میزان ۴۴۳/۷۲، ۴۴/۵۲، ۱۰/۱۷ و ۴/۱۲ کیلومتر مربع کاهش یافته و به مساحت اراضی شور افزوده شده است. این درحالی است که ۱/۰۴ کیلومتر مربع از اراضی شور را کاربری

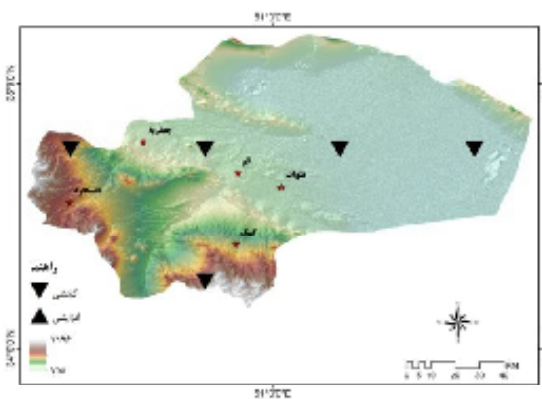


تصویر ۳۰: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۱۹۹۳-۲۰۰۰)

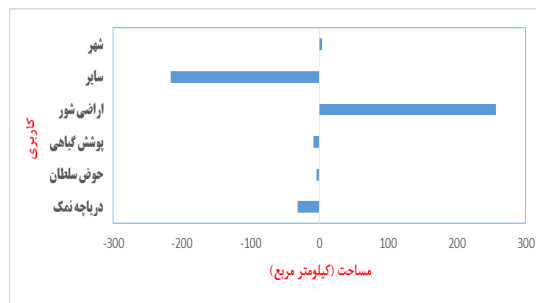


تصویر ۳۲: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۲۰۱۰-۲۰۱۳)

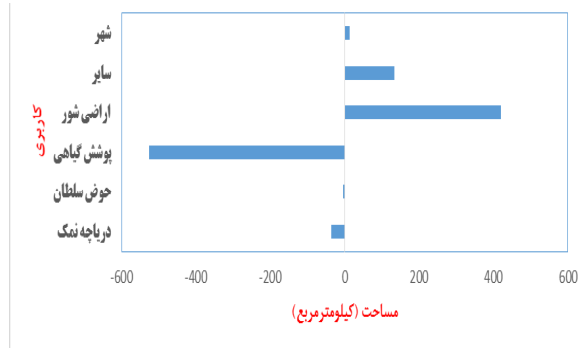
و کوه خضر و کمینه‌ی بارش در مناطق شرق این استان به علت وجود دریاچه‌ی نمک و مجاورت با بیابان‌های مرکزی ایران مشاهده می‌گردد. میانگین بارش از غرب به شرق کاهش می‌یابد، به طوری که کمینه‌ی بارش با مقدار ۱۳۸ میلی‌متر در شرق و بیشینه‌ی بارش به میزان ۲۱۲ میلی‌متر در غرب پهنه‌ی مطالعاتی مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد عامل توپوگرافی نقشی اساسی در این زمینه داشته است؛ به طوری که بخش‌های شرق پهنه‌ی مطالعاتی از بارش کمتری بهره‌مند است. میانگین یاخته‌ای بارش سالانه در محدوده‌ی مورد بررسی ۱۷۱/۷۳ میلی‌متر است (تصویر ۳۳). واکاوی نقشه‌ی روند مکانی بارش سالانه‌ی استان قم نشان‌دهنده‌ی این است که بارش در این پهنه غالباً روندی کاهشی در سطح ۹۵٪ داشته است. نمادهای یاخته‌ای (۵ یاخته‌ی موجود) بر روی نقشه‌ی روند مکانی بارش سالانه‌ی استان گویای این موضوع است (تصویر ۳۴).



تصویر ۳۴: واکاوی روند مکانی بارش سالانه‌ی استان قم



تصویر ۲۹: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۱۹۸۷-۱۹۹۳)

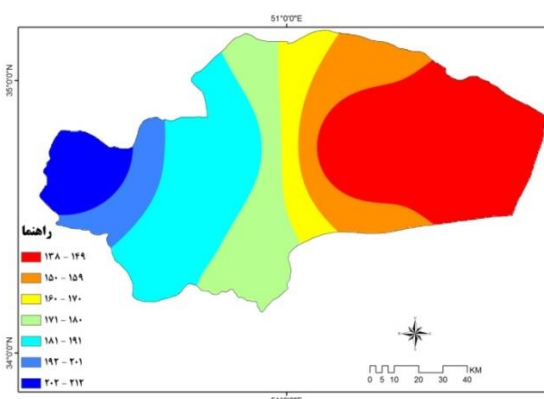


تصویر ۳۱: تغییرات کاربری اراضی استان قم (۲۰۰۰-۲۰۱۰)

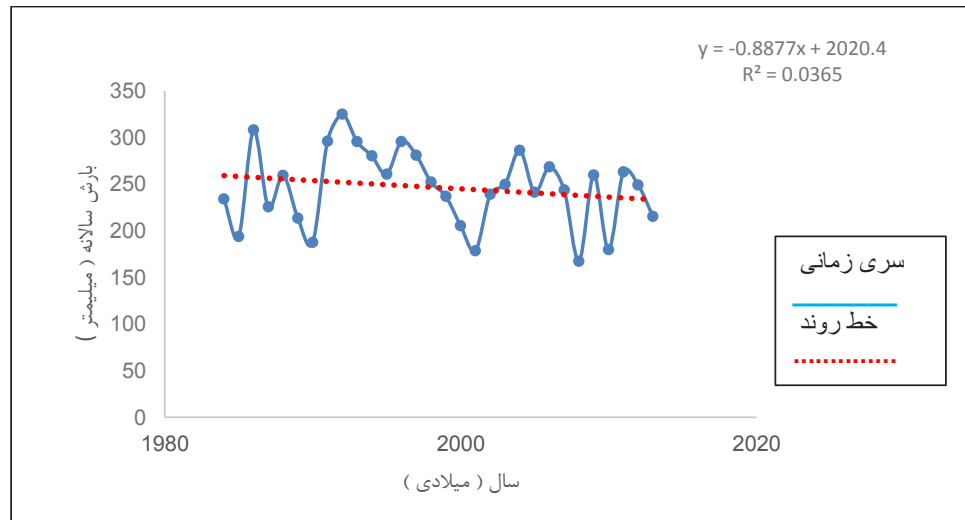
کیلومتر مربع از اراضی شور به کاربری شهر اختصاص یافته است. در مجموع، در این دوره از وسعت‌های دریاچه‌ی نمک ۲۷/۴۸ کیلومتر مربع، دریاچه‌ی حوض سلطان ۸/۴۴ کیلومتر مربع و پوشش گیاهی ۷۴/۱۴ کیلومتر مربع و سایر ۴۷۴/۳۱ کیلومتر مربع کاسته شده و به مساحت‌های اراضی شور ۵۷۲/۶۱ کیلومتر مربع، و شهر ۱۱/۷۷ کیلومتر مربع افزوده شده است (جدول ۱۲ و تصویر ۳۲). بر اساس تصویر ۳۲ اراضی بایر (سایر) بیشترین کاهش و اراضی شور بیشترین افزایش را در این دوره داشته است.

### واکاوی مکانی-زمانی بارش در استان قم

نقشه‌ی میانگین بارش سالانه‌ی منطقه نشانگر این است که بارش به صورت یکنواخت در تمام قسمت‌های استان تقسیم نشده است. بیشینه بارش در قسمت غرب به سبب وجود ارتفاعاتی نظیر کوه سخت حصار، آله تخت سرخوس، کلاه قاضی



تصویر ۳۳: نقشه‌ی میانگین بارش سالانه‌ی استان قم (۱۹۸۴-۲۰۱۳)



تصویر ۳۵: سری زمانی بارش سالانه‌ی استان قم

چند لایه (MLP) ارزیابی گردید. به منظور واکاوی مکانی و زمانی بارش و تحلیل روند آن از داده‌های ماهانه‌ی پایگاه بارش جهانی (GPCC) و روش ناپارامتریک آزمون من‌کنندال استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد پوشش گیاهی در دوره‌ی مورد مطالعه ۵٪ کاهش داشته که این کاهش بیشتر در غرب استان به چشم می‌خورد. این کاهش وسعت حدود ۶۰۵ کیلومتر مربعی در پوشش گیاهی با افزایش شدید مساحت اراضی شور و بیابانی منطقه همراه است؛ به طوری که حدود ۱۷۵۱ کیلومتر مربع بر این وسعت این اراضی افزوده شده است. بیشترین افزایش اراضی شور و بیابانی نیز در قسمت غرب منطقه‌ی مورد مطالعه که پوشش گیاهی تخریب شده رخ داده است. رشد ۱۵٪ اراضی شور و بیابانی نسبت به سال نخست مطالعه حاکی از گسترش پدیده‌ی بیابان‌زایی در منطقه است. بررسی تغییرات کاربری اراضی نیز نشان داد که علاوه بر اراضی شور و بیابانی بر وسعت شهر هم به میزان حدود ۴۷ کیلومتر مربع افزوده شده؛ این درحالی است که مساحت دیگر کاربری‌ها یعنی پوشش گیاهی، دریاچه‌ی حوض سلطان، دریاچه‌ی نمک و اراضی بایر (سایر) به ترتیب حدود ۶۰۵، ۲۱، ۱۴۸ و ۱۰۲۴ کیلومتر مربع کاهش یافته است. مقایسه‌ی ماتریس تغییرات کاربری اراضی در دوره‌ی مورد بررسی نیز گویای افزایش اراضی شور و بیابانی و کاربری شهری و کاهش کاربری‌های پوشش گیاهی، دریاچه‌ی حوض سلطان، دریاچه‌ی نمک، اراضی بایر (سایر) در منطقه است که به نوعی تداومی‌کننده‌ی تشدید پدیده‌ی بیابان‌زایی در قلمرو مطالعاتی است. واکاوی مکانی و زمانی بارش و روند این فراسنج مهم اقلیمی در منطقه نیز حکایت از روند کاهش بارش و تشدید بیابان‌زایی در این پهنه به‌ویژه در سال‌های اخیر دارد. به عبارت دیگر، حاکمیت شرایط خشکی بر محدوده‌ی مطالعاتی در دهه‌های اخیر همراه با کاهش شدید پوشش گیاهی، تخریب خاک، افت آب‌های زیرزمینی ناشی از سیطره‌ی خشکسالی و نقصان بارش، افزایش جمعیت و گسترش شتابان شهری به‌ویژه رفتار زیست‌محیطی انسان بر شدت پدیده‌ی بیابان‌زایی در منطقه افزوده است. بدین ترتیب، مقابله با پدیده‌ی بیابان‌زایی

به منظور واکاوی روند زمانی بارش در منطقه‌ی تحت بررسی سری زمانی سالانه محاسبه، ترسیم و در ادامه با آزمون ناپارامتری من-کنندال روند افزایشی یا کاهش در سطح اطمینان ۹۵٪ آزمون شد. در سری زمانی سالانه‌ی پهنه‌ی مطالعاتی، بارش روندی کاهش از خود نشان می‌دهد. نتیجه‌ی آزمون من‌کنندال ۱/۰۳۴۷۸- گویای این مسئله است. در این سری زمانی در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه (۱۹۸۴-۲۰۱۳) میزان بارش در سال ۱۹۸۴ معادل ۲۳۴/۰۹ میلی‌متر و در سال ۲۰۱۳ برابر با ۲۱۵/۳۱ میلی‌متر بوده که روند کاهش داشته است. بیشینه‌ی بارش سالانه در این بازه‌ی زمانی دارای مقداری برابر با ۳۲۴/۷۵ میلی‌متر در سال ۱۹۹۲ است؛ این در حالی است که کمینه بارش مقداری برابر با ۱۶۷/۲۲ میلی‌متر را در سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد (تصویر ۳۵).

### نتیجه‌گیری

پدیده‌ی بیابان‌زایی از مهم‌ترین مسائلی است که به کیفیت محیط‌زیست جهان فشارهای زیادی را تحمیل می‌نماید. در حال حاضر بیابان‌زایی یکی از مهم‌ترین مخاطرات محیطی جهان امروز است و گریبان‌گیر بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران است. استان قم نمونه‌ی بارزی از مناطقی است که از این پدیده‌ی مخاطره‌آمیز در رنج است. بر این اساس، تحلیل روند تغییرات بیابان‌زایی با تأکید بر معیار بارش در این پهنه‌ی جغرافیایی و با بهره‌گیری از تکنیک‌ها و مدل‌های نوین در کانون توجه نگارندگان به‌منزله‌ی هدف قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا تصاویر سنجنده‌های TM 5 و LDCM 8 ماهواره‌ای لندست محدوده‌ی مطالعاتی از تارنمای علوم و زمین ایالات متحده آمریکا در بازه‌ی زمانی (۱۹۸۴-۲۰۱۳) استخراج و تصحیح شد. شاخص NDVI برای شناسایی پوشش گیاهی و شاخص‌های سه‌گانه‌ی شوری خاک برای شناسایی مناطق بیابانی و شور بر روی تصاویر اعمال گردید. در ادامه، ۶ کاربری در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت شده Fuzzy ARTMAP شناسایی و تغییرات کاربری اراضی بر اساس مدل شبکه‌ی عصبی پرسپترون

4 Xia. L & Anthony, C. (2004), Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS, *Landscape and Urban planning*, 69, 335-354.

5. Topa M. E, Iavazzo, P., Terracciano, S., Adamo, P., Coly, A., De Paola, F., Giordano, S., Giugni, M., & Traoré, S.E. (2013). Evaluation of sensitivity to desertification by a modified ESAs method in two sub-Saharan peri-urban areas: 6-Ouagadougou (Burkina Faso) and Saint Louis (Senegal). *Geophysical Research Abstracts*, 15, EGU2013-2229.

۶. اکبری، مرتضی؛ کریم زاده، حمیدرضا؛ خواجه الدین، جمال؛ کریمیان اقبال، مصطفی (۱۳۸۳). کاربرد RS و GIS در بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی خشک شمال اصفهان). همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

۷. ربیعی، حمیدرضا؛ ضیائیان، پرویز؛ علی‌محمدی، عباس (۱۳۸۴). کشف و بازیابی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهر اصفهان به کمک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مجله‌ی مدرس علوم انسانی*، شماره‌ی ۳۲-۱۹، ۴.

۸. فتاحی، محمدمهدی (۱۳۸۸). بررسی روند بیابان‌زایی در استان قم با استفاده از داده‌های سنجش از دور با تأکید بر تغییرات استفاده از اراضی و تغییرات کمی و کیفی منابع آب. *فصلنامه‌ی علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، شماره‌ی ۲، ۲۳۴-۲۵۳.

۹. احدنژاد روشنی، محسن؛ حسینی، احمد (۱۳۹۰). ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات و پراکنش افقی شهرها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه و سیستم اطلاعات جغرافیایی (نمونه‌ی موردی: شهر تبریز در مقطع زمانی ۱۳۶۳-۱۳۸۹). *مجله‌ی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، شماره‌ی ۴، ۱-۲۰.

۱۰. زائری امیرانی، آزاده؛ سفینیان، علیرضا (۱۳۹۱). استفاده از روش‌های فازی آرت مپ و شبکه‌ی عصبی پرسپترون چند لایه برای تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش اراضی (مطالعه‌ی موردی: شهر اصفهان). *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، شماره‌ی ۷۹، ۱۴۳-۱۲۷.

۱۱. غلامعلی‌فرد، مهدی؛ جورابیان شوشتری، شریف؛ حسینی کهنوج، حمزه؛ میرزایی، محسن (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در محیط GIS. *مجله‌ی محیط‌شناسی*، شماره‌ی ۴، ۱۰۹-۱۲۴.

۱۲. ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ تلخابی، حمیدرضا؛ حسینخانی، لیلا (۱۳۹۲). آشکارسازی تغییرات حوزه‌ی کویر میقان با استفاده از تصاویر TM و MSS و ETM\* و داده‌های اقلیمی در دوره‌ی ۲۰۱۱-۱۹۷۳. *نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره‌ی ۳۱، ۲-۱۸.

۱۳. موسوی، حجت؛ ولی، عباسعلی؛ معیری، مسعود؛ رنجبر، ابوالفضل (۱۳۹۲). پایش وضعیت بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی (۲۰۰۶-۱۹۸۷). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره‌ی ۴، ۸۵-۱۰۲.

۱۴. سیلاخوری، اسماعیل؛ اوق، مجید؛ سعدالدین، امیر (۱۳۹۳). ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه‌ی سبزوار با استفاده از مدل MICD. *فصلنامه‌ی مدیریت بحران*، شماره‌ی ۱، ۹۹-۸۹.

15. <http://glovis.usgs.gov>

16. <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

17. Haibin, S., Jin, Z., Shuqing, Y., Liang, L. (2010). Study of regional evapotranspiration of Hetao irrigation district based on TM Images. In: *Proceedings of the*

در این منطقه مستلزم مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده از شیوه‌های صحیح بهره‌برداری منابع آبی در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شرب، خودداری از تبدیل بی‌رویه‌ی اراضی کشاورزی به واحدهای صنعتی، مسکونی، کاشت گونه‌های گیاهی سازگار با اقلیم، احیای اکوسیستم‌های آبی منطقه و طراحی سامانه‌ی پایش بیابان‌زایی است.

## پی‌نوشت

1 Thematic Mapper5 (TM5)

سنجنده چند طیفی نقشه‌های موضوعی لندست ۵

2 Landsat Data Continuity Mission (LDCM8)

لندست ۸

3 Normalized Difference Vegetation Index

شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده

4 Multi-Layer Perceptron

پرسپترون چند لایه

5 Global Precipitation Climatology Center

مرکز اقلیم‌شناسی بارش جهانی

6 Ghosi

7 Multispectral Scanner System

سنجنده اسکنر چند طیفی

8 Carlson

9 Advanced Very-High-Resolution Radiometer

تابش‌سنج پیشرفته با قدرت تفکیک خیلی بالا

10 Sugumaran

11 Linear Imaging Self Scanning-III (LISS-III)

خوداسکنر با تصاویر خطی تفکیک متوسط

12 Xia & Anthony

13 Topa

14 Environmentally Sensitive Areas (ESAs)

مناطق حساس محیطی

15 Enhanced Thematic Mapper

سنجنده چند طیفی نقشه‌های موضوعی بهبودیافته

16 Land Change Modeler

مدل‌سازی تغییر سرزمین

17 Modified Iranian Classification of Desertification

طبقه‌بندی بسط‌یافته‌ی بیابان‌زایی در ایران

## منبع

1. Ghosi, T.K. (1993). Environmental impacts analysis desertification through remote sensing and land based GIS, *Journal of arid environments*, 25, 141-150.

2. Carlson, n., & Sanchez- Azfifa. G. A. (1999). Satellite Remote sensing of land use changes in aground Senjose, Costarica. *Remote sensing of environment*. 17, 247-256.

3. Sugumaran, R. (2001). Forest land cover classification using statistical and artificial neural network approaches applied to IRS LISS - III sensor. *Geocarto*

17th World Congress of the International Commission of Agriculture and Biosystems Engineering (CIGR), Quebec City, Canada, June.

18. Douaoui, A.E.K., Nicolas, H, & Walteer, Ch. (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote sensing data, *Journal of Geoderma*, 134, 217-230.
19. Ronald Eastman, J. (2009). IDRISI Tutorial, Clark labs, Clark University. Shetabi, Sh. and Abdi, A., 2007, Mapping Land Use in Mountainous Regions of Zagros Using Sensor Data from ETM+ (Study Area: the Area of Lorestan, Khorram Sorkhab Region), *Agricultural Sciences and Natural Resources*, No. 14, PP. 1-12.
20. Collobert, R. (2004). Links between Perceptrons, MLPs and SVMs. *International Conference on Machine learning, ICML, IdiAP-RR-06-2004*, Switzerland.
21. Zhang, P.& Min, G. (2005). Neural network forecasting for seasonal and trend Time series. *European Journal of Operational Research*, 160, 501-514.
22. Vivekanandan, N. (2007). Analysis of trend in rainfall using Non Parametric statistical methods, international symposium on rainfall rate and radio wave propagation, *American institute of physics*, 101-113.

۱۱۹

شماره چهاردهم

بایزوزمستان  
۱۳۹۷

دوفصلنامه  
علمی و پژوهشی

