



## ارزیابی تخریب اراضی با استفاده از شاخص‌های به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای

هادی اسکندری دامنه<sup>1\*</sup>، رضا جعفری<sup>2</sup>، سعید سلطانی کوپائی<sup>2</sup>

1. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.
  2. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
  3. استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [hadi.eskandari@na.iut.ac.ir](mailto:hadi.eskandari@na.iut.ac.ir)

تاریخ دریافت: 1395/12/02 تاریخ پذیرش: 1396/06/29

### چکیده

در این تحقیق تخریب اراضی استان اصفهان در بازه زمانی 2001 تا 2014 با استفاده از تحلیل روند، دو شاخص NDVI و RUE مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از تصاویر ماهواره‌ای مودیس با کد MOD13A2 برای بررسی تخریب پوشش گیاهی و همچنین برای محاسبه RUE، در ابتدا از تصاویر ماهواره مودیس با کد MOD17A3 برای محاسبه NPP و سپس برای به‌دست‌آوردن بارندگی از روش کریجینگ استفاده شد؛ در پایان RUE از نسبت بین NPP به بارندگی بدست آمد. نتایج نشان داد که روند تغییرات NDVI و RUE برحسب بارش سالانه به‌ترتیب افزایشی و کاهشی بوده است. مقایسه رابطه رگرسیونی بین دو شاخص NDVI و RUE در کاربری‌های مختلف اراضی کشاورزی، مرتعی، جنگلی و بیابانی منطقه مورد مطالعه نشان داد که روند RUE در کاربری‌های کشاورزی، مرتع و جنگل افزایشی بوده به‌طوری که در سال 2001 مقدار این شاخص در کاربری‌های ذکرشده به‌ترتیب 0/017، 0/0051 و 0/006 و در سال 2014 به 0/170، 0/052 و 0/060 گرم کربن بر متر مربع درسال می‌رسد. روند NDVI در این بازه زمانی نیز کاهشی بوده است، به‌طوری که مقدار این شاخص نیز در سال 2001 به‌ترتیب در کاربری‌های ذکرشده 0/2، 0/142 و 0/149 و در سال 2014 به 0/16، 0/099 و 0/106 می‌رسد. در کاربری اراضی بیابانی روند این دو شاخص کاهشی بوده به‌طوری که مقدار شاخص RUE در سال 2001 در این کاربری 0/097 و در سال 2014 به 0/0213 گرم کربن بر متر مربع در سال کاهش داشته است. بر اساس این نتایج می‌توان دریافت که بوم‌نظام (اکوسیستم) منطقه مورد بررسی در حال تخریب است.

**واژگان کلیدی:** پوشش گیاهی؛ مودیس؛ تولید خالص اولیه؛ استان اصفهان

### n مقدمه

بیابان‌زایی و بیش از یک میلیارد نفر در 100 کشور در معرض خطر بیابان‌زایی و تخریب زمین‌اند (1). تخریب زمین تعاریف گسترده‌ای دارد که کاهش تولیدات بیولوژیکی زمین در همه آنها مشترک است (27، 28).

تخریب زمین در حال حاضر از مسائل مهم زیست-محیطی در جهان است (5، 27، 28) بیش از 250 میلیون نفر از مردم جهان به‌طور مستقیم تحت تأثیر

قضاوت اشتباه در مورد تخریب و بهبود بوم‌نظام شود(3). بنابراین، رابطه بین تولید و بارندگی برای ارزیابی سلامت بوم‌نظام‌ها بسیار مهم خواهد بود.

کارایی مصرف بارش (RUE<sup>4</sup>) که نسبت بین تولید خالص اولیه به بارش است شاخصی ساده اما بسیار مفید برای درک بهتر رابطه بین بارش، تولید گیاهان و همچنین ارزیابی تخریب اراضی است (15).

در شرایط یکسان بارش، بوم‌نظام‌های تخریب‌یافته با زیتوده (بیوماس) کم نسبت به بوم‌نظام‌های تخریب‌نیافته رواناب بیشتری تولید می‌کنند، در نتیجه RUE کمتری دارند (33). براساس این تئوری اخیراً RUE به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی بوم‌نظام‌ها استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه، در بررسی تخریب اراضی منابع گرد و غبار پکن - تیانجین و طوفان شن، در اوایل قرن 21، از سری زمانی روند NPP<sup>1</sup> و تعریف RUE بهره‌گیری شد. علاوه بر آن حساسیت و عملکرد آنها نیز ارزیابی و اعتبارسنجی شد. نتیجه این پژوهش نشان می‌دهد که RUE برای بررسی تخریب اراضی بسیار کارآمدتر از NPP است (19). در پژوهشی دیگر، RUE و NDVI برای بررسی تخریب یا بهبود بوم‌نظام در منطقه گوانجی چین ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که روش مقایسه RUE و NDVI برای ارزیابی بوم‌نظام با حذف بارندگی برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی بسیار مناسب بوده است (18).

با این حال RUE رابطه قوی با بارش دارد و افزایش یا کاهش RUE ممکن است در نتیجه کاهش یا افزایش قابل توجه بارش در بوم‌نظام بهبودیافته یا تخریب‌شده باشد. از آنجا که تولید خالص اولیه محاسبات بسیار پیچیده‌ای دارد، بسیاری از محققان یک مجموعه‌ای از سری‌های زمانی سازگار و قابل اعتماد به‌عنوان نماینده NPP<sup>5</sup> برای ارزیابی تخریب زمین استفاده می‌کنند (23). با وجود این مطالعات اندکی از NPP به‌عنوان شاخصی پویا برای ارزیابی تخریب زمین استفاده کرده‌اند. بسیاری از مطالعات نشان دادند که بین NPP و بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همبستگی

براساس تعریف کنفرانس مبارزه با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد<sup>1</sup> (UNCCD) عامل اصلی تخریب زمین عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی است. مطالعات زیادی نشان داده که عامل تغییرات در پدیده بیابان‌زایی بیشتر ناشی از فعالیت‌های انسانی است (2، 6، 20، 21، 24).

به‌منظور مبارزه با تخریب اراضی، کشورها باید سیستم پایش مکانی، را به‌کار گیرند که توانایی تمایز اثرات انسانی بر تولیدات گیاهی را از اثر تنوع بارندگی بر پوشش گیاهی داشته باشد (2، 28).

شاخص تفاوت نرمال‌شده پوشش گیاهی<sup>2</sup> (NDVI) به‌طور کلی از شاخص‌های بسیار مؤثر برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی و ارزیابی بوم‌نظام است (10، 31)؛ از این رو در مطالعات زیادی برای بررسی تخریب اراضی از این شاخص استفاده کرده‌اند. برای مثال در بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی بر تخریب اراضی شمال کشور آفریقای جنوبی از سری زمانی تصاویر NDVI سنجنده<sup>3</sup> AVHRR استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از بررسی سری زمانی می‌توان مکان‌های تخریب‌یافته را از مناطق تخریب‌نیافته تشخیص داد (32). در پژوهشی دیگر، به‌منظور پایش تأثیرات جنگل‌های شمال شرقی چین بر تغییرات آب و هوایی از تصاویر NDVI سنجنده مودیس استفاده گردید. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که میانگین NDVI با میانگین سالانه بارندگی هم‌خوانی داشته و با بهره‌گیری از شاخص به‌دست‌آمده از این داده‌ها می‌توان اطلاعات کافی برای بررسی تغییرات آب و هوایی در مقیاس محلی به‌دست آورد (34).

با بهره‌گیری از سری زمانی NDVI به‌دست‌آمده از تصاویر سنجنده مودیس، تخریب زمین در منطقه مغولستان بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی NDVI برای تشخیص تغییر پوشش گیاهی و شناسایی تخریب اراضی بسیار مناسب است (7). با این حال NDVI به‌شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی منطقه و جهانی است که این می‌تواند موجب

<sup>1</sup>United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD)

<sup>2</sup>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

<sup>3</sup>Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

<sup>4</sup>Rain-Use Efficiency (RUE)

<sup>5</sup> net primary productivity (NPP)

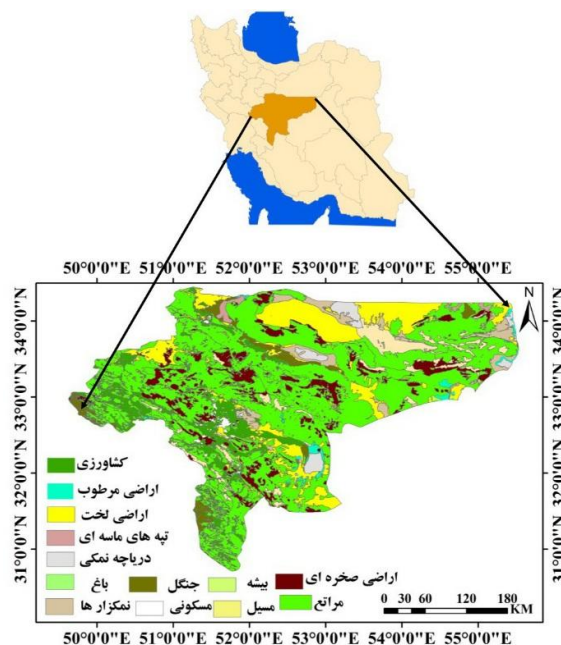
## n مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با وسعت 107045 کیلومترمربع از لحاظ طبیعی و انسانی از مهم‌ترین مناطق جغرافیایی کشور است. وجود مناطق کوهستانی متعدد و دشت‌های حاصل‌خیز، وجود زاینده‌رود، به‌عنوان بزرگ‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران، مجاورت با تالاب بین‌المللی گاوخونی از یک سو و قرارداشتن بر سر راه‌های مهم ارتباطی و وجود قطب‌های بزرگ صنعتی ذوب‌آهن، فولاد، پلی‌اکریل، نیروگاه‌ها، معادن و پالایشگاه‌ها مجموعه متنوعی را در ایران مرکزی به‌وجود آورده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه استان اصفهان بین مدار 30 درجه و 42 دقیقه تا 34 درجه و 30 دقیقه عرض شمالی و 49 درجه و 40 دقیقه تا 55 درجه و 30 دقیقه طول شرقی در مرکز ایران قرار دارد. این استان از شمال به استان‌های سمنان، قم و مرکزی از جنوب به استان فارس از شرق استان یزد و از غرب به استان‌های لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد محدود می‌شوند. شکل 1 موقعیت و نقشه کاربری استان اصفهان را نشان می‌دهد (11، 35).

بالایی وجود دارد. زمانی NPP بالا خواهد بود که بارندگی در طول سال زیاد باشد و هنگامی که بارندگی کم باشد NPP نیز کم خواهد بود. بنابراین کارایی مصرف بارش (RUE) پوشش گیاهی، که نسبت NPP به بارندگی است در تجزیه و تحلیل روند پوشش گیاهی و ارزیابی تخریب زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (30). بررسی‌های جدید به‌طورکامل نشان داده است که NDVI و RUE برای ارزیابی تخریب بسیار مؤثر هستند (8، 9 و 17). اگرچه RUE و NDVI هر دو به‌طور جداگانه برای ارزیابی شرایط بوم‌نظام کافی هستند (25، 33).

یک روش جدید باید به‌صورت پیشرفته تخریب در ساختار و عملکرد بوم‌نظام مانند کاهش تولید در نتیجه کاهش بارش، تأثیر آن بر خصوصیات بوم‌نظام و ساختار و عملکرد را به‌درستی تشخیص دهد. با وجود این، این روش باید به راحتی رابطه بین NDVI و RUE را تشخیص دهد، که این رابطه ممکن است یک ایده جدید برای درک شرایط و روند در بوم‌نظام ارائه دهد. هدف از مطالعه حاضر ارزیابی تخریب اراضی در استان اصفهان با بررسی روند زمانی شاخص RUE و NDVI است.



شکل 1. موقعیت جغرافیایی و نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه

## انتخاب داده‌ها و جمع‌آوری داده‌های ماهواره‌ای

در این پژوهش برای بررسی تخریب اراضی در ابتدا به‌منظور بررسی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی NDVI استفاده شد.

بر این اساس داده‌های ماهواره‌ای با کد MOD13A3 از محصولات سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر تهیه شد. این تصاویر، به‌صورت ماهانه تولید شده و بر روی سایت سنجش‌ازدوری زمین‌شناسی آمریکا گذاشته می‌شود. در مرحله دوم برای برآورد کارایی مصرف بارش که نسبت بین تولید خالص اولیه به بارندگی است، ابتدا داده‌های ماهواره‌ای مربوط به تولید خالص اولیه با کد MOD17A3 و با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر، که از محصولات سنجنده MODIS بوده و به‌صورت سالانه بر روی سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده گذاشته می‌شود، تهیه و سپس داده‌های بارندگی با گام زمانی ماهانه از سازمان هواشناسی دریافت شد. داده‌های ماهواره‌ای مودیس ذکرشده مربوط به سری‌های زمانی سال‌های 2001-2014 از سایت [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov) و داده‌های بارش نیز برای بازه 2001-2014 از پایگاه سازمان هواشناسی کشور تهیه شد.

## استخراج نقشه‌های مربوط به شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

پس از انجام پردازش‌های اولیه و تصحیحات لازم بر روی تصاویر و داده‌های گرفته شده از سایت مذکور داده‌های شاخص مورد نیاز (NDVI) با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.1 آماده پردازش شد. در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی شاخص NDVI برای آماده‌کردن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به‌کار گرفته می‌شود. این شاخص، به واسطه مبتنی‌بودن بر میزان تراکم پوشش گیاهی سبز، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی و پایش میزان تخریب اراضی است؛ زیرا شدت تخریب سرزمین و بیابان‌زایی در ارتباط مستقیم با کمیت و کیفیت

پوشش گیاهی است. این شاخص از رابطه (1) محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \quad (1)$$

در این فرمول، NIR بازتابندگی در باند مادون قرمز نزدیک و R بازتابندگی در باند قرمز است. دامنه تغییرات این شاخص بین 1 و -1 متغیر است. ابرها، برف و آب کم‌ترین مقدار و پوشش گیاهی سبز بیش‌ترین مقدار شاخص NDVI را در پدیده نشان می‌دهند. گیاهان سبز، مقادیر شاخص بالایی را نشان خواهند داد، به‌طوری‌که هر چه شاخص به سمت -1 نزدیک‌تر می‌شود تخریب پوشش گیاهی در منطقه بیشتر است، آب مقادیر منفی و خاک برهنه مقادیری نزدیک به صفر این شاخص دارد (22).

در ادامه این مرحله ابتدا مرز منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه‌های پوشش گیاهی هر سال ماسک شد. سپس برای بررسی میزان کاهش و افزایش پوشش گیاهی بین سال‌های مختلف، به بررسی اختلاف بین سال‌های مذکور با هم در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 پرداخته شد. همچنین برای بررسی دقیق‌تر تغییرات پوشش گیاهی این تغییرات در کاربری‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

## شاخص کارایی مصرف بارش (RUE)

در مرحله بعد شاخص کارایی مصرف بارش به‌دست آمد که این شاخص برای نشان‌دادن تخریب واقعی زمین، از طریق نرمال‌کردن بارندگی متنوع، به‌طور گسترده برای اندازه‌گیری تخریب زمین پیشنهاد شده است (23، 24).

برای محاسبه این شاخص پس از انجام پردازش‌های اولیه و تصحیحات لازم بر روی تصاویر و داده‌های گرفته‌شده از سایت یادشده، داده‌های شاخص NPP برحسب کیلوکربن بر مترمربع در سال تهیه شد؛ سپس با کدنویسی در نرم‌افزار متلب 2014 برای استفاده در نرم‌افزار ENVI 5.1 آماده پردازش شدند.

شرق، شمال، شمال‌شرق تا حدودی نواحی مرکزی و افزایش آن در قسمت غرب و جنوب‌غرب است. مقادیر مثبت شاخص نشان‌دهنده کاهش در پوشش گیاهی و مقادیر منفی نشان‌دهنده افزایش در آن می‌باشد.

بر این اساس تغییر ارزش میانگین تغییرات پوشش گیاهی در دوره‌های مورد نظر به این صورت است:

در سال 2001-2002 شکل (2-الف) (بیشترین ارزش 0/0616 و کمترین ارزش 0/3263-)، 2003-2002 شکل (2-ب) (بیشترین ارزش 0/5045 و کمترین ارزش 0/1456-)، 2004-2003 شکل (2-پ) (بیشترین ارزش 0/1126 و کمترین ارزش 0/397-)، 2005-2004 شکل (2-ت) (بیشترین ارزش 0/1881 و کمترین ارزش 0/1026-)، 2006-2005 شکل (2-ج) (بیشترین ارزش 0/0854 و کمترین ارزش 0/2319-)، 2007-2006 شکل (2-ح) (بیشترین ارزش 0/126 و کمترین ارزش 0/1056-)، 2008-2007 شکل (2-س) (بیشترین ارزش 0/2816 و کمترین ارزش 0/1432-)، 2009-2008 شکل (2-ش) (بیشترین ارزش 0/1379 و کمترین ارزش 0/2033-)، 2010-2009 شکل (2-ط) (بیشترین ارزش 0/1148 و کمترین ارزش 0/1837-)، 2011-2010 شکل (2-ظ) (بیشترین ارزش 0/3768 و کمترین ارزش 0/2344-)، 2012-2011 شکل (2-ع) (بیشترین ارزش 0/1253 و کمترین ارزش 0/1775-)، 2013-2012 شکل (2-غ) (بیشترین ارزش 0/1478 و کمترین ارزش 0/1479-)، 2014-2013 شکل (2-و) (بیشترین ارزش 0/1244 و کمترین ارزش 0/0820-).

با توجه به ارزش‌های گفته‌شده در بالا بیشترین تغییر در میانگین شاخص NDVI (0/5045) در سال 2002-2003 و کمترین آن (0/2319-) در سال 2010-2011 مشاهده شد (شکل 2). با توجه به شکل (2) پوشش گیاهی در شرق، شمال‌شرقی و تا حدودی قسمت‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه تغییر چندانی نداشته است. این در حالی است که کاربری این مناطق بیشتر مراتع کم‌تراکم و اراضی بیابانی است و بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. با توجه

در مرحله بعد برای به‌دست‌آوردن بارش منطقه مورد مطالعه، از روش پهنه‌بندی کریجینگ بهره‌گیری شد.

در پایان برای به‌دست آوردن شاخص کارایی مصرف بارش از نسبت بین تولید خالص اولیه سالانه به بارش میانگین همان سال در بازه زمانی 2001-2014 استفاده شد.

برای بررسی دقیق‌تر این شاخص در بازه زمانی یاد-شده مقدار تغییرات آن در کاربری‌های مختلف استان اصفهان و رابطه رگرسیونی بین این شاخص و بارش مورد بررسی قرار گرفت.

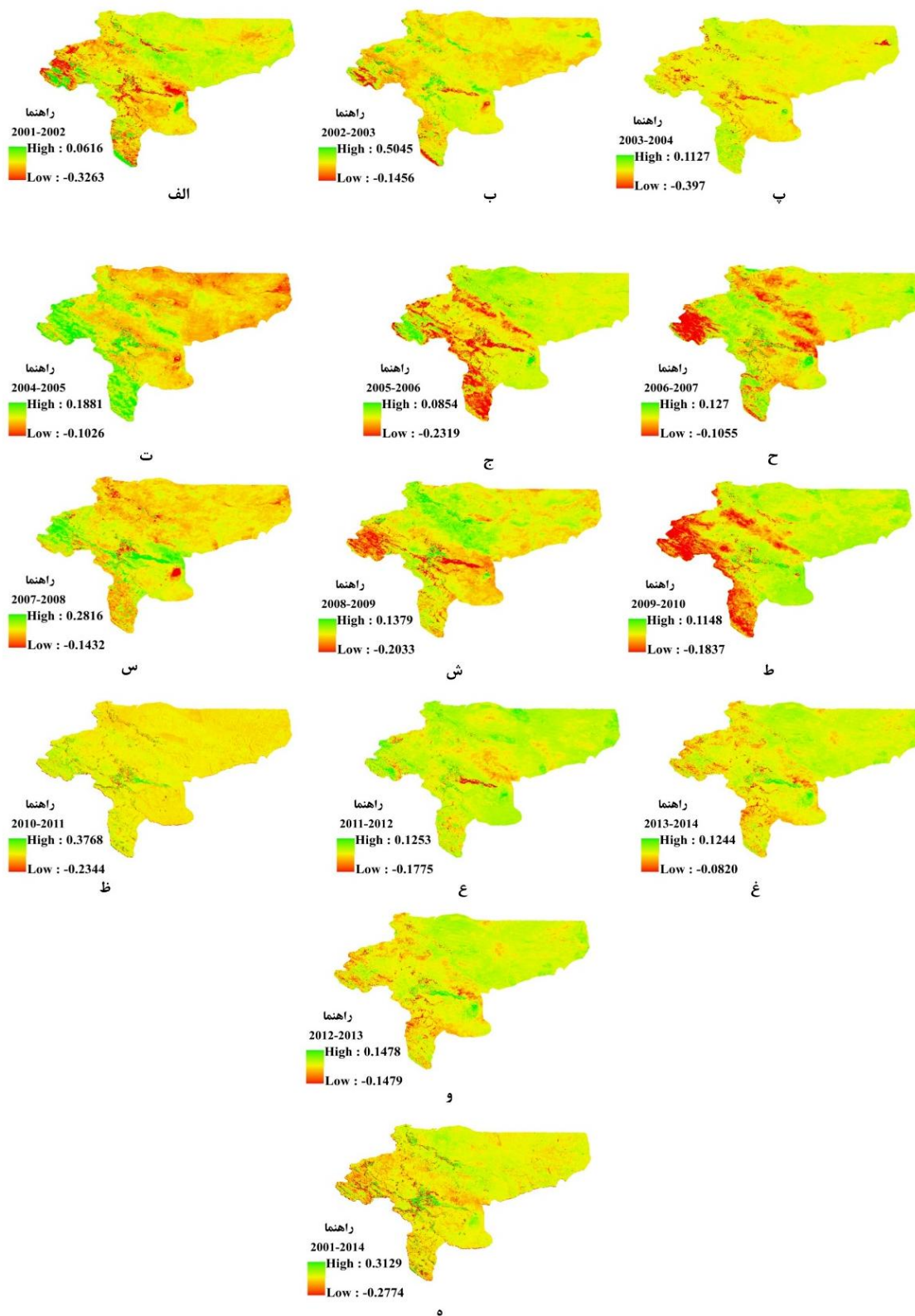
### بررسی تخریب اراضی

به‌منظور بررسی و ارزیابی تخریب اراضی به تحلیل روند تغییرات دو شاخص NDVI و RUE در کاربری‌های مختلف در بازه زمانی 2001-2014 با استفاده از رابطه رگرسیونی پرداخته شد.

### n نتایج و بحث

بر پایه شکل 1 بیشتر مساحت استان اصفهان را اراضی کشاورزی و مراتع با 72 درصد و 28 درصد بقیه را سایر کاربری‌ها در برمی‌گیرند (29). شکل (2) تغییرات میانگین شاخص NDVI را در بازه زمانی 2001-2014 نشان می‌دهد که از سال 2001-2002 شکل (2-الف) میزان پوشش گیاهی در قسمت‌های شمال شرقی، مرکزی، شمال و قسمتی از جنوب منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است؛ همچنین در قسمت‌های غرب و تا حدودی قسمت شرق استان اصفهان میزان پوشش گیاهی افزایش یافته است. با این حال پوشش گیاهی در سال 2013-2014 شکل (2-و) در قسمت‌های شرق، شمال و شمال‌شرق کاهش یافته است و افزایش آن را می‌توان در قسمت‌های جنوب، غرب و قسمت‌های مرکزی استان مشاهده کرد. آخرین تصویر در شکل (2-ه) (2001-2014) نشان‌دهنده میانگین تغییرات در ارزش پوشش گیاهی (بیشترین ارزش 0/3129 و کمترین ارزش 0/2774-) است. علاوه بر آن بیان‌کننده تخریب در قسمت‌های

به (شکل 2-ه) می‌توان نتیجه گرفت پوشش گیاهی در استان اصفهان به شدت کاهش یافته است.

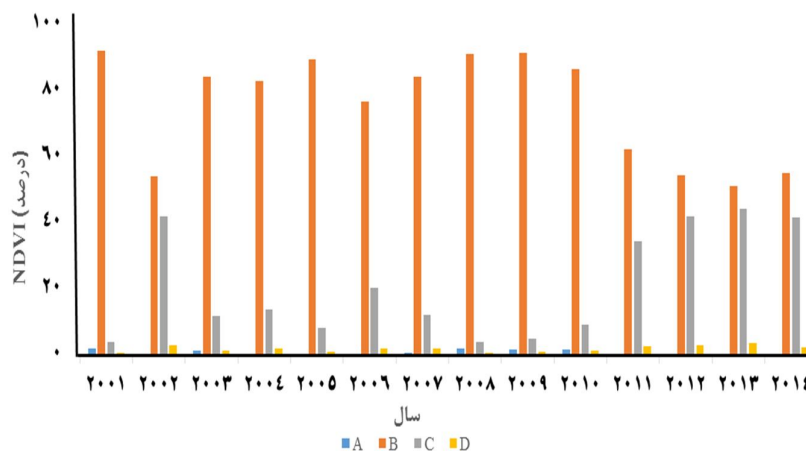


شکل 2. تغییرات میانگین شاخص NDVI در بازه زمانی 2001-2014

به حدود 88 درصد افزایش یافته است؛ از طرفی دیگر مساحت طبقه‌های C و D روند کاهشی داشته و به ترتیب از 23 درصد به حدود 12 درصد کاهش یافته است. از سال 2011 تا سال 2013 روند کاهشی در طبقه‌های A و B مشاهده شده، به طوری که 63 به 52 درصد کاهش یافته است در حالی که طبقه‌های C و D در این بازه زمانی روند افزایش را نشان داده‌اند و از 37 درصد به 49 درصد رسیده‌اند؛ ولی در سال 2014 میزان طبقه‌های A و B افزایش و طبقه‌های C و D کاهش یافته است.

با توجه به نتایج بالا می‌توان نتیجه گرفت که روند پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه به سرعت و شدت در بازه زمانی یادشده کاهش یافته است. علاوه بر آن می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین تغییر مثبت بین سال 2001 و 2002 و 2011 تا 2013 رخ داده است. همچنین در کل روند تغییرات مثبت کم و تغییرات منفی بسیار دیده شد، که این بدان معنی است که در بازه زمانی 2001-2014 تخریب زمین افزایش یافته است. با توجه به اینکه آستانه تحمل گیاهان به تغییرات کاملاً پایین است، می‌توان تخریب در پوشش گیاهی را به‌عنوان شاخصی مشهود بر تخریب استفاده کرد(12).

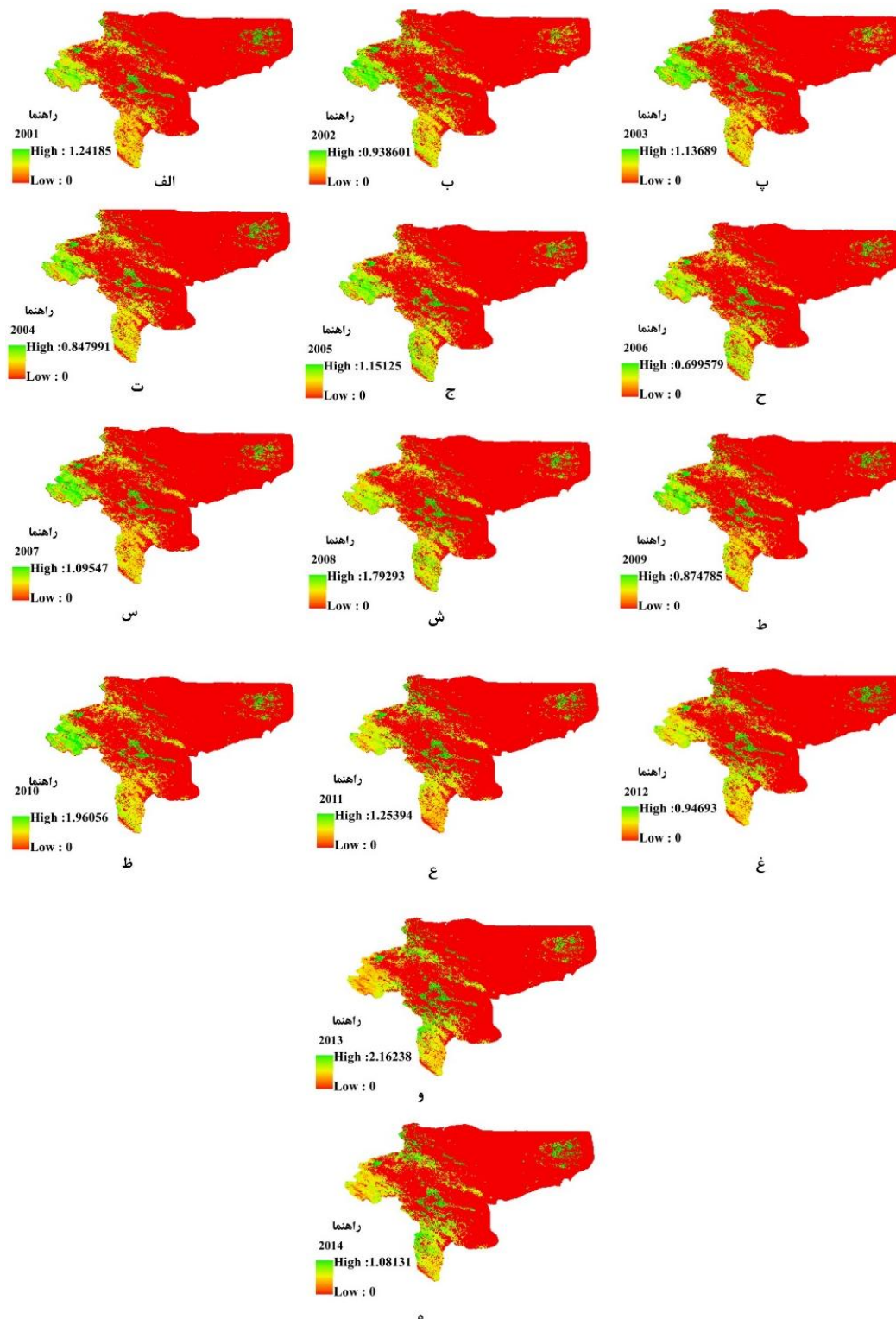
برای تجزیه و تحلیل بهتر تغییرات NDVI در هر سال و بین سال‌های مختلف درصد تغییرات این شاخص در طبقه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. این تغییرات در چهار طبقه (A, 0-0/1)، (B, 0/1-0/2)، (C, 0/3-0/2) و (D, >0/3) تقسیم‌بندی شد. شکل (3) تغییرات NDVI را در بازه زمانی 2001-2014 در چهار طبقه ذکر شده نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در سال 2002 و 2001 به ترتیب حدود 94 و 54 درصد از منطقه در طبقه A و B و حدود 6 و 46 درصد در طبقه‌های c و d قرار گرفته‌اند که می‌توان نتیجه گرفت که از سال 2001-2002 پوشش گیاهی بهبود یافته است، از سال 2002 تا سال 2005 طبقه A و B درصد مساحت بیشتری از منطقه را به خود اختصاص داده که میزان آن به ترتیب از 54 درصد به حدود 91 درصد رسیده است؛ پس می‌توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی در این بازه زمانی به شدت کاهش یافته است. بین سال‌های 2005 و 2006 تا حدودی بهبود پوشش گیاهی مشاهده شده، به طوری که درصد مساحت طبقه A و B به ترتیب از 91 درصد به 77 درصد کاهش و طبقه C و D نیز به ترتیب از حدود 9 درصد به 23 درصد افزایش یافته است. از سال 2005 تا سال 2010 روند افزایش مساحت در طبقه‌های A و B دیده شده، به طوری که از 77 درصد



شکل 3. درصد تغییرات مساحت NDVI 2001 - 2010 در چهار طبقه (A, 0-0/1)، (B, 0/1-0/2)، (C, 0/3-0/2) و (D, >0/3)

در بازه زمانی 2001-2014 برحسب گرم کربن در سال  
بر میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. (شکل 4).

محاسبه کارایی مصرف بارش در بازه زمانی 2001-2010  
برای تجزیه و تحلیل تغییرات پوشش گیاهی و بررسی  
تأثیرات بارندگی بر پوشش گیاهی، روند تغییرات RUE

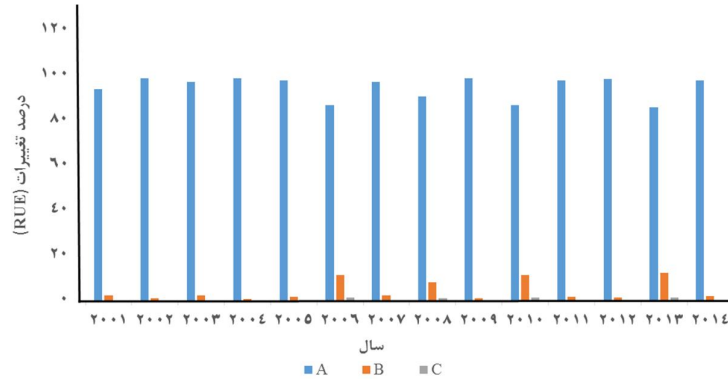


شکل 4. شاخص RUE در بازه زمان 2001-2014



A روند کاهشی داشته، به طوری که از حدود 95 درصد به 87 درصد رسیده است ولی طبقه B و C از 4/5 و 0/5 درصد در سال 2005 به ترتیب در سال 2010 به 11/3 و 1/7 درصد افزایش یافته است. از سال 2011 تا 2013 نیز روند کاهشی در طبقه A مشاهده شده، به طوری که از 98 درصد به 85 درصد کاهش یافته است؛ این در حالی است که روند افزایشی در دو طبقه B و C در این بازه زمانی دیده می‌شود، به طوری که به ترتیب 1/9 و 0/1 در سال 2011 به 12 و 3 درصد در سال 2013 رسیده است. همچنین در سال 2014 طبقه A افزایش یافته و به حدود 97 رسیده است در حالی که دو طبقه B و C کاهش یافته و به ترتیب 2/1 و 0/9 درصد رسیده است.

برای بررسی دقیق تغییرات RUE در بازه زمانی مورد نظر در منطقه مورد مطالعه به بررسی درصد تغییرات آن در طبقه‌های مختلف پرداخته شد (شکل 5). این شکل درصد تغییرات RUE را در 3 طبقه (A، 0-0/3)، (B، 0/3-0/6) و (C، >0/6) نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود از سال 2001 تا سال 2005 درصد تغییرات RUE در طبقه A روند افزایشی داشته، به طوری که از 95 درصد به 96/5 درصد رسیده است، این در حالی است که دو طبقه B و C در این بازه زمانی روند کاهشی داشته است و به ترتیب از 4/5 و 0/5 درصد در سال 2001 به 2/8 و 0/2 درصد در سال 2005 کاهش یافته است. همچنین از سال 2005 تا 2010 درصد تغییرات در طبقه

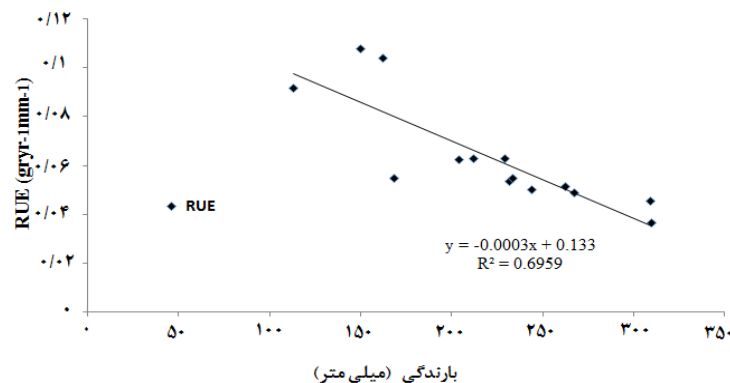


شکل 5. درصد تغییرات RUE در بازه زمانی 2001-2014 در 3 طبقه (A، 0-0/3)، (B، 0/3-0/6) و (C، >0/6)

بازه زمانی همبستگی منفی وجود دارد، به طوری که با افزایش بارندگی در طول این بازه زمانی مقدار RUE کاهش می‌یابد.

### رابطه RUE و بارندگی

شکل (6) نشان‌دهنده رابطه میانگین RUE سالانه با میانگین بارندگی سالانه در بازه زمانی 2001-2010 است. بر اساس این شکل بین RUE و بارندگی در این

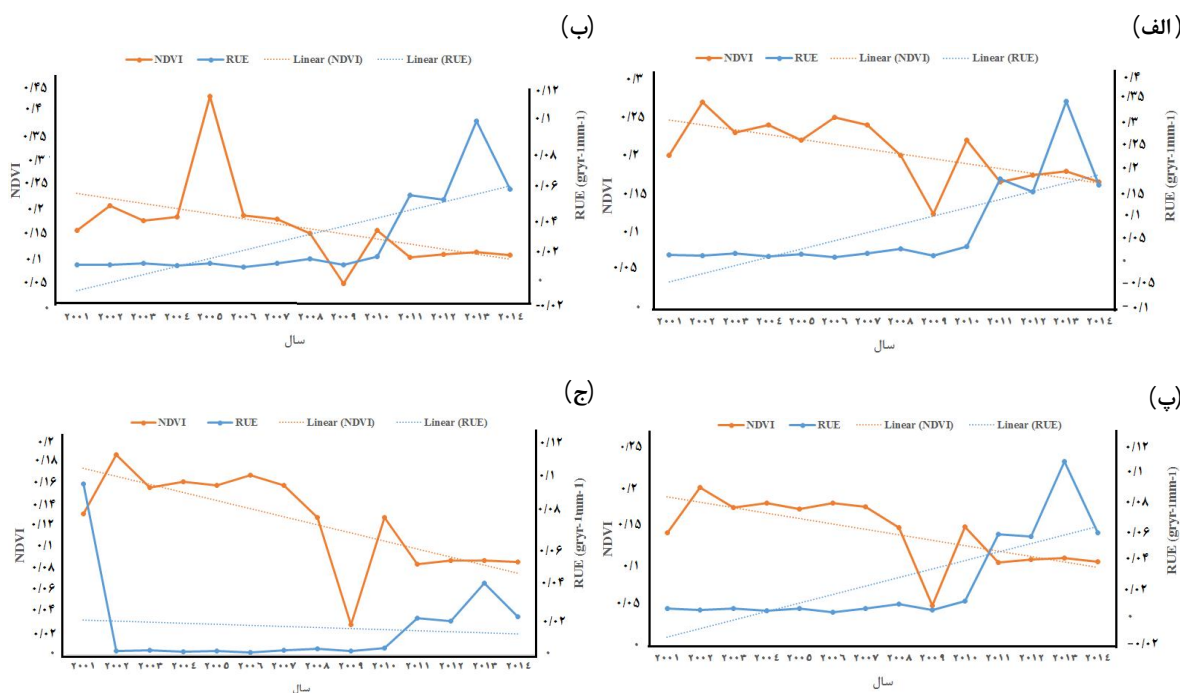


شکل 6. رابطه بین میانگین سالانه RUE و بارش میانگین سالانه در بازه زمانی 2001-2014

مورد مطالعه در بازه زمانی 2001-2014 نشان می دهد. این در شکل قسمت های (الف، ب و پ) نشان می دهند که روند RUE در این اراضی افزایشی و روند NDVI کاهش یافته است. همچنین شکل 8 (ج) نشان دهنده روند کاهشی در هر دو شاخص RUE و NDVI در اراضی بیابانی است.

## ارزیابی تخریب اراضی با استفاده از دو شاخص RUE و NDVI

برای بررسی تخریب اراضی در منطقه مورد مطالعه به بررسی تغییرات روند NDVI و RUE در کاربری های مختلف در بازه زمانی 2001-2014 پرداخته شد (شکل 8). شکل 8 (الف، ب، پ و ج) روند NDVI و RUE را در اراضی کشاورزی، مرتعی، جنگلی و بیابانی در منطقه



شکل 7. رابطه رگرسیونی بین RUE و NDVI در چهار کاربری کشاورزی (الف)، مرتع (ب)، جنگل (پ) و بیابان (ج)

تاحدودی قسمت های مرکزی منطقه مورد مطالعه تغییر چندانی نداشته است. این در حالی است که کاربری این مناطق بیشتر اراضی بایر و مراتع کم تراکم است و بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است. با توجه به (شکل 3) می توان نتیجه گرفت پوشش گیاهی در استان اصفهان به شدت کاهش یافته است. علاوه بر آن می توان نتیجه گرفت که بیشترین تغییر مثبت بین سال 2001 و 2002 و 2011 تا 2013 رخ داده است. در کل روند تغییرات مثبت کم و تغییرات منفی بسیار دیده شد؛ یعنی در بازه زمانی 2001-2010 تخریب زمین افزایش یافته است. با توجه به اینکه آستانه تحمل گیاهان نسبت به تغییرات کاملاً پایین است پس می توان تخریب در پوشش گیاهی را به عنوان شاخصی مشهود بر تخریب

## بحث و نتیجه گیری

مدیریت و اجرای عملیات احیایی برای پایش و ارزیابی محیط های در حال تغییر بسیار حائز اهمیت است (4، 16). با توجه به حساس بودن بوم نظام های مناطق خشک و همچنین حالت بی ثبات و ناپایدار آنها این بوم نظام های در حال تغییر مناطق خشک معمولاً بوم نظام های حساسی دارند که دائماً در حال تغییرند. سیستم های مناطق خشک وضعیت ثابت و پایداری ندارند و اغلب در شرایط مختلف وضعیت های اکولوژیکی، تفاوت خود را نشان می دهند (26). پوشش گیاهی از اساسی ترین ابزارهای ارزیابی این محیط ها به شمار می رود (12، 13). با توجه به شکل (3) پوشش گیاهی در شرق، شمال شرقی و

استفاده کرد (14). نتایج نشان داد که روند NDVI در منطقه مورد مطالعه افزایشی بوده و این افزایش تا سال 2008 در بارندگی نیز دیده شده ولی از سال 2008 تا 2013 این روند معکوس شده است. در حالت کلی بین بارندگی و NDVI در طول دوره 2001-2010 همبستگی مثبت مشاهده شد. از آنجاکه NDVI به شدت تحت تأثیر بارندگی است، برای کم کردن اثر بارندگی از شاخص RUE استفاده شد. بدین منظور به تجزیه و تحلیل روند RUE در بازه زمانی (2001-2014) پرداخته شد. این تجزیه و تحلیل نشان داد که در این بازه زمانی روند RUE در منطقه مورد مطالعه افزایشی بوده است، از طرفی در این بازه زمانی، بارندگی روند کاهشی داشته است. همچنین رابطه رگرسیونی بین RUE و بارندگی همبستگی منفی و معنی‌دار بین این دو پارامتر نشان داد که با نتایج ولسز و همکاران (2008) مطابقت داشته است؛ حداکثر وحدافل میانگین سالانه RUE به ترتیب در سال 2010 و 2006 است. از طرفی دیگر حداکثر و حداقل میانگین بارندگی سالانه به ترتیب در سال 2006 و 2010 است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات مکانی RUE با بارش به صورت قابل توجهی روند کاهشی داشته است که با نتایج هاکسمن و همکاران (16) هم‌خوانی داشته است؛ به طوری که نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که در سراسر آمریکای شمالی، زمانی که میانگین گرادیان بارش سالانه افزایش پیدا کرده RUE کاهش یافته است. برای بررسی تخریب اراضی در بازه زمانی (2001-2014) مقایسه رابطه رگرسیونی بین دو شاخص NDVI و RUE در کاربری‌های مختلف (اراضی کشاورزی، مرتعی، جنگلی و بیابانی) منطقه مورد مطالعه نشان داد که روند RUE در کاربری‌های کشاورزی، مرتع، جنگل افزایشی بوده، به طوری که در سال 2001 مقدار این شاخص در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب (0/017، 0/0051 و 0/006) و در سال 2014 به (0/170، 0/052 و 0/060) گرم کربن بر متر مربع در سال بر میلی‌متر می‌رسد. روند NDVI در این بازه زمانی کاهشی بوده است، به طوری که مقدار این شاخص نیز در سال 2001 به ترتیب در کاربری‌های یادشده (0/2،

0/142 و 0/149) و در سال 2014 به (0/16، 0/099 و 0/106) می‌رسد. در اراضی بیابانی روند این دو شاخص کاهشی بوده است، به طوری که مقدار شاخص RUE در سال 2001 در این کاربری (0/097) و در سال 2014 به (0/0213) گرم کربن بر متر مربع در سال بر میلی‌متر کاهش داشته است. بر طبق نتایج لی و همکاران (۱۹) زمانی که شاخص RUE نشان‌دهنده روند افزایشی و شاخص NDVI روند کاهشی را نشان دهد، بیانگر این است که بوم‌نظام در حال تخریب است و این بدان معنی است که شاخص‌های تخریب بوم‌نظام، مانند تولید، در حال کاهش است نه اینکه ساختار و عملکرد بوم‌نظام تخریب یافته است. از طرفی دیگر اگر هر دو شاخص RUE و NDVI روند کاهش را نشان دهند نمایانگر این است که کاهش NDVI ناشی از کاهش یا افزایش بارندگی است، در نتیجه بوم‌نظام در حال تخریب است و به این معنی است که کاهش تولید ممکن است ناشی از تخریب ساختار بوم‌نظام باشد؛ نه به دلیل کاهش بارندگی، که نتایج این پژوهش تأییدی بر نتایج آنهاست. در حالت کلی نتایج نشان داد که با حذف تأثیر بارندگی بوم‌نظام‌ها هنوز در حال تغییر هستند. با این حال ارزیابی تخریب بوم‌نظام بر اساس NDVI و RUE نیز نیاز به بهبودسازی دارد. پیشنهاد می‌شود که:

الف- در پژوهش حاضر روند عمومی NDVI و RUE با استفاده از مدل رگرسیون خطی ساده برازش داده شد؛ تغییرات NDVI و RUE در مقیاس زمانی خیلی پیچیده خواهد شد. پیشنهاد می‌شود در این مورد برای بررسی روندها به جای رگرسیون خطی با سایر روش‌های مناسب نیز بررسی شود.

ب- اطلاعات مکانی و زمانی در این مطالعه برای بررسی روند زمانی و مکانی تغییرات و تجزیه و تحلیل داده‌ها کافی نیست در نتیجه ارزش کاربردی ارزیابی بوم‌نظام را محدود می‌کند. ارزیابی تخمین تخریب بوم‌نظام در منطقه مورد نظر برای آینده نزدیک به دست آمد؛ پس باید نتایج این مدل نیز از طریق مقایسه نتایج حاصل از این روش با روش‌های دیگر اعتبارسنجی شود.

## References

1. Adger, W. N., Benjaminsen, T. A., Brown, K., & Svarstad, H. (2001). Advancing a political ecology of global environmental discourses. *Development and change*, 32(4), 681-715
2. Anyamba, A., & Tucker, C. (2005). Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981–2003. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 596-614.
3. Bai, Z.G., Dent, D.L., Olsson, L., & Schaepman, M.E. (2008). Proxy global assessment of land degradation. *Soil use and management*, 24(3), 223-234.
4. Cousins, S.A., & Lindborg, R. (2004). Assessing changes in plant distribution patterns—indicator species versus plant functional types. *Ecological Indicators*, 4(1), 17-27.
5. Dregne, H., Kassas, M., & Rozanov, B. (1991). A new assessment of the world status of desertification. *Desertification Control Bulletin*, (20), 6-18.
6. Dregne, H.E. (2002). Land degradation in the drylands. *Arid land research and management*, 16(2), 99-132.
7. Eckert, S., Hüsler, F., Liniger, H., & Hodel, E. (2015). Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 113, 16-28.
8. Fensholt, R., & Rasmussen, K. (2011). Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 438-451.
9. Fu, X., Tang, C., Zhang, X., Fu, J., & Jiang, D. (2014). An improved indicator of simulated grassland production based on MODIS NDVI and GPP data: A case study in the Sichuan province, China. *Ecological Indicators*-108-102, 40.
10. Guo, N., Zhu, Y., Wang, J., & Deng, C. (2008). The relationship between NDVI and climate elements for 22 years in different vegetation areas of northwest China. *Journal of Plant Ecology*, 32(2), 319-327.
11. H.Eskandari Damaneh(1394). *Mapping sensitive areas to land degradation based on satellite data at regional scale* Master of Scienc, Isfahan University of Technology: Department of Natural resources IRAN (In Farsi).
12. Hanafi, A., & Jauffret, S. (2008). Are long-term vegetation dynamics useful in monitoring and assessing desertification processes in the arid steppe, southern Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 72(4), 557-572.
13. Helldijn, U., & Tottrup, C. (2008). Regional desertification: A global synthesis. *Global and Planetary Change*, 64(3), 169-176.
14. Holland, D. A., Sanchez-Hernandez, C., & Gladstone, C. (2008, July). Detecting changes to topographic features using high resolution imagery. In *Proceedings of the ISPRS Conference, Commission VI, WG VI/4, Beijing*.
15. Hu, Z., Yu, G., Fan, J., Zhong, H., Wang, S., & Li, S. (2010). Precipitation-use efficiency along a 4500-km grassland transect. *Global Ecology and Biogeography*, 19(6), 842-851.
16. Huxman, T.E., Smith, M.D., Fay, P.A., Knapp, A.K., Shaw, M.R., Loik, M.E., Smith, S.D., Tissue, D.T., Zak, J.C., & Weltzin, J.F. (2004). Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature*, 429(6992), 651-654.
17. Jabbar, M., Zhi-Hua, S., Tian-Wei, W., & Chong-Fa, C. (2006). Vegetation change prediction with geo-information techniques in the three gorges area of China. *Pedosphere*, 16(4), 457-467.
18. Li, H., Liu, G., & Fu, B. (2011). Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region. *Shengtai Xuebao/Acta Ecologica Sinica*, 31(19), 5495-5504.

19. Li, H., Wei, X., & Zhou, H. (2015). Rain-use efficiency and NDVI-based assessment of karst ecosystem degradation or recovery: a case study in Guangxi, China. *Environmental Earth Sciences*, 74(2), 977-984.
20. Li, X., Wang, H., Wang, J., & Gao, Z. (2015). Land degradation dynamic in the first decade of twenty-first century in the Beijing–Tianjin dust and sandstorm source region. *Environmental Earth Sciences*, 74(5), 4317-4325.
21. Nicholson, S. (2005). On the question of the “recovery” of the rains in the West African Sahel. *Journal of Arid Environments*, 63(3), 615-641.
22. Nicholson, S.E., Tucker, C.J., & Ba, M. (1998). Desertification, drought, and surface vegetation: an example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(5), 815-829.
23. Pandey, A., & Sahu, A. (2002). *Generation of curve number using remote sensing and geographic information system*, Water Resources, Map India Conference.
24. Prince, S., Becker-Reshef, I., & Rishmawi, K. (2009). Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 1046-1057.
25. Prince, S.D., Colstoun, D., Brown, E., & Kravitz, L. (1998). Evidence from rain-use efficiencies does not indicate extensive Sahelian desertification. *Global Change Biology*, 4(4), 359-374
26. Prince, S. D., Wessels, K. J., Tucker, C. J., & Nicholson, S. E. (2007). Desertification in the Sahel: a reinterpretation of a reinterpretation. *Global Change Biology*, 13(7), 1308-1313.
27. Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E., & D'Odorico, P. (2010). Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. *Geomorphology*, 116(3), 236-245.
28. Reynolds, J.F., & Stafford Smith, D. (2002). Do humans cause deserts. *Global desertification: do humans cause deserts*, 1-21.
29. Symeonakis, E., & Drake, N. (2004). Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 25(3), 573-592.
30. Stringer, L. (2008). Can the UN Convention to Combat Desertification guide sustainable use of the world's soils?. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(3), 138-144.
31. Wang, H. Y., Li, Z. Y., Gao, Z. H., Wu, J. J., Sun, B., & Li, C. L. (2014). Assessment of land degradation using time series trend analysis of vegetation indicators in Otindag Sandy land. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 17, No. 1, p. 012065). IOP Publishing.
32. Wang, J., Rich, P., & Price, K. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*, 24(11), 2345-2364.
33. Wessels, K., Prince, S., Frost, P., & Van Zyl, D. (2004). Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 91(1), 47-67.
34. Wessels, K., Prince, S., Malherbe, J., Small, J., Frost, P., & VanZyl, D. (2007). Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. *Journal of Arid Environments*, 68(2), 271-297.
35. Yao, J., He, X., Li, X., Chen, W., & Tao, D. (2012). Monitoring responses of forest to climate variations by MODIS NDVI: a case study of Hun River upstream, northeastern China. *European Journal of Forest Research*, 131(3), 705-716.
36. Yousefi, M., Mirzaee, Sh., And M. Norouzi; Climatic zoning of the province using geographic (GIS). *Geomatics Conference 90*, National Cartographic Center, Tehran. (In Farsi).

## **Assessment of land degradation indices obtained from remote sensing data**

H. Eskandari Damaneh<sup>1\*</sup>, R. Jafari<sup>2</sup>, S. Soltani Koupai<sup>3</sup>

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
  2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
  3. Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- \* Corresponding Author: hadi.eskandari@na.iut.ac.ir

Received date: 20/02/2017

Accepted date: 20/09/2017

### **Abstract**

In this study, land degradation in Isfahan province in the period of 2001 - 2014 was monitored using trends analysis in terms of two indices of NDVI and RUE. To do this, MODIS satellite images with MOD13A2 code was used to investigate the vegetation degradation and for calculating the RUE, which is obtained from the NPP to rainfall ratio. The MODIS images with MOD17A3 code was used to calculate NPP and Kriging method was applied for obtaining rainfall map. The results showed that NDVI had an increasing trend while RUE had a decreasing trend based on annual rainfall. Evaluation of land degradation in the time period (2001-2014) and comparing the regression relationship between the two indices of NDVI and RUE in different land uses (agriculture, rangeland, forest and desert) of the study area showed that RUE trend was increasing in agriculture, rangeland and forest land uses, so that in 2001, the value of this index in the mentioned land uses was 0.2, 0.142 and 0.149, respectively and 0.61, 0.099 and 0.106 in 2014. In the desert regions, the trend of the two indices was decreasing, so that the value of RUE in 2001 and 2010 was decreased by the factor of 0.097 and 0.2131 g c m<sup>2</sup> per year, respectively. Based on the results, it can be seen that the ecosystem of the study area is degrading.

**Keywords:** Vegetation cover; MODIS; Net primary production; Isfahan province