



بررسی اثرات معدن‌کاوی بر روند پوشش گیاهی در مقیاس پیکسل با استفاده از ترکیب داده‌های سنجش از دور و آزمون من-کندال در شمالغرب ایران  
مطالعه‌ی موردی: منطقه اندریان، آذربایجان شرقی  
صغری اندریانی<sup>1\*</sup>، وحید نورانی<sup>2</sup>

1- پژوهشگر و محقق پسادکتری قطب هیدروانفورماتیک، دانشکده‌ی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- استاد قطب هیدروانفورماتیک، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: 1399/08/12

وصول مقاله: 1399/06/29

### چکیده

هدف از مطالعه حاضر مانیتورینگ اثرات فعالیت‌های اکتشاف و ذوب طلا بر پوشش گیاهی منطقه‌ی اندریان در استان آذربایجان شرقی است. با توجه به اینکه در این منطقه برای ذوب طلا از روش هیپ لچینگ استفاده می‌شود، احتمال اینکه مواد شیمیایی استفاده شده در سرویس‌های ذوب در محیط زیست پخش و یا در عمق نفوذ نماید، وجود دارد. پوشش گیاهی یکی از پدیده‌هایی هست که به شدت از آلودگی محیط، به ویژه نشت و نفوذ سیانور متأثر شده و کاهش می‌یابد. بنابراین بررسی روند پوشش گیاهی می‌تواند بر چنین دغدغه‌ای پایان دهد. منطقه‌ی مورد مطالعه به سه بخش منطقه معدن‌کاوی شده، منطقه بکر و دست نخورده از لحاظ معدن‌کاوی و پایین دست منطقه اول، تقسیم و آزمون من-کندال، من-کندال دنباله‌ای و رگرسیون بین پوشش گیاهی مناطق در فرضیه‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفت. بدین منظور، داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 و 8 در بازه‌ی زمانی 1984-2019 به صورت سری زمانی و داده‌های دما و بارش در بازه‌ی زمانی 1989-2017 مورد استفاده قرار گرفت. با بکارگیری شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، تراکم پوشش گیاهی استخراج و روش آماری ناپارامتریک من-کندال در سطوح اطمینان 95 و 99 درصد در مقیاس پیکسل (هر 900 مترمربع) بر NDVI اعمال شد. سپس نقطه شروع کاهش معنی‌داری در هر سه منطقه با استفاده از آزمون من-کندال دنباله‌ای مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده‌ی عدم نفوذ مواد شیمیایی در محیط زیست است و اقلیم کنترل‌کننده‌ی تغییرات پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که به دلیل معدن‌کاوی و اکتشاف، محوطه معدن عاری از پوشش گیاهی شده است ولی می‌توان بر اساس توسعه‌ی پایدار ضمن استفاده از منابع طبیعی موجود در منطقه، به احیای پوشش گیاهی اقدام نمود. به نظر می‌آید که مانیتورینگ تأثیر معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه در آینده بسیار نزدیک و بطور مکرر بایست در اولویت پژوهشی قرار گیرد.

**کلمات کلیدی:** تأثیرات معدن‌کاوی، پوشش گیاهی، NDVI، من-کندال، ورزقان، شمالغرب ایران

### 1- مقدمه

تأثیر فعالیت‌های انسان اعم از تغییرات کاربری اراضی، رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی، دست‌اندازی در طبیعت برای استخراج معادن و غیره، بر محیط زیست و منابع آبی بر هیچ‌کس پوشیده نیست و محققان زیادی در سراسر جهان این تأثیرات را مورد بررسی قرار داده‌اند (رضایی‌مقدم و همکاران، 2014: 41-53، اندریانی<sup>1</sup> و همکاران، 2019). صنعت معدن‌کاوی به عنوان یکی از فعالیت‌های انسان، اغلب تأثیرات منفی و مخرب بر روی محیط زیست و اکوسیستم مناطق دارد (چای و سانگ<sup>2</sup>، 2016) و می‌تواند سلامت انسان‌ها و موجودات زنده دیگر اعم از حیوانات، گیاهان، خاک، آب و در کل بیوسیستم منطقه و محیط اطراف را در مقیاس محلی، منطقه‌ای و حتی جهانی تحت‌الشعاع قرار دهد. کشور ایران و به ویژه شمال‌غرب آن به جهت کانی‌های بسیار ارزشمند جزو سرمایه‌های خدادادی محسوب می‌شوند. در این بین در آذربایجان شرقی 52 نوع مواد معدنی از جمله طلا، مس، مولیبدن، منگنز و غیره شناسایی و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در این استان طلاخیز، بر طبق گفته‌های کارشناسان صنعت و معدن 411 معدن فعال وجود دارد. بنابراین مانیتورینگ دوره‌ای حداقل در مقیاس ماهانه به منظور حفاظت از محیط زیست اجتناب‌ناپذیر است. فعالیت‌های اکتشاف معدن طلای اندریان از سال 1993 شروع شده و در آن تولید طلا به روش هیپ لیچینگ صورت می‌گیرد. در این روش، پوشش گیاهی را از سطح زمین حذف کرده و منطقه مورد نظر را با شیب ملایمی مسطح می‌کنند. در مرحله‌ی بعد سطح صاف شده را با صفحه پلاستیکی و سپس آسفالت می‌پوشانند. توده‌های سنگی خرد شده در این منطقه با محلول‌های شیمیایی (لیچینگ) اسیددار مخلوط شده و مایع جاری شده در انتهای شیب ملایم جمع‌آوری می‌شود (سابراهمانیام<sup>3</sup>، 1989: 210؛ مانینگ و کاپس<sup>4</sup>، 2016: 420). روش مذکور جزو اولین تکنولوژی‌های بکار رفته در جهان است (مربوط به 500 سال پیش) که در حال حاضر نیز به دلیل مقرون به صرفه بودن در اکثر کشورها به ویژه امریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد (پترسن<sup>5</sup>، 2016: 210؛ دنپالی<sup>6</sup> و همکاران، 2019). اما بایست در نظر گرفت که در صورت رعایت نکردن اصول مهندسی و حفاظت‌های مورد نیاز این امکان وجود دارد که مواد شیمیایی در لایه‌های زیرین نفوذ کرده و یا در جهت شیب و در اثر بارندگی به رودخانه راه پیدا کند و منابع هیدرولوژیکی منطقه را به صورت محلی و منطقه‌ای آلوده سازد (بادلی<sup>7</sup>، 2009: 104). از طرفی می‌توان کاهش و از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه بویژه پایین‌دست آن را از نشانه‌های آلودگی خاک و آب قلمداد نمود. در مناطقی که معدن وجود دارد این

1- Andaryani  
2- Choi and Song,  
3- Subrahmanyam  
4- Manning & Kappes  
5- Petersen  
6- Thenepalli  
7- Boadi

بدیهی است که مساحتی از پوشش گیاهی در عملیات استخراج و تولید از بین برود ولی اگر این آسیب به جاهای دیگری غیر از محوطه معدن سرایت کند دلیلی بر نشت مواد شیمیایی در مرحله‌ی تولید ماده‌ی معدنی است.

در کل دنیا مقرون به صرفه‌ترین ابزار و فناوری برای استخراج پوشش گیاهی در سری‌های زمانی چه از لحاظ اقتصادی و چه از لحاظ زمانی، استفاده از فناوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای است (ون<sup>۱</sup> و همکاران، 2004: 265). برای استخراج تراکم پوشش گیاهی شاخص‌های مختلفی مورد مطالعه قرار گرفته است که در این بین شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) مورد تایید بسیاری از محققان جهان است (زرگر<sup>۲</sup> و همکاران، 2011: 336؛ ویسنت سرانو<sup>۳</sup> و همکاران، 2013: 54؛ نگاین<sup>۴</sup> و همکاران، 2015: 615؛ زهو<sup>۵</sup> و همکاران، 2016: 247؛ خسرویان<sup>۶</sup> و همکاران، 2018: 102).

در مطالعه‌ی حاضر، پوشش گیاهی به عنوان سیستم هشدار آلودگی محیط‌زیست در نظر گرفته شده و در بازه‌ی زمانی 36 ساله مورد بررسی و مانیتورینگ قرار گرفت و هدف از آن بررسی تاثیر معدن‌کاوی و یا به عبارت دیگر روش استفاده شده برای تولید طلا در معدن طلای اندریان واقع در آذربایجان شرقی و 70 کیلومتری تبریز، بر پوشش گیاهی منطقه است. در این مطالعه، تحلیل‌ها به صورت پیکسل به پیکسل (هر 900 مترمربع) و با استفاده از فناوری‌های سنجش از دوری و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با فرضیه‌های متفاوت و همچنین آزمون این فرض‌ها، صورت گرفته است.

## 2- مواد و روش

در مطالعه‌ی حاضر تحلیل تاثیرات معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی در چندین مرحله صورت گرفت که عبارتند از: 1- استخراج پوشش گیاهی منطقه برای 36 سال، 2- بررسی تغییرات در میانگین پوشش گیاهی در سه منطقه (معدن کاوی شده (منطقه 1)، دست‌نخورده (منطقه 2) و پایین دست معدن کاوی شده (منطقه 3)) و همبستگی بین تغییرات در مناطق نسبت به منطقه هم‌دیگر، 2- روند تغییرات سری زمانی پوشش گیاهی در هر پیکسل با استفاده از مدل آماری من-کندال در دو سطح اطمینان و در هر سه منطقه، 3- جدا سازی مناطق کاهش یافته معنی‌دار به صورت سری زمانی از نقشه‌های NDVI و تعیین نقطه شروع معنی‌داری هر

1- Wan

2- Zargar

3- Vicente-Serrano

4- Nguyen

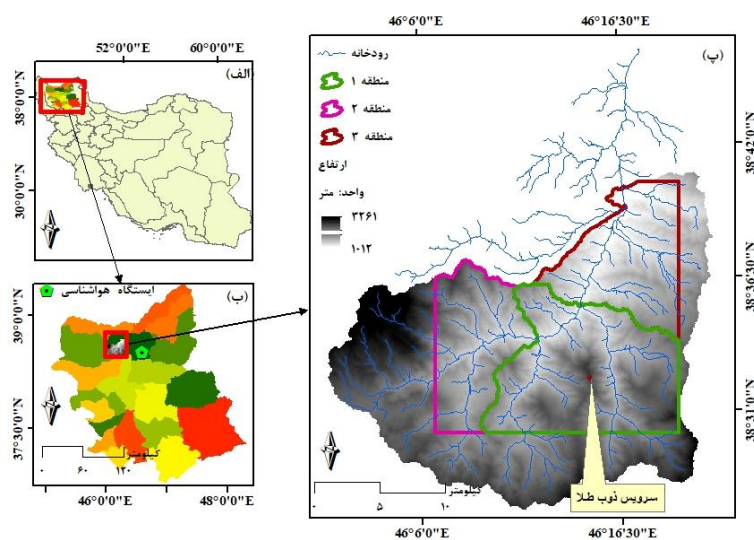
5- Zhu

6- Khosravian

منطقه با استفاده از آزمون من-کندال دنباله‌ای و مقایسه‌ی آنها، 4- آزمون همبستگی بین مقدار عددی مناطق کاهش یافته معنی‌دار به‌طور همزمان و همچنین با تأخیرهای زمانی 1 و 2 ساله، 5- جداسازی سه لکه وسیع کاهش یافته معنی‌دار در محوطه و نزدیکی معدن و اعمال آزمون همبستگی بین آنها و مناطق کاهش یافته در پایین دست منطقه معدن کاوی شده، 6- جداسازی مناطق کاهش یافته معنی‌دار در کنار رودخانه پایین دست و اعمال همبستگی بین آنها و لکه‌های وسیع به‌طور همزمان و با تأخیرهای زمانی، 7- بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی بین میانگین دما و بارش ماهانه و سالانه و تغییرات پوشش گیاهی.

#### 1-2- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در آذربایجان شرقی واقع شده و جزو زیرحوضه‌های حاجیلارچای که از رودخانه‌های کبود گنبد، حاجیلارچای و گوی‌چای تشکیل شده است، بوده و متعلق به زیرحوضه‌های قسمت غربی حوضه‌ی ارس است (شکل 1).



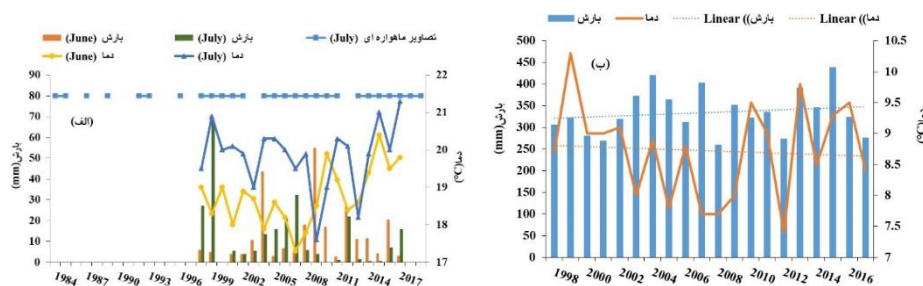
شکل (1): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The study area

رودخانه‌های فوق‌الذکر از کوه‌های قره‌داغ سرچشمه گرفته و به سمت شمال و رود ارس سرازیر می‌شود. منطقه‌ی مورد مطالعه حوضه‌ای کوهستانی بوده و دارای حداکثر و حداقل ارتفاع 3261 و 1012 متر است. رودخانه‌ی گوی‌چای در داخل منطقه‌ی مورد مطالعه جاری است.

## 2-2- داده‌های مورد استفاده

در تحلیل تأثیر معدن‌کاوی بر پوشش گیاهی، داده‌های دما و بارش در ایستگاه ورزقان (موقعیت ایستگاه در شکل 1) (ب) است) به صورت ماهانه و سالانه (1998-2017) و داده‌های ماهواره‌ای موجود در ماه جولای (1984-2019) مورد استفاده قرار گرفت (شکل 2). لازم به ذکر است که در سال 2015 به دلیل عدم وجود تصویر لندست در ماه جولای، تصویر ماه آگوست مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (2): دما و بارش ماهانه در ایستگاه ورزقان و تاریخ تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده (الف)، میانگین دمای سالانه و بارش سالانه (ب)

Fig (2): (right) The mean monthly temperature and monthly precipitation at Varzeqan station and date of satellite imagery used, (left) mean annual temperature and annually precipitation

## 2-3- مدل‌های مورد استفاده

در تحقیق حاضر، تراکم پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای به صورت سری زمانی با استفاده از شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) در ماه جولای 1984-2019 استخراج شد که شکل (2) (الف) تاریخ وجود یا عدم وجود تصاویر را نشان می‌دهد. تعداد 27 تصویر بعد از تصحیحات و استخراج NDVI، مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که با توجه به پیش نیاز بودن تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری قبل از استخراج شاخص‌های رادیومتریکی مانند NDVI (رامورا<sup>1</sup> و همکاران، 2019) پیش‌پردازش‌های مذکور قبل از پردازش تصاویر و استخراج تراکم پوشش گیاهی صورت گرفت. همچنین تصاویری برای استخراج پوشش گیاهی انتخاب گردید که هیچ گونه پوشش ابری وجود نداشتند.

این شاخص به‌طور گسترده در بازیابی خصوصیات زیستی - فیزیکی پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته و به‌عنوان یک برآوردکننده‌ی لایه‌ی پوشش گیاهی شناخته شده است (گندینی و آسونوف<sup>2</sup>، 2004).

1- Rumora  
2- Gandini & Usunoff

(170) و برای اولین بار توسط رویز<sup>1</sup> و همکاران از مرکز سنجش از دور دانشگاه تگزاس در سال 1973 بکار گرفته شد (رویز و همکاران، 1973: 310).

با بررسی روی باندهای تصاویر ماهواره‌ای مشاهده می‌شود پوشش گیاهی سالم در طیف‌های الکترومغناطیسی مادون قرمز نزدیک انعکاس بیشتری نسبت به باندهای مرئی دارند این در حالی است که آب انعکاس بیشتری در باندهای مرئی دارد. همچنین انعکاس خاک بایر تفاوت بسیار کمی در بین این دو باند دارد، هر چند در باند مادون قرمز نزدیک این انعکاس اندکی مقدار بیشتری دارد.

این شاخص از رابطه‌ی (1) محاسبه می‌شود:

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

NIR (انعکاس طیفی باند مادون قرمز نزدیک) در لندست 8 برابر باند 5 و RED (انعکاس طیفی باند قرمز) برابر باند 4 می‌باشد.

NIR (انعکاس طیفی باند مادون قرمز نزدیک) در لندست 5 برابر باند 4 و RED (انعکاس طیفی باند قرمز) برابر باند 3 می‌باشد.

با توجه به اینکه دامنه‌ی تغییرات این شاخص بین 1 و -1 می‌باشد کاهش و یا افزایش عددی در بین این دامنه‌ی مفهوم متفاوتی از پوشش را بیان می‌کند.

برای تعیین روند در پوشش گیاهی، شاخص پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، بصورت سری زمانی و بعد از پیش سفید کردن آنها، تحلیل روند به روش من-کندال در هر یک از پیکسل‌ها، صورت گرفت و همچنین برای تحلیل سال‌به‌سال و تعیین آغاز روند از روش من-کندال دنباله‌ای در نرم‌افزار متلب استفاده شد. البته لازم به ذکر است که قبل از بررسی روند نمودارهای مقادیر خودهمبستگی سری‌های زمانی برای داده‌ها ترسیم و بعد از اطمینان از تصادفی بودن داده‌ها روش مذکور مورد استفاده قرار گرفت (برای توضیحات بیشتر به منابع (لی<sup>2</sup> و همکاران، 2009: 37-39؛ و گشو<sup>3</sup>، 2012: 125) مراجعه شود):

بنابراین در یک آزمون دو دامنه‌ای برای تشخیص روند در سطح اعتماد  $a$ ، فرض صفر دال بر نبود روند در سری مشاهداتی است و در صورت عدم وجود روند این فرض رد خواهد شد.

1- Rouse  
2- Li  
3- Wagesho

مقدار مثبت تحلیل من-کندال ( $Z$ ) بیانگر روند افزایشی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده‌ی روند کاهشی می‌باشد و چنانچه مقدار آن در خارج از محدوده  $\pm 1/96$  در سطح معنی‌داری 95 درصد و  $\pm 2/58$  در سطح معنی‌داری 99 درصد قرار گرفته باشد؛ داده‌ها دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شوند (موریاسی<sup>1</sup> و همکاران، 1998: 300).

در آزمون من-کندال دنباله‌ای،  $n$  متغیر در نظر گرفته می‌شود و آماره آزمون بر پایه رتبه‌های به‌دست‌آمده برای  $n-1$  زیرنمونه‌ها برای کل نمونه  $X_1, X_2, \dots, X_n$  است. به عبارت دیگر این آزمون برای تست فرضیه‌ها درباره شروع روند در زمان، درون داده‌های  $X_1, \dots, X_n$  از مجموعه متغیرهای تصادفی  $X$  بوده و بر پایه رتبه سری پیش‌رونده ( $U_i$ ) و پس‌رونده ( $U_i'$ ) داده‌های نمونه است. بزرگی  $X_j$  سری زمانی میانگین سالانه و  $j=1, \dots, n$  با  $X_k$  مقایسه می‌شوند. جایی که  $k=1, \dots, j-1$  است. در هر مقایسه تعداد دفعاتی که  $X_j > X_k$  است با  $n_j$  نشان داده می‌شود (یانگ و تیان<sup>2</sup>، 2009: 275؛ یی<sup>3</sup> و همکاران، 2013: 210).

در تحقیق حاضر، من-کندال دنباله‌ای برای برش‌های خاصی از منطقه به منظور تحلیل تأثیر معدن‌کاوی بر پایین‌دست حوضه در نظر گرفته شد. در مرحله بعدی تحقیق آزمون همبستگی در فرضیه‌های مورد نظر مورد استفاده قرار گرفت.

### 3- یافته‌ها و بحث

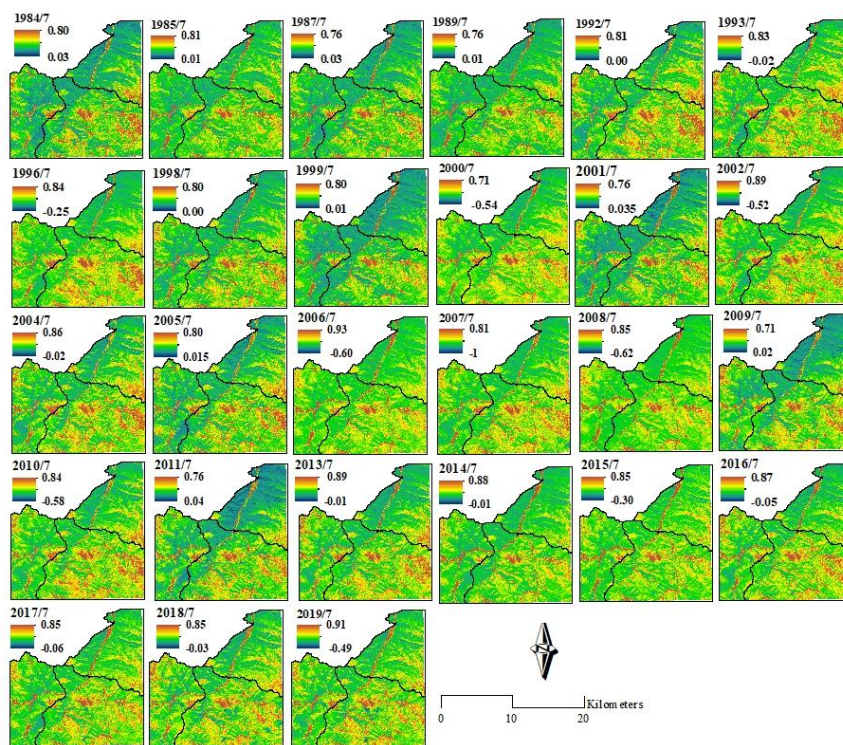
استخراج سری زمانی پوشش گیاهی در منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تعیین ممان‌های آماری از جمله میانگین و انحراف معیار و روند تغییرات با در نظر گرفتن تک تک مناطق برش داده شده در نتایج مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است. شکل 3 تراکم پوشش گیاهی را در هر یک از پیکسلها (900 مترمربع) بصورت سری زمانی نشان می‌دهد. در ماه July هر سال، حداکثر و حداقل اعداد آورده شده است. بیشترین عدد ثبت شده مربوط به سالهای 2006 و 2019 به ترتیب با مقدار 0/93 و 0/91 است. لازم به ذکر است که عددهای منفی که بصورت حداقل در شکل (3) برای هریک از تاریخ‌های مورد بررسی ثبت شده، مربوط به پدیده‌ی آب است. عدد حداکثر و حداقل، فقط مربوط به یک پیکسل است لذا نمی‌توان بر اساس آن تحلیلی بر تغییرات در سری زمانی انجام داد. لذا شاخص‌های پراکندگی اعم از میانگین و انحراف معیار در تک تک مناطق 1-3 در شکل (4) نشان داده شده است. با توجه به شکل (4)، میانگین پوشش گیاهی در هر سه واحد مطالعاتی (منطقه 1، منطقه 2 و منطقه 3) در بازه‌ی 1984-2019 افزایش یافته است و تقریباً دارای

1- Moraes

2- Yang &amp; Tian

3- Ye

نوسانات یکسانی هستند. طوری که مناطق 1 و 2، 1 و 3 و در نهایت 2 و 3 به مقدار 96، 96 و 98 درصد نسبت به هم همبسته هستند. در شکل 4 (الف) بیشترین اوج پوشش گیاهی در سال‌های 1992، 2004، 2013 و 2018 تا 2019 بوده است. می‌توان گفت چنین افزایشی در میانگین در هر سه واحد مطالعاتی رخ داده است. مقایسه‌ی نتیجه شکل (4) (الف) با شکل (2) (ب) نشان می‌دهد اوج میانگین پوشش گیاهی در سال‌های مختلف با اوج بارش و کاهش دما در مقیاس سالانه همخوانی دارد (البته در سال‌هایی که بارش و دما در ایستگاه ورزقان ثبت شده است (1998-2017)) ولی چندان همخوانی با داده‌های ماهانه ثبت شده ندارد (شکل 2 (الف)).



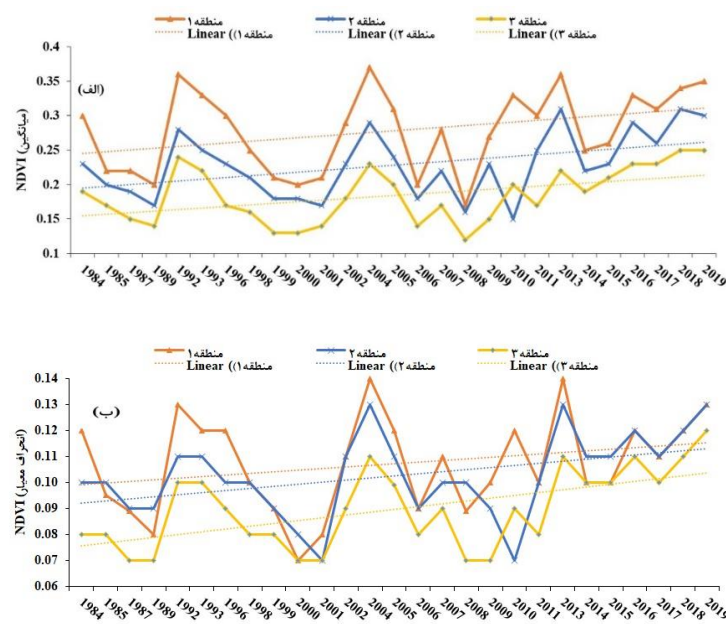
شکل (3): مقادیر شاخص پوشش گیاهی در دوره‌ی 1984-2019

Fig (3): The values of NDVI at period 1984-2019

اگرچه یک ماه تاخیر زمانی بارش و دما نیز در شکل (2) (الف) یعنی ماه June در نظر گرفته شده است ولی با این حال چندان هماهنگی بین آنها وجود ندارد. شکل (4) (ب) انحراف معیار و به عبارتی توزیع پراکندگی آن را نشان می‌دهد که با میانگین عددی پوشش گیاهی، به ترتیب در واحد مطالعاتی مناطق 1-3



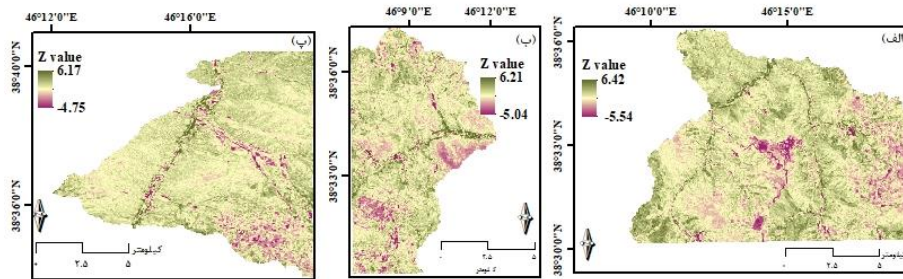
دارای همبستگی 0/88، 0/88 و 0/92 است. این موضوع نشان‌دهنده‌ی افزایش یا کاهش مقدار عددی NDVI در برخی مناطق از هر سه واحد مطالعاتی است. لذا در هر کدام از پیکسل‌های موجود در تصاویر تحلیل روند صورت گرفت تا تغییرات رخ داده در مقیاس پیکسل مورد بررسی قرار گیرد.



شکل (4): میانگین (الف) و انحراف معیار (ب) NDVI در بازه‌ی زمانی 1984-2019

Fig. (4): (above) Average (down) and standard deviation of NDVI at period 1984-2019.

با توجه به نتایج به دست آمده، در بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی نمی‌توان میانگین عددی پوشش گیاهی را برای کل منطقه تعمیم داد و بر اساس آن تحلیل روند و تأثیر معدن‌کاوی بر منطقه را بررسی نمود. با تأکید بر چنین نتیجه‌ای در هر یک از پیکسل‌ها بصورت سری زمانی و متناظر هم، تحلیل روند با روش آماری من-کندال صورت گرفت که شکل 5 مقدار Z (مقدار روند) را در هر یک از پیکسل‌ها به تفکیک مناطق 1، 2 و 3 نشان می‌دهد.



شکل (5): تغییرات روند پوشش گیاهی با استفاده از روش من-کندال، (الف) مقدار Z در منطقه 1، (ب) مقدار Z در منطقه 2 و (پ) مقدار Z در منطقه 3

Fig. (5): Land-cover trend (Z value) using Mann-Kendall Analysis, (right) case 1, (center) case 2 and (left) case 3

با توجه به شکل (5) روند افزایشی بیشتر از عدد 6 و روند کاهشی کمتر از 5 نیز دیده می‌شود. منطقه‌ی 1 بیشترین نوسان عددی و منطقه‌ی 3 (پایین دست منطقه معدن کاوی شده) کمترین نوسان در روند افزایشی یا کاهشی را تجربه کرده است. جدول (1) میزان مساحت روند چه به صورت معنی‌داری یا غیرمعنی‌داری افزایشی و کاهشی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، روند معنی‌داری کاهشی در هر دو سطح اطمینان در منطقه‌ی 1 که معدن کاوی صورت گرفته است، بیشترین سطح مساحت را به خود اختصاص داده است. 0/48 درصد از این منطقه روند کاهشی معنی‌داری داشته است که این مقدار در مناطق 2 و 3 به ترتیب 0/18 و 0/22 درصد بوده است. بنابراین کاهش معنی‌داری در هر سه منطقه‌ی معدن کاوی شده، دست نخورده و پایین دست وجود داشته است.

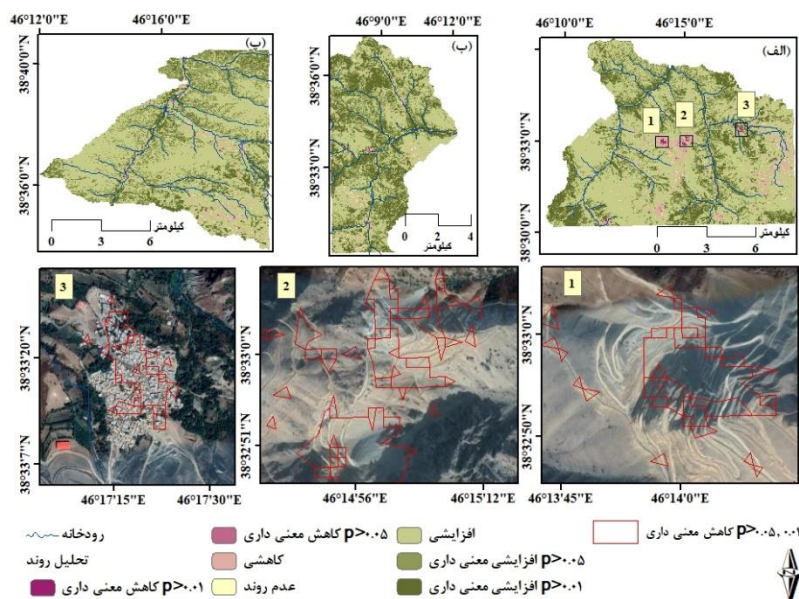
جدول (1): میزان مساحت روند معنی‌داری و غیرمعنی‌داری رخ داده در پوشش گیاهی

Table (1): significant and non-significant trends areas at the 95% and 99% confidence level

روند	کاهش معنی‌داری 0.01p>	کاهش معنی‌داری 0.05p>	کاهشی عدم وجود روند	افزایشی	افزایش معنی‌داری 0.05p>	افزایش معنی‌داری 0.01p>
منطقه 1	0/21	0/27	5/21	0/64	58/26	19/71
منطقه 2	0/11	0/07	2/06	0/39	42/42	27/72
منطقه 3	0/10	0/11	2/99	0/38	59/86	10/04

در حدود 5، 2 و 3 درصد از مساحت مناطق 1، 2 و 3 به ترتیب دارای روند کاهشی بوده است. درصد زیادی از مناطق دارای روند افزایشی معنی‌داری در هر دو سطح اطمینان 95 و 99 درصد دارد که این مقدار به ترتیب برای هر یک از مناطق 1-3 برابر است با 35/5، 54 و 36/5 درصد. بر اساس شکل (2) این مناطق

بارش‌های خوبی در دهه‌ی اخیر دریافت کرده‌اند. لذا مساحت پوشش گیاهی افزایش چشمگیری یافته است. از آنجایی که هدف این مطالعه تأثیر معدن‌کاوی بر سطح پوشش گیاهی است لذا کاهش سطح پوشش از لحاظ معنی‌داری مورد توجه قرار گرفت و بر اساس شکل 6 که میزان روند در هر یک از پیکسل‌ها را بصورت طبقه‌بندی شده و بر اساس سطح اطمینان 95 و 99 درصد نشان می‌دهد، مساحت دو طبقه با کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی از مناطق جدا و NDVI آنها مورد تحلیل آزمون من-کنندال دنباله‌ای و همبستگی قرار گرفت تا همخوان بودن زمان شروع کاهش معنی‌داری در هر کدام از مناطق مورد مقایسه قرار گیرد. آزمون همبستگی نیز در مناطقی که پوشش گیاهی بصورت معنی‌داری کاهش یافته با دما و بارش در مقیاس‌های ماهانه (June و July) و سالانه صورت گرفت.

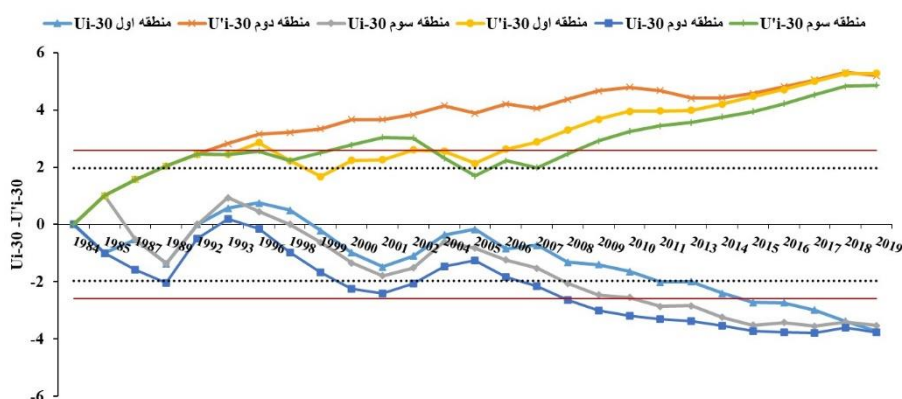


شکل (6): طبقه‌بندی روند در سطح اطمینان 95 و 99 درصد، (الف) منطقه 1، (ب) منطقه 2 و (پ) منطقه 3. شکل شماره 1-3 که از شکل الف منتج شده است نشان‌دهنده‌ی مناطق دارای روند کاهشی معنی‌داری پوشش گیاهی است. شکل 1 و 2 مناطق معدن‌کاوی شده و شکل 3 روستای اندریان است.

**Fig. (6):** Classification of trend analysis at 95% and 99% confidence levels, (above-right) region 1, (above-center) region 2 and (above-left) region 3. Figures 1-3, which have been resulted from Fig. 6 (above right), indicate areas with significant decrease. Figs. 1 and 2 are the mining areas and Fig. 3 is the Andaryan village

شکل (6) نشان‌دهنده‌ی تمرکز مناطقی با کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی در سه منطقه از شکل (6) (الف) است. که دو سطح آن مزبوط به معدن‌کاوی (شماره 1 و 2) و دیگری مربوط به ساخت‌وساز در روستای

اندریان است (شماره 1). بنظر می‌آید با شروع فعالیت معدن و بکارگیری افراد بومی در این بخش، وضع اقتصادی مردم آن اهالی نیز متأثر گشته و مردم اقدام به نوسازی و ساخت‌وساز مناطق مسکونی نموده‌اند و در نتیجه آن پوشش گیاهی موجود در داخل روستا که ناشی از کاه‌گل بودن خانه‌ها بود با نوسازی از بین رفته است.



شکل (7): آزمون روند من-کندال دنباله‌ای در دو سطح اطمینان 95 و 99 درصد. خطوط نقطه چین افقی، سطح اطمینان 95 درصد و خطوط افقی پیوسته، سطح اطمینان 99 درصد را نشان می‌دهد

**Fig. (7):** Sequence Mann-Kendall trend test at two levels of 95% and 99% confidence. Horizontal dotted lines indicate a 95% confidence level and continuous horizontal lines indicate a 99% confidence level

با توجه به شکل (7) که نتیجه آزمون من-کندال دنباله‌ای را فقط در مساحت‌هایی که  $Z$  آنها کوچک‌تر یا مساوی  $-1/96$  بوده است را نشان می‌دهد، در منطقه‌ی 1 که در آن معدن کاوی صورت گرفته است و باعث کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی در مناطق خاصی گردیده نشان می‌دهد که شروع کاهش از 2005 بوده ولی بعد از سال 2011 بصورت معنی‌دار کاهش یافته است هرچند قبل از سال 2005 نوساناتی در مساحت پوشش گیاهی دیده می‌شود که می‌تواند به دلیل نوسانات بارش و دما باشد. منطقه‌ی 2 به عنوان یک منطقه دست‌نخورده از لحاظ معدن کاوی نیز تا قبل از 2007 نوساناتی را در بازه‌ی کاهش پوشش گیاهی داشته است ولی بعد از آن شروع به کاهش معنی‌داری کرده است. که هیچ‌گونه تطابقی بین این دو منطقه از لحاظ شروع کاهش معنی‌داری وجود ندارد. در این بین منطقه 3 تا قبل از 2005 کاهش پوشش گیاهی را بصورت نوسان‌دار، تجربه کرده است اما از آن به بعد کاهش بصورت معنی‌دار گشته است. لذا هیچ‌گونه تطابقی بین نقطه شروع کاهش معنی‌داری بین منطقه‌ی 1 و 3 به عنوان بالادست و پایین دست واحد مطالعاتی دیده نمی‌شود. هر چند نقطه شروع کاهش بدون نوسان در آنها یکی است ولی منطقه‌ی 1 کاهش معنی‌دار تا قبل از 2011 نداشته است. همبستگی بین پیکسل‌هایی که کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی را در مناطق 1-3

تجربه کرده‌اند، نشان می‌دهد که مناطق 1 و 2 از لحاظ میانگین NDVI بصورت سری زمانی دارای 88 درصد و مناطق 1 و 3 دارای 86 درصد و مناطق 2 و 3 به مقدار 95 درصد همبسته هستند. آنچه به نظر مهم می‌آید کمتر بودن همبستگی بین مناطق 1 و 3 نسبت به همبستگی مناطق 1 و 2 و همبستگی بسیار بالا بین منطقه‌ی 2 و 3 است. لذا یک تأخیر زمانی یکساله و دوساله برای منطقه 1 و 3 در نظر گرفته شد و بررسی‌ها در تحقیق حاضر نشان داد که در تأخیر زمانی یک و دو ساله به ترتیب میزان همبستگی 58 و 26 درصد است. بنابراین همزمانی تغییرات پوشش گیاهی در بین مناطق وجود دارد. وجود 88 درصد همبستگی بین منطقه‌ای که معدن‌کاوی صورت گرفته و منطقه‌ای که از لحاظ عملیات اکتشاف بکر و دست نخورده است، نشان‌دهنده‌ی تأثیر ناچیز عملیات اکتشافی و سرویس‌های ذوب بر پوشش گیاهی منطقه است. چون اگر محیط زیست گیاهی از سرویس‌های ذوب متأثر می‌شد، بایست بین منطقه‌ی 1 و 3 همبستگی در تغییرات خیلی بیشتر از همبستگی بین مناطق 2 و 3 می‌شد که این فرضیه رد می‌شود. از طرفی چنین بنظر رسید که شاید وجود روند کاهشی معنی‌داری پوشش گیاهی مناطق مسکونی (روستای اندریان) باعث پایین بودن همبستگی بین تغییرات NDVI منطقه 1 و 3 شده است لذا این منطقه از مطالعه حذف شد که در اینصورت همبستگی بین این دو منطقه به 83 درصد رسید. همچنین همه مساحت‌های کاهش یافته‌ی معنی‌دار به غیر از مناطقی که اکتشاف و سرویس ذوب طلا در آن نواحی صورت گرفته بود، نیز حذف شد و دوباره همبستگی بین مناطق 1 و 3 مورد آزمون قرار گرفت. نتیجه نشان‌دهنده‌ی همبستگی 78 درصد بود. فرضیه‌ی دیگری که بنظر می‌رسید این بود که احتمالاً مواد شیمیایی استفاده شده در سرویس‌های ذوب با آب باران شسته شده و به رودخانه راه پیدا کرده و پایین دست حوضه را متأثر ساخته است. لذا مناطقی که در کنار رودخانه منطقه‌ی 3، دارای روند کاهشی معنی‌دار بودند با مناطقی که در منطقه‌ی 1 مورد عملیات معدن‌کاوی قرار گرفته و کاهش پوشش گیاهی معنی‌دار داشتند مورد آزمون همبستگی قرار گرفتند که نتیجه نشان‌دهنده‌ی وجود همبستگی 52 درصد بود. پس می‌توان گفت روش هیپ لیچینگ که در سرویس‌های ذوب طلا در این منطقه بکار گرفته شده است تاکنون توانسته است موفقیت‌آمیز باشد. هر چند پوشش گیاهی زیادی حدود 51 هکتار در اثر راهسازی در شیب‌های تند کوهستانی به منظور دستیابی به معدن و سرویس‌های ذوب از بین رفته‌اند ولی می‌توان بر اساس توسعه‌ی پایدار، پوشش گیاهی متأثر شده را در جاهایی که امکان دارد احیا نموده و در عین حال از مواد معدنی موجود با در نظر گرفتن نسل‌های آینده، استفاده بهینه کرد. نتایج این تحقیق و عدم تأثیرپذیری محیط از روش هیپ لیچینگ با یافته‌های هوی،<sup>1</sup> (1987) هماهنگی دارد و روش مناسبی برای جداسازی طلا از دیگر مواد معدنی است (پترسن، 2016؛ دنپالی و همکاران، 2019).

1- Hoye

همبستگی بین میانگین دما و بارش سالانه و کاهش معنی داری پوشش گیاهی (مقدار Z کوچک‌تر از 1/96) با مقادیر 39، 25 و 20 درصد به ترتیب برای مناطق 1-3 نشان می‌دهد که این کاهش‌ها ربطی به اقلیم ندارد بلکه در هر سه منطقه ناشی از تغییر کاربری بوده و عامل انسانی در آن مؤثر بوده است. لازم به ذکر است که ایستگاه ورزقان از سال 1998 تا 2017 افزایش بارش و کاهش دما داشته است که این نوع تغییر باعث افزایش پوشش گیاهی در هر سه منطقه شده است (جدول 1). تحقیق میدانی و پرس و جو از اهالی روستاها نشان می‌دهد که منطقه 1 ساخت و ساز و عملیات معدن کاوی، منطقه‌ی 2 گسترش صنعت توریست و منطقه‌ی 3 نیز تغییر کاربری باغ و دیگر محصولات به مناطق مسکونی را تجربه کرده‌اند. اما رابطه بین اقلیم و میانگین عددی NDVI در منطقه‌ی 1 تا 3 نشان می‌دهد که به ترتیب همبستگی 55، 53 و 52 درصد است. علت کمتر بودن همبستگی می‌تواند ناشی از عدم وجود ایستگاه در داخل یا نزدیکی مناطق مورد مطالعه باشد. هر چند افزایش پوشش گیاهی با رفتار اقلیمی این ایستگاه همسو حرکت کرده است ولی همبستگی بین اقلیم و تغییرات پوشش گیاهی می‌توانست بزرگ‌تر از اعداد مذکور باشد. از طرفی مشاهده می‌شود که میانگین پوشش گیاهی منطقه اول همبستگی بیشتری با تغییرات میانگین دما و بارش سالانه دارد که این مسئله می‌تواند ناشی از مرتفع بودن این منطقه و دریافت بارش بیشتر و دمای بهینه برای رشد پوشش گیاهی نسبت به دیگر مناطق باشد (میانگین ارتفاع در مناطق 1-3 به ترتیب 1845، 1798 و 1406 متر است).

#### 4- نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ی حاضر با استفاده از فناوری سنجنش از دور و متدهای آماری ناپارامتریک، تأثیر معدن کاوی بر تغییرات پوشش گیاهی مورد تحلیل قرار گرفت. بدین منظور، تصاویر ماهواره‌ای لندست 5 و 8 در بازه‌ی زمانی 1984-2019 و داده‌های بارش ماهانه و سالانه ایستگاه ورزقان در بازه‌ی زمانی 1998-2017 مورد استفاده قرار گرفت. شاخص پوشش گیاهی NDVI بعد از اعمال تصحیحات بر روی تصاویر استخراج شد. با توجه به اینکه در بالادست منطقه‌ی عملیات معدن کاوی و سرویس ذوب طلا وجود داشت منطقه بر اساس مسیر حرکت و زهکشی رودخانه، به سه بخش بالادست حوضه (سمت راست) که معدن در آن وجود دارد، بالادست حوضه (سمت چپ) که از لحاظ عملیات اکتشاف دست‌نخورده است و در نهایت پایین دست حوضه سمت راست. نتایج نشان می‌دهد در برخی سال‌ها افزایش و یا کاهش پوشش گیاهی رخ داده است ولی حالت کلی آن در هر سه منطقه بصورت افزایشی است و مناطق 1 و 2، 1 و 3 و همچنین 2 و 3 دارای همبستگی 96، 96 و 98 درصد هستند. لذا با استفاده از مدل آماری من-کندال، پیکسل به پیکسل سری زمانی مقادیر NDVI مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی به ترتیب در مناطق 1-

3 برابر 0/48، 0/19 و 0/21 درصد بوده است. نتایج من-کندال دنباله‌ای و همبستگی در مساحتی که دارای کاهش معنی‌داری در پوشش گیاهی بودند و همچنین فرضیه‌های مختلفی که در این تحقیق متصور گردید نشان‌دهنده‌ی عدم نشت مواد شیمیایی به پایین‌دست حوضه بوده است چراکه کاهش معنی‌داری پوشش گیاهی در منطقه‌ی 2 که هیچ‌گونه عملیات اکتشافی در آن صورت نگرفته دارای همبستگی بیشتری با منطقه 1 است (در این منطقه عملیات معدن‌کاوی در آن صورت می‌گیرد). جاهایی از منطقه‌ی 1 که در آن راهسازی و یا اکتشاف صورت پذیرفته است پوشش گیاهی خود را که از نوع مرتع بوده است را از دست داده است. لذا لزوم احیا و مراقبت از محیط زیست در کنار معدن‌کاوی با دید بر حفظ منابع بر نسل‌های آینده از ملزومات توسعه‌ی پایدار است.

نقش اقلیم در این منطقه بیشتر باعث افزایش پوشش گیاهی گردیده است هرچند ایستگاهی در داخل یا نزدیک منطقه‌ی مورد مطالعه که دارای سری زمانی بیش از 18 سال باشد وجود ندارد، با این حال افزایش بارش و کاهش دما در حد بهینه آن که مناسب رشد پوشش گیاهی باشد باعث افزایش پوشش گیاهی در کل منطقه شده است.

#### تشکر و قدردانی

با توجه به اینکه بخشی از هزینه‌های تحقیق حاضر توسط بنیاد ملی نخبگان تأمین شده است لذا نویسندگان کمال تشکر و قدردانی خود را از این بنیاد ابراز می‌دارند.

5- منابع

- Andaryani, S., Nourani, V., Trolle, D., Dehghani, M., & Mokhtari Asl, A. (2019). Assessment of land use and climate change effects on land subsidence using a hydrological model and radar technique, *Journal of Hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124070>.
- Boadi, N., Twumasi, SK., & Ephraim, J.H. (2009). Impact of Cyanide Utilization in Mining on the Environment, *International Journal of Environmental Research*, 3(1), 101-108.
- Choi, Y., Song, J. (2016). Sustainable Development of Abandoned Mine Areas Using Renewable Energy Systems: A Case Study of the Photovoltaic Potential Assessment at the Tailings Dam of Abandoned Sangdong Mine, Korea, *Sustainability*, 8, 1320.
- Gandini, M.L., & Usunoff, E.J. (2004). SCS curve number estimation using remote sensing NDVI in a GIS environmental, *Journal of Environmental Hydrology*, 12, 168-179.
- Hoye, R., (1987). *Gold/Silver Heap Leaching and Management Practices that Minimize the Potential for Cyanide Releases*; EPA/600/2-88/002; Final Report; U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA, 1-113.
- Khosravian, M., Entezari, A., Rahmani, A., & Baaghde, M. (2018). Monitoring the Disturbance of Lake District Water Level Changes Using Remote Sensing Indices, *Hydrogeomorphology*, 4 (13), 99-120., In Persian.
- Li, Z., Liu, W-Z., Zhang, X-C., & Zheng, F-L. (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, 35-42.
- Manning, T.J., Kappes, D.W. (2016). Chapter 25 - *Heap Leaching of Gold and Silver Ores*. Gold Ore Processing (Second Edition) Project Development and Operations, 413-428.
- Moraes, J.M., Pellegrino, H.Q., Ballester, M.V., Martinelli, L.A., Victoria, R.L., & Krusche, A.V. (1998). Trends in hydrological parameters of southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes, *Water Resources Management*, 12, 295-311.
- Nguyen, U., Glenn, E. P., Nagler, P. L., & Scott, R. L. (2015). Long-term decrease in satellite vegetation indices in response to environmental variables in an iconic desert riparian ecosystem: The Upper San Pedro, Arizona, United States, *Ecohydrology*, 8, 610-625.
- Petersen, J. (2016). Heap leaching as a key technology for recovery of values from low-grade ores-A brief overview, *Hydrometallurgy*, 165, 206-212.
- Rezaei Moghadam, M.S., Andaryani, S., Almaspour, Farhad., Valizadeh Kamran, KH., & Mokhtari, A. (2014). Investigating the land use/cover changes effects on floods and runoff (case study: Alavian dam basin), *Hydrogeomorphology*, 1, 41-57., In Persian.



- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1973). *Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS*. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317.
- Rumora, L., Miler, M., & Medak, D. (2019). Contemporary comparative assessment of atmospheric correction influence on radiometric indices between Sentinel-2A and Landsat 8 imagery, *Geocarto International*, [https://doi, 10.1080/10106049.2019.1590465](https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1590465).
- Subrahmanyam T. V. (1989). Recovery problems in gold ore processing with emphasis on heap leaching, *Journal Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 4, 201–215.
- Thenepalli, T., Chilakala, R., Habte, L., Quang Tuan, L., & Sik Kim, C. (2019). A Brief Note on the Heap Leaching Technologies for the Recovery of Valuable Metals, *Sustainability*, 11 (12), 3347, [https://doi, 10.3390/su11123347](https://doi.org/10.3390/su11123347).
- Vicente-Serrano, S. M., Gouveia, C., Camarero, J. J., Beguera, S., Trigo, R., López-Moreno, J. I., & et al. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 52–57.
- Wagesho, N., Goel, N.K., & Jain, M.N. (2012). Investigation of non-stationarity in hydro-climatic variables at Rift Valley lakes basin of Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 444–445, 113-133.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z.-L. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature, *International Journal of Remote Sensing*, 25, 261–274.
- Yang, Y., & Tian, F. (2009). Abrupt change of runoff and its major driving factors in Haihe River Catchment, China, *Journal of Hydrology*, 374, 373–383.
- Ye, X., Zhang, Q., Liu, J., Li, X., & Xu, C.Y. (2013). Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China, *Journal of Hydrology*, 494, 83–95.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices, *Environmental Reviews*, 19, 333–349.
- Zhu, Z., Fu, Y., Woodcock, C. E., Olofsson, P., Vogelmann, J. E., Holden, C., & et al. (2016). Including land cover change in analysis of greenness trends using all available Landsat 5, 7, and 8 images: A case study from Guangzhou, China (2000–2014), *Remote Sensing of Environment*, 185, 243–257.