

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۲

صفحات: ۲۰ - ۱

شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: استان البرز)

بهزاد رایگانی*

چکیده

گرد و غبار یکی از فرآیندهای مهم مناطق خشک و نیمه‌خشک است که وقوع آن در سال‌های اخیر در ایران افزایش پیدا کرده است. شناسایی کانون‌های تولیدکننده این پدیده اولین گام در مدیریت و کنترل آن به شمار می‌رود. به دلیل خشک و نیمه خشک بودن اقلیم -هایی که پدیده گرد و غبار در آنها به وقوع می‌پیوندد، همواره مناطق وسیعی برای پایش و کنترل وجود دارند که عملاً مدیریت آنها را ناممکن می‌سازد. از این رو کاهش مناطق کاندید به سطوح واقعی تولیدکننده یکی از دغدغه‌های اصلی پژوهشگران به شمار می‌رود. در این مقاله، با استفاده از داده‌های دورسنجی، به شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار در استان البرز پرداخته شده است. شاخص‌های طیفی رطوبت و پوشش گیاهی مختلفی بر روی داده‌های سنجنده OLI اعمال شد و بر اساس میزان تغییرات در منطقه مطالعاتی شاخص‌های رطوبت مربوط به تبدیل تسلد کپ و پوشش گیاهی DVI انتخاب و بر روی تصاویر سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ اعمال گردید و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت و پوشش گیاهی تولید شد. شاخص طیفی زبری بر داده مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER اعمال و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری زبری تهیه گردید. با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه حساسیت فرسایش‌پذیری سنگ‌ها تولید شد. با تلفیق نقشه‌های پتانسیل فرسایش‌پذیری در مدل ارزیابی چند معیاره و انجام عملیات میدانی نقشه کانون‌های بالقوه ریزگرد تهیه گردید و بر اساس یک طرح نمونه‌برداری مورد بازدید قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و اعمال شاخص‌های طیفی، به خوبی می‌توان کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار را شناسایی نمود.

واژگان کلیدی: تبدیل تسلدکپ، DVI، OLI، ASTER، زبری، کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار.

مقدمه

پدیده‌ی گرد و غبار یکی از فرآیندهای مهم جوی است که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد و فرکانس و شدت وقوع آن در سال‌های اخیر افزایش یافته است (Cao et al., 2015a; Cao et al., 2015b; Prospero et al., 2002; Waggoner and Sokolik, 2010; Zhou et al., 2015). این پدیده اثرات زیان‌باری بر اقتصاد، محیط زیست و سلامت انسان دارد (Cao et al., 2015a; Cao et al., 2015b) و شدت این تأثیرات با توجه به ویژگی‌های منابع مختلف گرد و غبار متفاوت است (Zhang et al., 2008). بنابراین برای ارزیابی تأثیرات این مهم بر اکوسیستم‌ها، زندگی انسان، اقتصاد و آب و هوا (Schepanski et al., 2012; Zhang et al., 2008) و همچنین تمرکز بر روی مناطق حساس تولیدکننده‌ی گرد و غبار (Cao et al., 2015a) به منظور مدیریت صحیح این مناطق، شناسایی منابع گرد و غبار اهمیت زیادی دارد (Schepanski et al., 2012; Zhang et al., 2008).

شناخت ماهیت کانون‌های تولیدکننده‌ی گرد و غبار می‌تواند در تعیین روش‌های کنترل آن نقش به‌سزایی داشته باشد (Waggoner and Sokolik, 2010). جریان هوا در مناطق منبع مسئول جابه‌جایی ذرات گرد و غبار است که این امر بستگی به ویژگی‌های سطح زیرین از جمله بافت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، توپوگرافی و زبری (Ginoux et al., 2001; Miller et al., 2004; Schepanski et al., 2012; Shahraiyini et al., 2015; Waggoner and Sokolik, 2010; Zhou et al., 2015) دارد. تغییر پوشش زمین و فعالیت‌های انسانی (Shahraiyini et al., 2015). شناخت ماهیت ناهمگون و متنوع این ویژگی‌ها با روش‌های سنتی امکان‌پذیر نمی‌باشد (Schepanski et al., 2012). در این رابطه سنجش از دور ماهواره‌ای دارای پتانسیل لازم برای آگاهی از ویژگی‌های کانون‌های گرد و غبار است (Banks et al., 2013; Waggoner and Sokolik, 2010) چرا که با داشتن داده خام ماهواره‌ای و اعمال شاخص‌های مختلف طیفی، بسیاری از فاکتورهای محیط زیستی مربوط به منابع گرد و غبار؛ قابل شناسایی، بررسی و تجزیه و تحلیل می‌باشد. با توجه به پوشش مکانی و زمانی داده‌های سنجش از دور، این تکنیک ما را در شناسایی دقیق‌تر منابع گرد و غبار در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی کمک خواهد کرد (Cao et al., 2015a; Christopher et al., 2012; Ichoku et al., 2004; Schepanski et al., 2012). همچنین استفاده از این تکنیک نسبت به روش‌های سنتی سریع‌تر، آسان‌تر و مقرون به صرفه‌تر خواهد بود (Samadi et al., 2014).

پژوهش‌های متعددی در مورد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای شناسایی مناطق منبع گرد و غبار صورت گرفته است. پروسپرو و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از داده‌های TOMS در سطح جهانی، پیانوالدو و یول (۲۰۱۳) با استفاده از تصاویر لندست در جنوب آریزونا، کاو و همکاران (۲۰۱۵)، در غرب آسیا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای تصاویر مودیس و سنجنده‌ی OLI ماهواره لندست؛ منابع تولید کننده‌ی گرد و غبار را به ترتیب در مقیاس جهانی، محلی و منطقه‌ای شناسایی کردند. همچنین در مورد بررسی فاکتورها و شاخص‌های مختلف در شناسایی مناطق منبع گرد و غبار مطالعات متعددی صورت گرفته است. در پژوهشی در منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی مودیس و لندست ETM+7 و اعمال شاخص NDVI به شناسایی اصلی‌ترین مناطق تولید کننده‌ی ذرات گرد و غبار پرداخته شد (IRAN et al., 2005). در پژوهشی دیگر واگنر و سوکولیک با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای مودیس، ویژگی‌های سطح منابع گرد و غبار با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص سطح خاک

خشک و شاخص زبری در فصل بهار و تابستان در شمال غربی چین مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیقی دیگر لی و همکاران نیز در غرب تگزاس مناطق تولید کننده‌ی گرد و غبار با توجه به زمین شناسی منطقه و پوشش سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس شناسایی شدند.

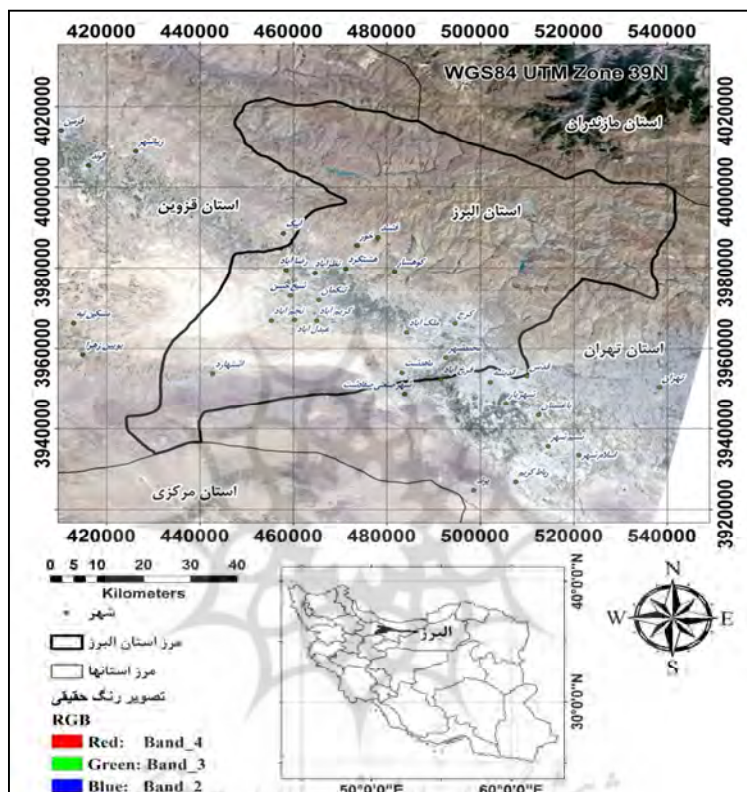
به منظور شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار نیاز است که مناطقی که دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک هستند، مشخص شوند. طبق مطالعات صورت گرفته مهمترین فاکتورهایی که باعث فرسایش خاک می‌شوند شامل پوشش گیاهی (پوشش، پراکنش و ارتفاع)، رطوبت خاک، زبری و سازند زمین شناسی است و فرسایش‌پذیری خاک توسط این عوامل تعیین می‌شود (Lancaster and Baas, 1998; Leys and Mctainsh, 1996; Raupach and Lu, 2000; Webb et al., 2006; Webb and Strong, 2011; Zobeck et al., 2000). می‌توان با استفاده از سنجش از دور و بر اساس این عوامل مناطق با پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا را شناسایی و نقشه‌های آن را تولید کرد. با توجه به پژوهش‌های پیشین، تلفیق چندمعیاره‌ی تمام عوامل موثر در بادفرسایشی که نقش کلیدی در تولید ریزگرد دارند، با استفاده از داده‌های سنجش از دور به ندرت انجام گرفته است؛ به همین دلیل هدف از این مطالعه استفاده از داده‌های سنجش از دوری و شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی، رطوبت خاک و زبری سطح و همچنین اطلاعات زمین شناسی برای شناسایی مناطق بالقوه‌ی تولید گرد و غبار به منظور مدیریت مناطق حساس و کاهش خسارت این معضل محیط زیستی در استان البرز است. بر اساس آخرین اطلاعات ایستگاه سینوپتیک کرج، روند مشاهده پدیده گرد و غبار در سالهای اخیر در این استان به شدت رو به افزایش گذاشته است به گونه‌ای که در سال ۲۰۱۵ در حدود ۴۰ رویداد گرد و غبار در این ایستگاه ثبت شده است در حالیکه در اوایل دهه ۱۹۹۰ تعداد این رخدادها در حدود ۵ عدد می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان البرز، ۱۳۹۴). از این رو شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار استان البرز در این پژوهش هدف قرار گرفته است.

داده‌ها و روش‌ها

الف - منطقه مورد مطالعه:

استان البرز بین ۳۹۴۸۷۲۳ تا ۴۰۲۴۶۵۱ عرض شمالی و ۴۳۰۷۴۷ تا ۵۳۹۴۹۳ طول شرقی در سیستم تصویر UTM منطقه مطالعاتی در پهنه ۳۹ شمالی و در نیمه شمالی کشور ایران واقع شده است (شکل ۱). بخش جنوبی استان البرز دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و با میانگین بارش کمتر از ۲۰۰ میلی متر در سال است به گونه‌ای که پوشش گیاهی در این نواحی مناسب نبوده و فقط به هنگام بهار و سال‌های پرباران دارای رشد و نمو کافی است. مراتع این استان نیز به دلیل چرای بی رویه دام ظرفیت مفید خود را از دست داده است و پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک این مناطق افزایش پیدا کرده است (اداره کل هواشناسی استان البرز، ۱۳۹۴). توسعه پدیده بیابان‌زایی، در معرض فرسایش باد قرار داشتن حدود یک سوم وسعت استان به صورت دشت و وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر، این استان را با معضل گرد و غبار مواجه ساخته است. به گونه‌ای که در سال‌های اخیر در حدود ۴۰ درصد از رویدادهای گرد و غبار ثبت شده، ردی از فعالیت کانون‌های محلی این استان دیده می‌شود و در مجموع ۳ سال اخیر

۸۹ رویداد محلی تولید گرد و غبار با منشا محلی در این استان ثبت شده است در حالیکه بین سالهای ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵ در مجموع فقط ۱۵ رویداد محلی گرد و غبار در این استان گزارش شده است (اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز، ۱۳۹۴).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه و تصویر رنگ حقیقی آن (سنجنده OLI)

ب- روش شناسی:

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت خاک و پوشش گیاهی داده‌های لندست ۸ (سنجنده OLI) استفاده شده است. لندست ۸ دارای دو سنجنده OLI^۱ و TIRS^۲ می‌باشد و با توجه به پیوسته بودن داده‌ها، کیفیت مناسب تصاویر و قدرت تفکیک بالای آن (۳۰ متر در چندطیفی و ۱۵ متر در پانکروماتیک)، می‌تواند در تجزیه و تحلیل‌های مرتبط با مباحث گرد و غبار و فرسایش بادی به کار رود (Long et al., 2016). تصاویر مربوط به این ماهواره دارای قابلیت مناسب برای تعیین محل منابع گرد و غبار در صورت عدم وجود ابر است (El-Askary et al., 2003). در کل ۲۶ تصویر لندست برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

1- Operational Land Imager

2- Thermal Infrared Sensor

علاوه بر این، داده‌ی مدل رقومی ارتفاع^۱ سنجنده ASTER^۲ به منظور تهیه نقشه زبری منطقه تهیه شد. وضوح داده‌های توپوگرافی در بسیاری از مناطق به منظور مدل‌سازی بسیار پایین است، برای غلبه بر چنین محدودیت‌هایی می‌توان از داده‌های مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده کرد (Tarekegn et al., 2010). مدل رقومی ارتفاع بدست آمده از این سنجنده در مناطق خیلی مسطح و شیب‌دار بسیار دقیق هستند. این مدل در موقعیت‌های مختلفی از جمله ساختارهای مختلف زمین‌شناسی (Alimohammadi et al., 2015)، آنالیزهای ژئومورفومتریک، نقشه‌برداری از توپوگرافی آتشفشان‌ها، بررسی مرز حوزه‌های آبخیز و همچنین مدل‌سازی مسیر سیل‌ها بسیار کاربرد دارد (Tarekegn et al., 2010).

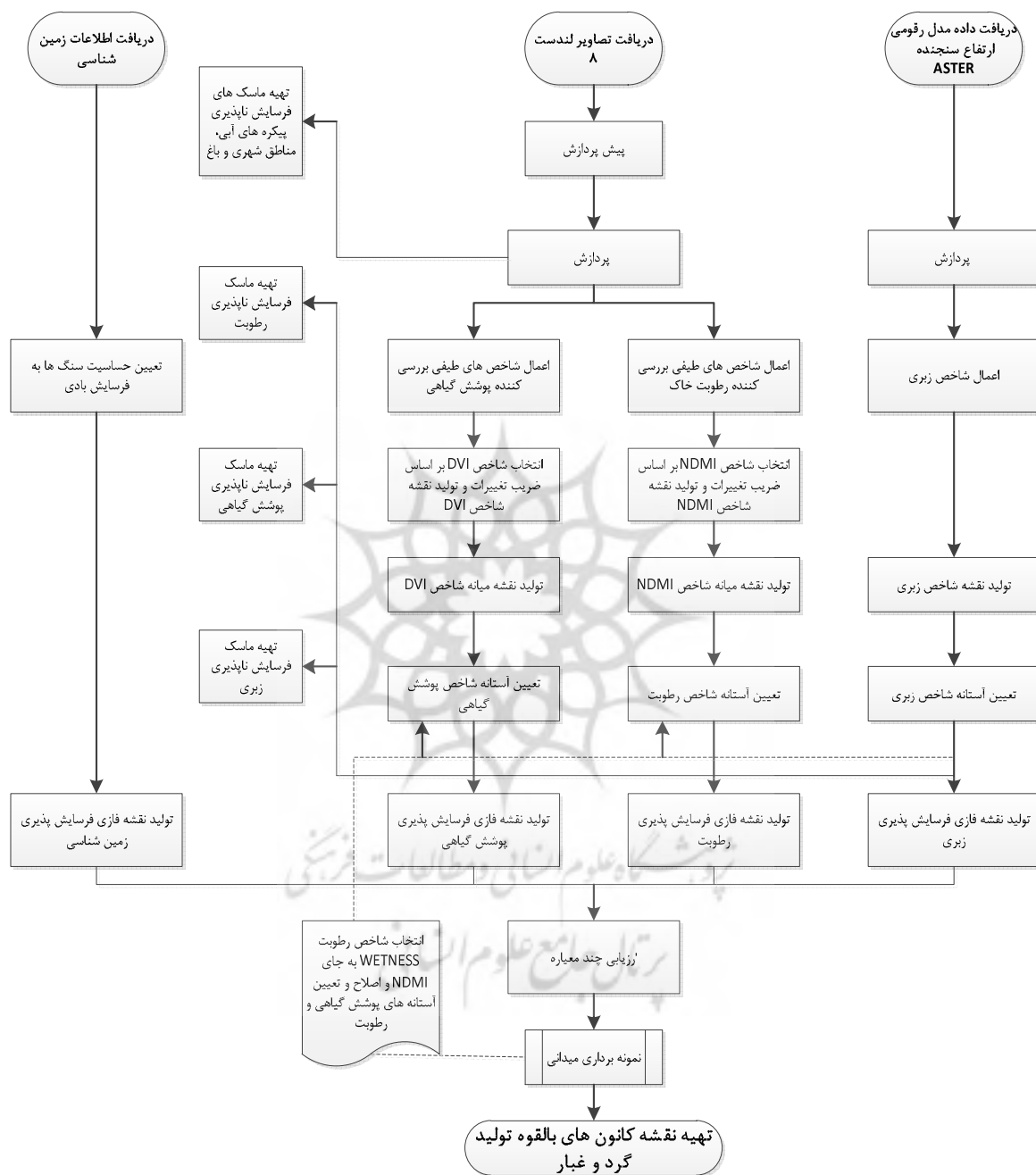
جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق

ماهواره	سنجنده	شماره سین	تاریخ تصاویر مورد استفاده	
لندست ۸	OLI	۱۶۵-۳۵	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۱۴
			۴/۱۶/۲۰۱۳	۵/۵/۲۰۱۴
			۵/۱۸/۲۰۱۳	۷/۲۴/۲۰۱۴
			۶/۳/۲۰۱۳	۸/۹/۲۰۱۴
			۷/۵/۲۰۱۳	۸/۲۵/۲۰۱۴
			۷/۲۱/۲۰۱۳	۹/۱۰/۲۰۱۴
			۸/۶/۲۰۱۳	۱۰/۱۲/۲۰۱۴
			۸/۲۲/۲۰۱۳	۱۱/۱۳/۲۰۱۴
			۹/۲۳/۲۰۱۳	۱۲/۳۱/۲۰۱۴
			۱۰/۹/۲۰۱۳	-
			۱۱/۲۶/۲۰۱۳	-

فرآیند کلی روش کار، در شکل ۲ نشان داده شده است. در ادامه جزییات این فرآیند تشریح خواهد شد.

1- digital elevation model(DEM)

2- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer



شکل ۲: فرآیند کلی تحقیق

پیش پردازش و آماده سازی تصاویر ماهواره ای

پس از دریافت تصاویر لندست ۸، پیش پردازش های لازم شامل تصحیح هندسی و اتمسفری بر روی آن ها انجام گرفت. تصحیح هندسی، به منظور قرار گرفتن پیکسل ها در موقعیت واقعی خود در تصویر و با استفاده از نقاط کنترل زمینی انجام گرفت. یک تصویر بر این اساس تصحیح هندسی شد و سایر تصاویر به این تصویر ثبت داده شدند.

تصحیح اتمسفری نیز، به منظور حذف اثرات پخشیدگی و یا جذب اتمسفری با استفاده از افزونه^۱ ATCOR انجام گرفت. افزونه ATCOR برای تصحیح مطلق اتمسفری و توپوگرافی داده‌های ماهواره‌ای به کار برده می‌شود که توسط مرکز هوا-فضای آلمان^۲ برای بازیابی پارامترهای فیزیکی سطح زمین توسعه یافته است. نسخه دوم این نرم‌افزار (ATCOR 2) به‌طور معمول برای تصحیح اتمسفری در سرزمین‌های مسطح به کار برده می‌شود (Kneubühler et al., 2005) بنابراین با توجه به منطقه مورد مطالعه و اطلاعات موجود برای تصحیح اتمسفری در این پژوهش از این افزونه استفاده شد. پس از انجام مراحل پیش‌پردازش، تصاویر لندست با اعمال شاخص‌های رطوبت و پوشش گیاهی بارسازی شدند و ماسک‌های میانه فرسایش‌ناپذیری بر اساس آستانه‌های به دست آمده، به منظور استفاده به عنوان لایه محدود کننده در مدل ارزیابی چند معیاره^۳ تهیه شدند. همچنین ماسک زبری نیز بر اساس اعمال یک آستانه تجربی بر روی شاخص زبری به دست آمد. علاوه بر این، ماسک‌های متغیرهای ثابت^۴ فرسایش‌ناپذیری مناطق شهری، باغ و پیکره‌های آبی با استفاده از عمل طبقه‌بندی بر روی تصاویر OLI تولید شدند. در نهایت ماسک نهایی متغیرهای ثابت فرسایش‌ناپذیری از تلفیق ماسک‌های متغیرهای ثابت و ماسک زبری به دست آمد. ماسک نهایی متغیرهای ثابت نیز به عنوان لایه محدود کننده در مدل ارزیابی چند معیاره استفاده شد (Eastman, 2015b).

تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر رطوبت خاک با استفاده از تصاویر لندست^۸

مقدار رطوبت خاک سطحی یک متغیر بسیار مهم در فرسایش‌پذیری، انتقال رسوبات توسط باد و تولید گرد و غبار است (Hatfield and Sauer, 2011). در این مطالعه، به منظور مشخص کردن مناطق با رطوبت پایین و پتانسیل فرسایش‌پذیری بالاتر، پس از انجام بررسی‌ها بر روی شاخص‌های طیفی مختلف رطوبت خاک، دو شاخص^۵ NDMI و WETNESS مربوط به تبدیل تسلد کپ^۶ انتخاب و بر روی تصاویر OLI اعمال شدند. شاخص طیفی NDMI، محتوای رطوبت خاک را برای عناصر سیمای سرزمین به ویژه برای خاک، سنگ و پوشش گیاهی تعیین می‌کند و یک شاخص بسیار عالی برای خشکی است. در این شاخص، ارزش‌های بیشتر از ۰/۱ (رنگ‌های روشن) نشان دهنده رطوبت زیاد و ارزش‌های کم (نزدیک به ۱- (رنگ‌های تیره) نشان‌دهنده رطوبت کم است. این شاخص از باندهای NIR^۷ و SWIR^۸ به دست می‌آید. روش محاسبه این شاخص به صورت رابطه ۱ است (Jin and Sader, 2005):

$$\text{NDMI: (NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

1- Atmospheric and Topographic Corrections
 2- German Aerospace Center
 3- Multi-criteria evaluation(MCE)
 4- Static Variables
 5- Normalized difference moisture index
 6- Tasseled Cap Transformation
 7- near-infrared
 8- Shortwave infrared

که در آن NIR، بازتابندگی مربوط به باند مادون قرمز نزدیک و SWIR، بازتابندگی مربوط به باند مادون قرمز موج کوتاه می‌باشد.

شاخص طیفی WETNESS به دست آمده از تبدیل تسلدکپ نیز یکی از شاخص‌هایی است که در تخمین رطوبت خاک به کار می‌رود. تبدیل تسلدکپ به طور گسترده در سنجش از دور، نقشه‌سازی پوشش گیاهی و رطوبت خاک و پایش تغییرات پوشش زمین استفاده می‌شود (Jin and Sader, 2005; Liu et al., 2014). این تبدیل، نه تنها یک مکانیزم برای کاهش حجم داده‌ها با از دست دادن حداقل اطلاعات فراهم می‌آورد بلکه ویژگی‌های طیفی آن می‌تواند به طور مستقیم با پارامترهای مهم فیزیکی سطح زمین مرتبط باشد (Jin and Sader, 2005). سه ویژگی معمولاً با این تبدیل محاسبه می‌شود که شامل روشنایی^۱، سبزی^۲ و رطوبت^۳ است. تبدیل تسلدکپ، مجموعه‌ای از باندهای مری و مادون قرمز نزدیک را با مجموع باندهای مادون قرمز موج کوتاه تلفیق می‌کند. می‌توان از خروجی شاخص رطوبت تبدیل کلاهگ منگوله‌دار برای نشان دادن رطوبت سطح خاک استفاده کرد (Baig et al., 2014; Jin and Sader, 2005). ارزش‌های wetness بین ۱- تا ۱ هستند که ارزش‌های نزدیک به ۱- نشان دهنده رطوبت کمتر و ارزش‌های نزدیک به ۱ نشان دهنده رطوبت بیشتر است.

شیوه محاسبه این شاخص با استفاده از باندهای سنجنده OLI به صورت رابطه ۲ می‌باشد (Eastman, 2015b):
رابطه (۲)

$$OLI\ Wet = (OLI2 * 0.1511) + (OLI\ 3 * 0.1973) + (OLI4 * 0.3283) + (OLI5 * 0.3407) + (OLI6 * (-0.7117)) + (OLI7 * (-0.4559))$$

که در آن، OLI2، OLI3، OLI4، OLI5، OLI6 و OLI7 به ترتیب بازتابندگی‌های مربوط به باندهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ سنجنده OLI هستند که بین ۰ تا ۱ کشیده شده‌اند.

پس از اعمال شاخص‌های رطوبت NDMI و WETNESS، ضرایب تغییرات آن‌ها در تصاویر سال ۲۰۱۴ مورد مقایسه قرار گرفت و شاخص NDMI با توجه به داشتن بالاترین ضریب تغییرات انتخاب و بر روی همه تصاویر (سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) اعمال شد. در مرحله بعد نقشه میانه رطوبت NDMI برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ به دست آمد و آستانه شاخص بر اساس اطلاعات موجود تعیین شد. در گام آخر نقشه میانه شاخص رطوبت NDMI، بر اساس آستانه تعیین شده فازی شد. لازم به ذکر است که با بررسی‌های به عمل آمده در عملیات میدانی، عملکرد شاخص NDMI مناسب نشان داده نشد. به همین دلیل برای تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت، شاخص WETNESS بر روی تمامی تصاویر لندست ۸ پیش‌پردازش شده (مقادیر بازتابندگی سطح)، اعمال شد و بر اساس آستانه به دست آمده از عملیات میدانی (شکل ۳) برای این شاخص، نقشه میانه شاخص WETNESS فازی گردید و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر رطوبت به دست آمد. ماسک میانه فرسایش‌ناپذیری این شاخص نیز بر اساس

1- brightness
2- greenness
3- wetness

آستانه فرسایش‌ناپذیری به دست آمده تولید گردید. لازم به ذکر است برای فازی سازی نقشه حساسیت از منظر رطوبت از تابع عضویت خطی (Eastman, 2012) استفاده شده است. این تابع به گونه‌ای تنظیم شده که با افزایش میزان رطوبت مقدار حساسیت به فرسایش کاهش می‌یافت و بر عکس.

تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر لندست ۸

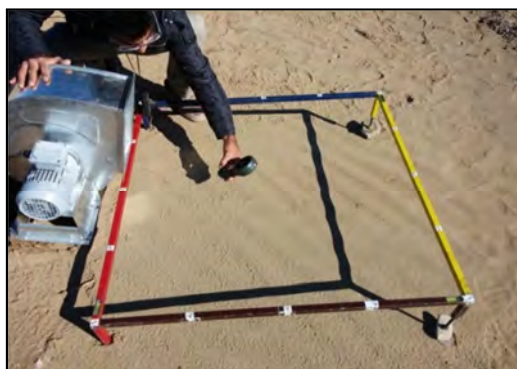
نرخ فرسایش بادی و انتشار ریزگرد به شدت تحت تاثیر پوشش گیاهی قرار دارد. زمینی که دارای پوشش گیاهی مناسبی باشد تقریباً از فرسایش بادی در امان است. در این مطالعه به منظور مشخص کردن مناطق با پوشش گیاهی کم و پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا، شاخص‌های گیاهی طیفی مختلف مناسب مناطق خشک و نیمه خشک شامل $MSAVI1$ ، $MSAVI2$ ، DVI ، $NDVI$ ، PVI ، $PVI1$ ، $PVI2$ ، $PVI3$ ، $SAVI$ ، $TSAVI2$ و $WDVI$ (Eastman, 2012) بر روی تصاویر OLI اعمال گردید. سپس ضرایب تغییرات شاخص‌ها بر روی تصاویر سال ۲۰۱۴، مورد بررسی قرار گرفت و شاخص پوشش گیاهی DVI با بالاترین ضریب تغییرات انتخاب گردید و بر روی همه تصاویر (سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) اعمال شد.

DVI یکی از شاخص‌های گیاهی است که در آن ضریب خط خاک دخیل شده است و هدف اصلی آن، حذف اثر روشنایی خاک در مواردی که پوشش گیاهی نادر است و پیکسل‌ها شامل ترکیبی از پوشش گیاهی سبز و پس زمینه خاک هستند، می‌باشد. این امر به‌ویژه در محیط‌های خشک و نیمه خشک اهمیت دارد (Eastman, 2012). در این شاخص، خطوط هم پوشش گیاهی، موازی با خط خاک هستند. خط خاک دارای شیب اختیاری است و از مبدا عبور می‌کند. دامنه شاخص نیز بی نهایت است (Basso et al., 2004) و در آن ارزش صفر نشان‌دهنده خاک لخت، ارزش -های کمتر از صفر نشان‌دهنده آب و ارزش‌های بزرگتر از صفر نشان‌دهنده پوشش گیاهی می‌باشد. رابطه ۳ معادله این شاخص را نشان می‌دهد (Eastman, 2012):

$$DVI = a \rho_{NIR} - \rho_{RED} \quad \text{رابطه (۳)}$$

a در این معادله نشان‌دهنده شیب خط خاک و ρ_{NIR} و ρ_{RED} به ترتیب نشان‌دهنده بازتابندگی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند.

پس از اعمال شاخص پوشش گیاهی DVI بر روی همه تصاویر، نقشه میانه پوشش گیاهی (سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) تولید شد و بر اساس آستانه به دست آمده از اطلاعات موجود، فازی گردید. در اینجا نیز برای فازی‌سازی از تابع عضویت خطی (Eastman, 2012) استفاده گردید. این تابع به گونه‌ای تنظیم شد که با افزایش عددی مقدار شاخص گیاهی، مقدار پتانسیل به فرسایش کاهش می‌یافت. در گام آخر بعد از برداشت میدانی (شکل ۳)، آستانه فرسایش‌ناپذیری این شاخص اصلاح گردید و نقشه میانه بر اساس آستانه نهایی فرسایش‌ناپذیری فازی شد و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر پوشش گیاهی تولید گردید. همانند شاخص رطوبت ماسک میانه فرسایش‌ناپذیری شاخص DVI بر اساس آستانه اصلاح شده تهیه گردید. جدول (۲) موقعیت نقاط نمونه‌برداری و حساسیت هر نقطه به فرسایش بادی را نشان می‌دهد.



شکل ۳: عملیات میدانی به منظور تعیین و اصلاح آستانه‌های فرسایش‌ناپذیری شاخص‌های طیفی رطوبت و پوشش گیاهی

جدول ۲: موقعیت نقاط نمونه برداری و حساسیت هر یک از نقاط به فرسایش بادی

شماره	x	y	حساسیت	شماره	x	y	حساسیت
۱	۴۷۳۵۵۳	۳۹۶۳۲۹۱	متوسط تا زیاد	۱۶	۴۹۹۵۷۹	۳۹۷۴۱۸۴	غیر قابل فرسایش
۲	۵۳۶۰۵۶	۳۹۴۰۲۵۲	متوسط	۱۷	۴۵۶۳۱۹	۳۹۵۷۵۷۸	متوسط تا زیاد
۳	۴۷۳۶۲۲	۳۹۶۲۳۸۲	کم	۱۸	۴۹۶۸۸۲	۳۹۴۶۷۴۵	زیاد
۴	۵۲۱۴۲۵	۳۹۲۶۲۷۵	متوسط	۱۹	۴۸۱۸۴۵	۳۹۷۶۸۸۱	کم
۵	۵۱۶۱۹۸	۳۹۲۷۶۶۹	متوسط	۲۰	۴۴۰۵۳۴	۳۹۵۶۶۵۳	زیاد
۶	۴۶۷۷۷۴	۳۹۶۳۱۳۶	زیاد	۲۱	۴۸۱۳۹۶	۳۹۵۰۸۶۱	متوسط تا زیاد
۷	۴۶۷۷۶۸	۳۹۶۴۸۹۵	زیاد	۲۲	۴۷۴۳۳۸	۳۹۵۴۰۸۲	متوسط
۸	۵۱۰۲۴۸	۳۹۲۷۶۱۹	زیاد	۲۳	۴۶۵۵۵۱	۳۹۸۱۵۹۳	کم
۹	۴۶۸۲۸۷	۳۹۲۲۷۲۴	زیاد	۲۴	۴۶۰۵۵۴	۳۹۸۰۸۰۹	متوسط
۱۰	۴۶۳۱۹۰	۳۹۶۴۲۵۴	زیاد	۲۵	۴۵۹۴۰۸	۳۹۷۶۷۹۲	متوسط
۱۱	۴۵۵۹۱۰	۳۹۶۵۳۳۳	زیاد	۲۶	۴۵۶۸۴۲	۳۹۷۸۸۲۰	متوسط
۱۲	۴۸۴۸۶۰	۳۹۵۵۲۷۲	متوسط تا زیاد	۲۷	۴۵۳۱۰۱	۳۹۷۳۶۴۸	متوسط
۱۳	۴۴۶۴۳۸	۳۹۶۲۵۶۶	کم	۲۸	۴۵۲۱۸۹	۳۹۷۶۷۸۶	کم
۱۴	۵۱۰۱۵۲	۳۹۲۲۱۷۷	متوسط	۲۹	۴۵۲۰۴۱	۳۹۷۷۰۱۸	کم
۱۵	۴۷۷۰۰۳	۳۹۵۹۱۶۰	کم	۳۰	۴۵۴۴۱۱	۳۹۷۰۵۷۱	کم

تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر زبری

زبری سطح خاک یکی از پارامترهایی است که بیشترین حساسیت را به تغییر در ویژگی‌های زمانی و مکانی از جمله شیوه و زمان کشت و برداشت و تجمع خاک دارد (Kazmierowski et al., 2015). این عامل، نقش مهمی در تعیین چگونگی واکنش عناصر موجود بر روی زمین با محیط اطراف خود از جمله تاثیر آن بر ظرفیت ذخیره‌سازی آب در خاک دارد که این امر می‌تواند در وقوع پدیده فرسایش تاثیرگذار باشد (Yero et al., 2012). به‌منظور بررسی تغییرات زبری سطح خاک از روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری پروفیل خاک با متر، تجزیه و تحلیل سایه و شاخص‌های زبری استفاده می‌شود. شاخص‌های طیفی مختلفی به‌منظور تعیین مقدار زبری به‌کار گرفته می‌شود. نکته

مشترک اکثر شاخص‌های زبری در این است که این شاخص‌ها از نتایج حاصل از اختلاف نقاط ارتفاعی مختلف بمنظور بررسی تغییرات زبری سطح خاک استفاده می‌کنند (Hansen et al., 1999).

در این مطالعه به منظور تعیین مناطق با زبری کمتر و فرسایش‌پذیری بیشتر، از داده مدل رقومی ارتفاعی سنجنده استفاده شد. بدین منظور از روش موقعیت توپوگرافی نسبی^۱ یا شاخص موقعیت توپوگرافی^۲ به وسیله تحلیل آماری فضای همسایگی^۳ با ابعاد پنجره ۳×۳ استفاده شده است (Jenness, 2013). بدین منظور تحلیل آماری فضای همسایگی در سه مرحله بر روی DEM اعمال می‌شود. در یک گام تابع کمینه، در یک گام تابع بیشینه و گام آخر تابع متوسط بر فضای همسایگی ۳×۳ اعمال می‌شود و شاخص زبری بر اساس رابطه چهار به دست می‌آید.

$$\text{رابطه (۴)} \quad \text{TPI} = (3 \times 3 \text{meanDEM} - 3 \times 3 \text{minDEM}) / (3 \times 3 \text{maxDEM} - 3 \times 3 \text{minDEM})$$

در گام بعد، آستانه‌ی فرسایش ناپذیری مناسب بر نقشه زبری اعمال و نقشه فازی زبری سطح خاک تهیه گردید. همچنین ماسک فرسایش‌ناپذیری شاخص زبری بر اساس آستانه به دست آمد. تابع عضویت بکار گرفته شده در این مرحله نیز، خطی بود و این تابع یا افزایش میزان زبری، کاهش خطر فرسایش‌پذیری را نشان می‌داد.

تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر سازند زمین شناسی

در این مرحله ابتدا اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دریافت گردید. سپس با توجه به جنس سنگ و ذرات تشکیل‌دهنده‌ی آن، حساسیت آن‌ها به فرسایش تعیین و نقشه فازی پتانسیل فرسایش‌پذیری تهیه گردید.

تهیه نقشه کانون‌های بالقوه ریزگرد

در مرحله آخر، به منظور تعیین کانون‌های بالقوه گرد و غبار، نقشه‌های فازی منابع بالقوه در مدل ارزیابی چند معیاره^۴ به روش ترکیب وزنی خطی^۵ (Eastman, 2012) با هم تلفیق شدند. روش ترکیب وزنی خطی پرکاربردترین روش ارزیابی چندمعیاره است که در آن امتیاز استاندارد شده هر معیار (در اینجا امتیاز خروجی تابع فازی) در وزن آن ضرب می‌شود تا مجموع این امتیازهای وزندهی شده برای یک پیکسل به عنوان ارزش نهایی لحاظ شود (Malczewski and Rinner, 2015). در این روش به منظور وزندهی به لایه‌ها از روش نرخ‌دهی یا امتیازدهی^۶ استفاده شد (Malczewski, 1999) و وزن هر لایه بر اساس نظر کارشناسی تعیین شد. بدین صورت که مطابق روش امتیازدهی از یک پژوهش‌گر برجسته سنجش از دور با تخصص بیابان‌زایی درخواست شد به هر معیار ارزشی بین ۰ تا

1- Relative Topographic Position
2- Topographic Position Index
3- Focal Statistics
4- Multi-criteria evaluation(MCE)
5- Weighted linear combinations
6- Rating Method

۱۰ بدهد و در نهایت این ارزشها با یکدیگر جمع شد تا وزن نسبی هر معیار از تقسیم امتیاز آن بر امتیاز مجموع بدست آید (Malczewski and Rinner, 2015). در روش مقایسات جفتی و روش AHP، بر اساس قضاوت و تجربه هر متخصص یک میزان ناسازگاری^۱ وجود دارد (Malczewski and Rinner, 2015) و برای کاهش میزان آن به تجربه بالا در زمینه مورد بررسی نیاز است. با توجه به جدید بودن موضوع پژوهش دسترسی به چنین متخصصینی فراهم نبود، بنابراین از این روش استفاده نشده است. ماسک‌های فرسایش‌ناپذیری نیز به عنوان لایه محدود کننده در این مدل قرار گرفت. پس از بازدید میدانی و اصلاح شاخص‌ها و آستانه‌های آن‌ها بر اساس اطلاعات نقاط برداشت، نقشه کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار به دست آمد.

نتایج و بحث

مقایسه ضرایب تغییرات شاخص‌های رطوبت NDMI و WETNESS، انتخاب بهترین شاخص با بالاترین ضریب تغییرات و تولید نقشه پتانسیل فرسایش پذیری رطوبت ضرایب تغییرات NDMI و WETNESS برای ۹ تاریخ مورد بررسی، در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که در جدول ۳ مشخص است میانگین ضریب تغییرات NDMI بالاتر از شاخص رطوبت تبدیل تسلدکپ است. بنابراین قبل از عملیات میدانی شاخص NDMI به عنوان بهترین شاخص انتخاب گردید.

جدول ۳: ضرایب تغییرات شاخص‌های NDMI و TASSCAP برای ۹ تاریخ سال ۲۰۱۴

میانگین	۱۰ دی ۹۳	۲۲ آبان ۹۳	۲۰ مهر ۹۳	۱۹ شهریور ۹۳	۳ شهریور ۹۳	۱۸ مرداد ۹۳	۲ مرداد ۹۳	۱۵ اردیبهشت ۹۳	۱۱ اسفند ۹۳	cv
										شاخص
										NDMI
										WETNESS

به دلیل آنکه عملکرد شاخص NDMI بعد از برداشت‌های میدانی مناسب نشان نداد، از شاخص WETNESS برای تولید نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت و نقشه منابع بالقوه ریزگرد نهایی استفاده شد. تمامی تصاویر شاخص WETNESS (هر سه سال مورد بررسی) با یکدیگر ترکیب شد و عدد میانه برای هر پیکسل به عنوان پارامتر آماری مورد بررسی بدست آمد. هر چه مقدار رطوبت خاک بیشتر شود تا رسیدن به یک آستانه مشخص، میزان پتانسیل بادفرسایی خاک کاهش می‌یابد (Borrelli et al., 2014). بر همین اساس با اعمال یک آستانه که بر اساس عملیات

1- inconsistency

میدانی بدست آمده بود، نقشه میانه رطوبت WETNESS به شکل فازی استاندارد شد (شکل a-۴). در این نقشه مقادیر بیشتر (قرمز) نشان‌دهنده مناطق با پتانسیل فرسایش پذیری بالاتر است.

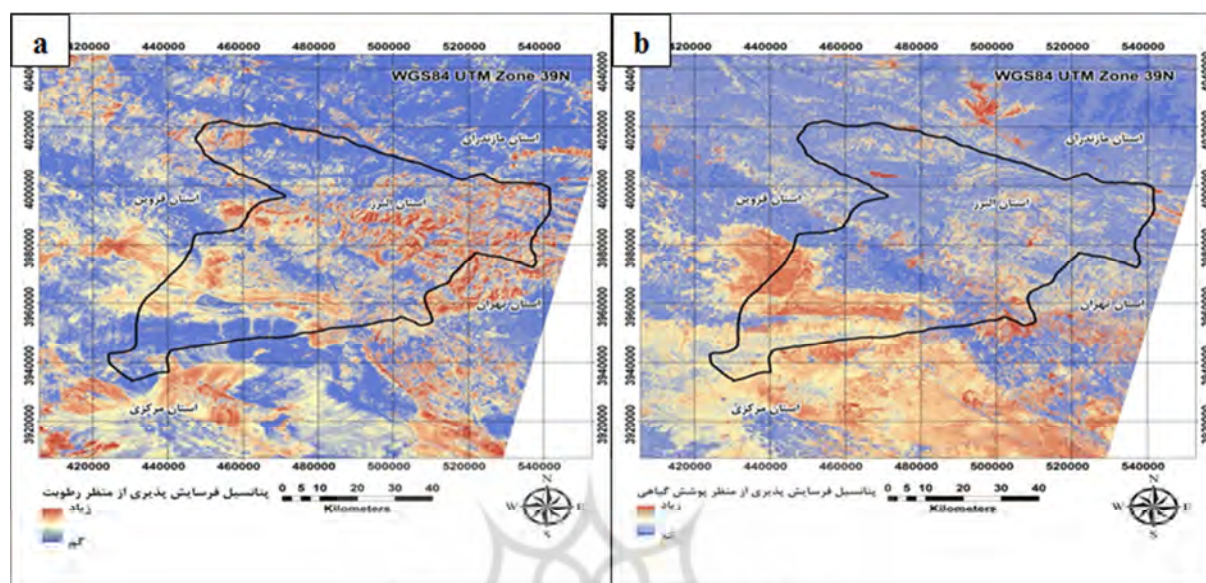
بررسی ضرایب تغییرات شاخص‌های گیاهی، انتخاب بهترین شاخص با بالاترین ضریب تغییرات و تولید نقشه پتانسیل فرسایش پذیری پوشش گیاهی

ضرایب تغییرات شاخص‌های گیاهی اعمال شده برای ۶ تاریخ ۲۰۱۴ (دوره رشد پوشش گیاهی)، در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص DVI بالاترین میانگین ضریب تغییرات را دارا است. بر این اساس شاخص طیفی گیاهی DVI بر روی همه تصاویر اعمال شد.

جدول ۴: ضرایب تغییرات شاخص‌های گیاهی برای ۶ تاریخ سال ۲۰۱۴

CV	شاخص	۱۵ اردیبهشت ۹۳	۲ مرداد ۹۳	۱۸ مرداد ۹۳	۳ شهریور ۹۳	۱۹ شهریور ۹۳	۲۰ مهر ۹۳	میانگین
DVI		۱/۰۵۳۲۶۴۱۲۸	۲/۵۳۱۸۷۰۶۱۳	۱/۹۰۰۱۲۶۵۵	۰/۷۹۴۸۸۴۸۵	۱/۵۱۳۱۶۸۷۵۱	۱/۶۶۱۸۳۷۵۵۱	۱/۵۷۵۸۵۸۷۴۱
MSAVI1		۰/۸۱۶۷۵۴۲۷۷	۰/۶۴۹۷۱۶۳۷۹	۰/۶۵۷۹۰۳۶۵۳	۰/۲۰۸۸۰۸۳۳۲	۰/۲۱۳۷۶۵۵۱	۰/۷۰۵۰۹۷۲۴۸	۰/۵۴۲۰۰۷۵۶۷
MSAVI2		۰/۸۱۰۸۹۹۷۸	۰/۸۱۰۸۹۹۷۸	۰/۶۳۳۹۹۶۲۸۴	۰/۵۵۵۶۸۳۰۵۲	۰/۶۱۵۳۶۴۰۵۴	۰/۶۹۳۹۰۷۷۷	۰/۶۸۶۷۹۱۷۸۸
NDVI		۰/۷۶۲۳۸۴۱۳۷	۰/۵۹۳۹۶۷۹۷۴	۰/۵۷۳۰۶۷۷۹۶	۰/۵۰۶۳۸۹۷۲۷	۰/۵۵۸۲۸۵۳۰۳	۰/۶۲۰۹۲۷۴۷۲	۰/۶۰۲۵۰۰۴۰۲
PVI		۱/۰۰۰۷۶۷۳۶۸	۱/۱۴۴۹۶۸۸۵۷	۱/۱۳۹۳۱۰۵۹۱	۰/۹۳۳۳۷۲۸۸۶	۱/۰۶۶۵۳۹۸۳۹	۱۰۱۱۸۲۱۶۶	۱/۰۶۷۱۹۶۰۲۴
PVI1		۱/۰۸۸۲۹۱۷۹	۱/۴۷۹۷۶۴۰۰۵	۱/۶۶۶۰۵۷۱۴۵	۱/۱۸۳۰۴۱۱۸۳	۱/۲۹۷۰۲۴۵۹۳	۱/۳۵۶۱۷۰۲۷۲	۱/۳۴۵۰۵۸۱۶۵
PVI2		۰/۶۰۷۳۹۱۰۲	۰/۰۳۹۱۶۲۲۲۷	۱/۶۳۲۸۹۷۱۹۱	۰/۴۸۶۸۵۶۰۳۲	۱/۴۵۲۸۶۶۷۸	۱/۵۶۳۰۰۹۵۹	۰/۹۶۳۶۹۷۱۴
PVI3		۰/۳۱۳۱۲۳۸۹۲	۰/۱۹۷۶۸۸۱۳۵	۰/۲۱۴۸۶۱۱۷۴	۰/۲۴۷۱۰۱۴۲۶	۰/۲۳۰۵۵۹۴۲۶	۰/۲۱۴۸۶۱۱۷۴	۰/۲۳۶۳۶۵۸۷۱
SAVI		۰/۷۴۳۹۵۸۲۴۱	۰/۶۰۸۶۹۸۴۹۵	۰/۶۰۵۰۰۷۶۳۷	۰/۵۲۶۱۶۱۶	۰/۵۷۵۰۲۰۳۸	۰/۶۳۲۲۲۶۳۷۹	۰/۶۱۵۱۸۳۲۸۹
TSAVI2		۱/۱۰۰۷۴۵۷۹۹	۱/۳۵۶۰۱۸۸۸۱	۱/۳۸۶۹۱۰۰۶۷	۱/۱۸۰۹۵۱۶۵۹	۱/۱۳۰۹۲۷۷۶۴	۰/۱۱۸۰۹۵۱۶۶	۱/۰۴۵۶۰۸۲۲۳
WDVI		۰/۵۹۶۲۰۲۵۵۵	۰/۴۰۸۳۲۸۲۴۷	۰/۴۵۲۱۴۳۱۸	۰/۵۰۳۹۲۷۳۱۱	۰/۴۳۵۸۵۷۸۶۶	۰/۴۷۱۴۰۲۹۷۲	۰/۴۷۷۹۷۷۰۲۲

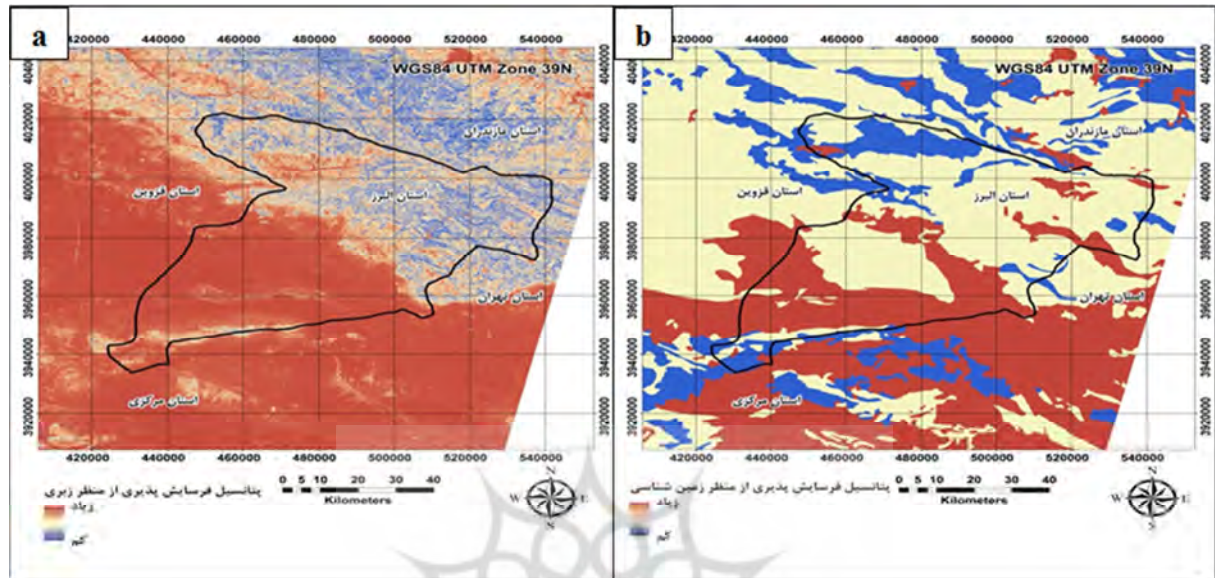
تمامی تصاویر شاخص گیاهی DVI (هر سه سال مورد بررسی) با یکدیگر ترکیب شد و عدد میانه برای هر پیکسل به عنوان پارامتر آماری مورد بررسی به دست آمد. هر چه مقدار پوشش گیاهی بیشتر باشد تا رسیدن به یک آستانه مشخص میزان پتانسیل بادفرسایشی خاک کاهش می‌یابد (Borrelli et al., 2014; Mezōsi et al., 2013). بر همین اساس با اعمال یک آستانه که بر اساس عملیات میدانی به دست آمده بود، نقشه میانه پوشش گیاهی به شکل فازی با تابع عضویت خطی استاندارد شد (شکل b-۴). در این نقشه مقادیر بیشتر (قرمز) نشان‌دهنده مناطق با فرسایش-پذیری بالاتر و پوشش گیاهی کمتر است.



شکل ۴: نقشه‌های فازی پتانسیل فرسایش پذیری از منظر رطوبت (a) و پوشش گیاهی (b)

تولید نقشه پتانسیل فرسایش پذیری از منظر زبری و سازند زمین‌شناسی

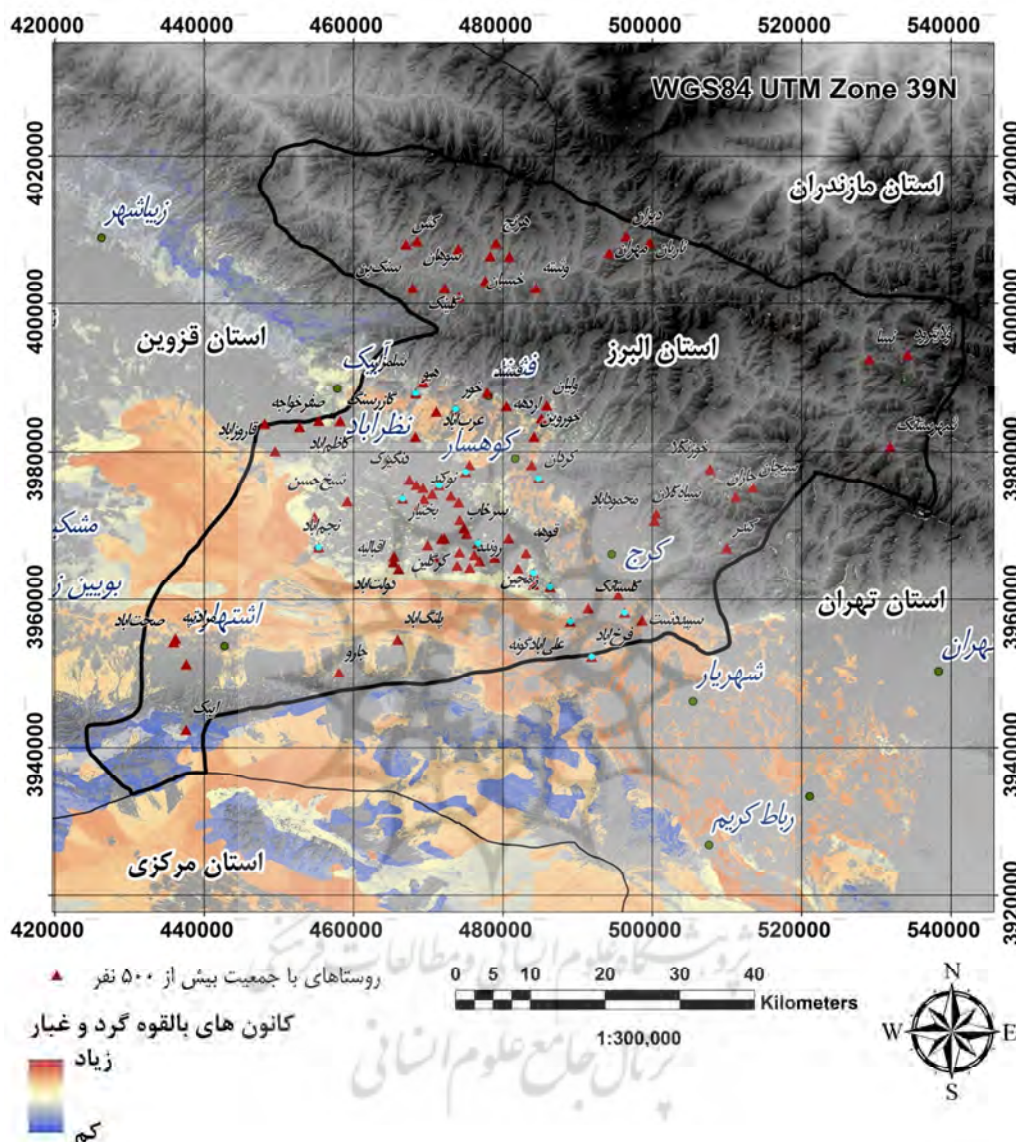
پس از اعمال شاخص زبری بر روی مدل رقومی ارتفاعی، بر اساس یک آستانه تجربی این لایه به صورت فازی استاندارد شد (شکل ۵-a) تا در ارزیابی چند معیاره قابل استفاده شود. در شکل ۵-a ارزش‌های بیشتر (قرمز)، پتانسیل فرسایش پذیری بالاتری دارند. عامل زبری در پژوهش‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال Borrelli و همکاران از عامل زبری به عنوان یکی از عوامل موثر در فرسایش بادی و انجام آنالیز فازی به منظور ارزیابی حساسیت پذیری زمین به فرسایش بادی استفاده کردند (Borrelli et al., 2014). علاوه بر این نقشه فازی پتانسیل فرسایش پذیری از منظر زمین‌شناسی بر اساس نوع سازند منطقه مطالعاتی و پتانسیل بادفرسایی در آن بر اساس تابع عضویت خطی به دست آمد (شکل ۵-b). عامل سازند زمین‌شناسی نیز بر اساس مطالعات صورت گرفته انتخاب گردید. همچنان که مشایخی و هنر دوست نیز در مطالعه خود از عامل حساسیت سازند زمین‌شناسی به فرسایش و به کار بردن تابع عضویت فازی به منظور بررسی فرآیند بیابان‌زایی استفاده کردند (Mashayekhan and Honardoust, 2011).



شکل ۵: نقشه‌های فازی پتانسیل فرسایش پذیری از منظر زبری (a) و زمین‌شناسی (b)

ارزیابی چند معیاره و تهیه نقشه کانون‌های بالقوه گرد و غبار

در شکل ۶ نقشه کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار نشان داده شده است. این نقشه بر اساس تلفیق لایه‌های پتانسیل فرسایش پذیری از منظر پستی و بلندی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و زمین‌شناسی در یک مدل ارزیابی چند معیاره به روش ترکیب وزنی خطی به دست آمد. وزن‌های هر یک از این لایه‌ها در مرحله اول بر اساس نظر کارشناسی با تلفیق روش رتبه‌ای به دست آمد و بعد از بازدید میدانی این وزن‌ها تصحیح شد و آستانه‌های استانداردسازی فازی هر لایه نیز اصلاح گردید و نقشه کانون‌های بالقوه گرد و غبار مطابق با آنچه که در مطالعات مشابه صورت پذیرفته تولید شد (Mashayekhan and Honardoust, 2011).



شکل ۶: نقشه نهایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار و موقعیت شهرها و روستاهای با جمعیت بیش از ۵۰۰ نفر (روستاها با جمعیت بیش از ۳۰۰۰ نفر با رنگ فیروزه‌ای انتخاب شده است)

نتیجه‌گیری

نقشه‌های پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت و پوشش گیاهی از پردازش داده‌های سنجنده OLI و با اعمال شاخص‌های رطوبت WETNESS و پوشش گیاهی DVI و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری زبری از پردازش مدل رقومی ارتفاع سنجنده ASTER با اعمال شاخص زبری بر روی آن تولید و به صورت فازی استاندارد گردید. علاوه بر این نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری زمین‌شناسی با تعیین حساسیت سنگ‌ها به فرسایش تولید شد. لازم به ذکر است که ابتدا

شاخص رطوبت NDMI به دلیل بالاتر بودن ضریب تغییرات آن نسبت به شاخص WETNESS برای تولید نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت استفاده شد. ولی با بررسی‌های به عمل آمده در بازدید میدانی، عملکرد این شاخص خوب نشان داده نشد به همین دلیل از شاخص رطوبت WETNESS برای تولید نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری رطوبت استفاده گردید و آستانه آن نیز در عملیات میدانی تعیین شد. همچنین آستانه‌ی شاخص پوشش گیاهی نیز با استفاده از اطلاعات نقاط برداشت عملیات میدانی، اصلاح گردید و در فازی‌سازی نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. آستانه شاخص زبری نیز در عملیات میدانی مورد تایید قرار گرفت. تلفیق همه نقشه‌های فازی پتانسیل فرسایش‌پذیری با وزن‌های مختلف در مدل ارزیابی چند معیاره، مناطق بالقوه تولید گرد و غبار را در استان البرز به خوبی مشخص کرد. نتایج حاصل از عملیات میدانی این تحقیق نیز نشان‌دهنده صحیح بودن این مناطق به عنوان کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار می‌باشد. با توجه به این که در مطالعات صورت گرفته با استفاده از سنجش از دور به منظور شناسایی منابع تولید گرد و غبار، تلفیق عوامل موثر در فرسایش بادی به صورت ارزیابی چند معیاره به ندرت انجام گرفته است و این روش در این مطالعه توانسته است منابع بالقوه گرد و غبار را شناسایی نماید، می‌توان در مطالعات آتی در این خصوص از این روش بهره برد. بر اساس مطالعات میدانی بیشترین و فعال‌ترین کانون‌های تولید گرد و غبار در بخش جنوبی استان البرز در اطراف روستای نجم‌آباد قرار گرفته‌اند (شکل ۶). با توجه به جمعیت بیش از ۳۵۰۰ نفری، این روستا بیشترین آسیب را از رویدادهای گرد و غبار خواهد پذیرفت. در اطراف این روستا، روستاهای اقبالیه، دولت آباد و محمد آباد در معرض مستقیم کانونها قرار دارند (شکل ۶). روستای قاربوزآباد یا صالحیه که در مجاورت تالابی به همین نام قرار دارد، در مجاورت فعال‌ترین کانونها واقع است و بر اساس مطالعات میدانی علت اصلی فعالیت کانونها در آن ناحیه، زهکشی تالاب مذکور برای جلوگیری از شورشدن زمینهای کشاورزی اطراف می‌باشد که نیازمند توجه ویژه‌ای است. نزدیکی کانونها به کالان شهر کرج نیز از دیگر نقاط قابل توجه است که می‌تواند کیفیت هوا این کلانشهر را به شدت تحت تاثیر قرار دهد و توجه ویژه مسوولین برای احیا تخریب‌های صورت گرفته در محل کانونها را می‌طلبد.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله از اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز که منابع مالی این پروژه را تامین نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

اداره کل حفاظت محیط زیست استان البرز، وضعیت محیط زیست استان البرز، تهدیدها، فرصت‌ها و راهکارهای پیشنهادی. ۱۳۹۴، قابل دسترس از: <http://alborz.doe.ir/portal/File/ShowFile.aspx?ID=0d70ec13-80c2-48f7-ac7a-3e3027f5c2e9>

اداره کل هواشناسی استان البرز، نگرشی بر ویژگی‌های اقلیمی استان البرز. ۱۳۹۴، قابل دسترس از: http://www.alborz-met.ir/Dorsapax/Data/Sub_0/File/pahnehbandy.p%20df.pdf

- Alimohammadi, M., Alirezaei, S., & Kontak, D.J. (2015). Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo–Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews*, 70, 290-304
- Baig, M.H.A., Zhang, L., Shuai, T., & Tong, Q. (2014). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5, 423-431
- Banks, J., Brindley, H., Flamant, C., Garay, M., Hsu, N., Kalashnikova, O., Klüser, L., & Sayer, A. (2013). Intercomparison of satellite dust retrieval products over the west African Sahara during the Fennec campaign in June 2011. *Remote Sensing of Environment*, 136, 99-116
- Basso, B., Cammarano, D., & De Vita, P. (2004). Remotely sensed vegetation indices: Theory and applications for crop management. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*, 1, 36-53
- Borrelli, P., Panagos, P., Ballabio, C., Lugato, E., Weynants, M., & Montanarella, L. (2014). TOWARDS A PAN-EUROPEAN ASSESSMENT OF LAND SUSCEPTIBILITY TO WIND EROSION. *Land Degradation & Development*
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015a). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235
- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015b). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 7, 567-578
- Christopher, S.A., & Jones, T.A. (2010). Satellite and surface-based remote sensing of Saharan dust aerosols. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1002-1007
- Eastman, J.R. (2012). IDRISI Selva Tutorial. Idrisi Production, Clark Labs-Clark University, 45, 51-63
- El-Askary, H.M., Sarkar, S., Kafatos, M., & El-Ghazawi, T.A. (2003). A multisensor approach to dust storm monitoring over the Nile Delta. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 2386-2391
- Ginoux, P., Chin, M., Tegen, I., Prospero, J.M., Holben, B., Dubovik, O., & Lin, S.J. (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106, 20255-20273
- Hansen, B., Schjønning, P., & Sibbesen, E. (1999). Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. *Soil and Tillage Research*, 52, 103-111
- Hatfield, J.L., & Sauer, T.J. (2011). Soil management: building a stable base for agriculture. *American Society of Agronomy*.
- Ichoku, C., Kaufman, Y.J., Remer, L.A., & Levy, R. (2004). Global aerosol remote sensing from MODIS. *Advances in Space Research*, 34, 820-827
- IRAN, M.F., ARAB, K.M., & AKRAM, M. (2005). INVESTIGATION OF DUST ORIGINS AND CHARACTERISTICS OF THEIR SPREADING IN SISTAN'S STORMS, IRAN REGION, USING IMAGE PROCESSING
- Jenness, J. (2013). DEM surface tools for ArcGIS. Jenness Enterprises, 1-96
- Jin, S., & Sader, S.A. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94, 364-372
- Kazmierowski, C., Ceglarek, J., Królewicz, S., Cierniewski, J., University, A.M., Jasiewicz, J., & Wyczałek, M. (2015). Soil surface roughness quantification using DEM obtained from UAV photogrammetry
- Kneubühler, M., Koetz, B., Richter, R., Schaepman, M., & Itten, K. (2005). Geometric and radiometric pre-processing of CHRIS/PROBA data over mountainous terrain. In: Proc. 3rd CHRIS/PROBA Workshop, Frascati (I) (pp. 21-23)
- Lancaster, N., & Baas, A. (1998). Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, 69-82
- Lee, J.A., Baddock, M.C., Mbuh, M.J., & Gill, T.E. (2012). Geomorphic and land cover characteristics of aeolian dust sources in West Texas and eastern New Mexico, USA. *Aeolian Research*, 3, 459-466
- Leys, J.F., & Mctainsh, G.H. (1996). SEDIMENT FLUXES AND PARTICLE GRAIN-SIZE CHARACTERISTICS OF WIND-ERODED SEDIMENTS IN SOUTHEASTERN AUSTRALIA. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 661-671
- Liu, Q., Liu, G., Huang, C., Liu, S., & Zhao, J. (2014). A tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI TOA reflectance images. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International* (pp. 541-544): IEEE
- Long, X., Li, N., Tie, X., Cao, J., Zhao, S., Huang, R., Zhao, M., Li, G., & Feng, T. (2016). Urban dust in the Guanzhong Basin of China, part I: A regional distribution of dust sources retrieved using satellite data. *Science of the Total Environment*, 541, 1603-1613
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons.
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer.
- Mashayekhan, A., & Honardoust, F. (2011). Multi-criteria evaluation model for desertification hazard zonation mapping using GIS (Study Area: Trout Watershed, Golestan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 1, 331-339
- Mezősi, G., Blanka, V., Bata, T., Kovács, F., & Meyer, B. (2013). Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1, 4713-4750
- Miller, R., Tegen, I., & Perlwitz, J. (2004). Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109

- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., & Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40
- Raupach, M.R., & Lu, H. (2004). Representation of land-surface processes in aeolian transport models. *Environmental Modelling & Software*, 19, 93-112
- Samadi, M., Bolorani, A.D., Alavipanah, S.K., Mohamadi, H., & Najafi, M.S. (2014). Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12, 1
- Schepanski, K., Tegen, I., & Macke, A. (2012). Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas. *Remote Sensing of Environment*, 123, 90-97
- Shahraiyani, H.T., Karimi, K., Nokhandan, M.H., & Moghadas, N.H. (2015). Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 2095-2110
- Tarekegn, T.H., Haile, A.T., Rientjes, T., Reggiani, P., & Alkema, D. (2010). Assessment of an ASTER-generated DEM for 2D hydrodynamic flood modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 457-465
- Waggoner, D.G., & Sokolik, I.N. (2010). Seasonal dynamics and regional features of MODIS-derived land surface characteristics in dust source regions of East Asia. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2126-2136
- Webb, N.P., McGowan, H.A., Phinn, S.R., & McTainsh, G.H. (2006). AUSLEM (Australian Land Erodibility Model): A tool for identifying wind erosion hazard in Australia. *Geomorphology*, 78, 179-200
- Webb, N.P., & Strong, C.L. (2011). Soil credibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models. *Aeolian Research*, 3, 165-179
- Yero, S.A., Hainin, M.R., & Yacoob, H. (2012). DETERMINATION OF SURFACE ROUGHNESS INDEX OF VARIOUS BITUMINOUS PAVEMENTS. *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 13
- Zhang, B., Tsunekawa, A., & Tsubo, M. (2008). Contributions of sandy lands and stony deserts to long-distance dust emission in China and Mongolia during 2000–2006. *Global and Planetary Change*, 60, 487-504
- Zhou, Y., Chang, X., Ye, S., Zheng, Z., & Lv, S. (2015). Analysis on regional vegetation changes in dust and sandstorms source area: a case study of Naiman Banner in the Horqin sandy region of Northern China. *Environmental Earth Sciences*, 73, 2013-2025
- Zobeck, T., Parker, N., Haskell, S., & Guoding, K. (2000). Scaling up from field to region for wind erosion prediction using a field-scale wind erosion model and GIS. *Agriculture, ecosystems & environment*, 82, 247-259.

Identification of potential dust sources using remote sensing data (Case Study: Alborz Province)

Behzad Rayegani*¹

Received: 23-01-2017

Accepted: 03-09-2017

Abstract

Dust is one of the important processes of arid and semiarid regions that its occurrence has increased in recent years in Iran. Identifying the dust and sand sources, it is the first step in the management and control of this phenomenon. Because of the arid and semiarid climates where dust phenomenon takes place, always there are large areas to monitor and control that practically makes it impossible to manage them. Therefore, reduce the candidate regions to actual sources is one of the main concerns of the researchers. In this paper, identification of potential dust sources using remotely sensed data has been studied. Various spectral indices of moisture and vegetation were applied on the OLI sensor data and finally, wetness spectral index of Tasseled Cap Transformation and DVI vegetation index were selected based on their variation in the study area and was applied on satellite images from 2013 to 2015 and credibility potential maps of moisture and vegetation was produced. Roughness index was applied on the ASTER digital elevation model and credibility potential map of roughness was produced. Erosion sensitivity map of rocks was produced using geological maps. Potential dust sources map was prepared with a combination of credibility potential maps in multi- criteria evaluation model and validate using field based and these areas were visited based on stratified random sampling scheme. Results showed that as well can be identified potential dust sources using satellite images and determining to apply various indices.

Keywords: Tasseled Cap Transformation, DVI, OLI, ASTER, Roughness, potential dust sources.

¹*- Assistant Professor, Natural Environment and Biodiversity Department, College of Environment, Department of Environment, Karaj, Iran
Email: behzad.rayegani@gmail.com