



بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای

فاضل ایرانمنش و محمود عرب خدری، اعضای هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مجتبی اکرم، کارشناس ارشد مهندسی مشاور آساران

تاریخ دریافت: آذر ماه ۱۳۸۲ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۸۳

E-mail: iranmanesh@scwmri.ac.ir

چکیده

این تحقیق با هدف شناخت مناطق برداشت طوفان‌های غبارزا و چگونگی انتشار ذرات گرد و غبار با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه سیستان انجام پذیرفته است. طوفان‌های گرد و غبار در سطح وسیعی از این منطقه گسترش دارند و قادرند ذرات گرد و غبار را تا مناطق دور دست انتقال دهند، لذا برای تشخیص آنها تصاویری با پوشش زیاد و قابلیت تکرار مورد نیاز است. سنجنده MODIS از ماهواره TERRA علاوه بر ویژگی‌های فوق، بازه وسیعی از انرژی تابشی را در محدوده‌های طیفی مرئی و نامرئی دریافت می‌کند که از این نظر برای اهداف مورد نظر قابل استفاده می‌باشد. به این منظور از چهار تصویر سنجنده MODIS مربوط به سال ۲۰۰۱ میلادی استفاده گردید. علاوه بر این از تصاویر لندست ۷ (ETM+) منطقه برای تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی^۲ و از آمار باد ایستگاه هواشناسی زابل در روزهای مورد بررسی نیز استفاده شد. اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تصاویر نشان داد که، جهت بادها در طوفان‌های منطقه سیستان، به‌طور عمده بین ۳۳۹ تا ۳۴۶ درجه می‌باشد که با جهت عمومی بادهای فرساینده در ایستگاه هواشناسی زابل هماهنگی دارد. با تفسیر چشمی تصاویر مشخص گردید که، اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گرد و غبار بر روی دریاچه هامون ساپوری قرار دارد و مسیر طوفان‌ها نیز به‌طور مجزا از دالان‌های موازی با گرد و غبار بسیار غلیظ و دالان‌های دیگری با غلظت کمتر به سمت ایران، افغانستان و پاکستان ادامه می‌یابد. نتایج حاصل از نقشه شاخص پوشش گیاهی از روی تصاویر لندست ۷ نیز مشخص کرد که، مقادیر بالای این شاخص (۰/۲۴) در حواشی شرقی دریاچه هامون ساپوری مربوط به وجود پوشش گیاهی تقریباً انبوه می‌باشد. مقایسه بین رفتار بازتابی نمونه‌ها در دالان‌های گرد و غبار با غلظت‌های کم و زیاد نشان داد، رفتار بازتابی ذرات از محل برداشت تغییرات کمی با یکدیگر دارند. اما پس از آن، دالان‌های گرد و غبار با غلظت کم و زیاد تشکیل می‌شوند.

کلمات کلیدی: تصویر ماهواره‌ای TERRA-MODIS، لندست ۷ ETM+، شاخص پوشش گیاهی، طوفان، گرد و غبار.

Pajouhesh & Sazandegi No:67 pp: 25-33

Investigation of dust origins and characteristics of their spreading in Sistan's storms, Iran region, using image processing

By: F. Iranmanesh, Mahmood Arabkhedri & Mojtaba Akram, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.

This study has done to determine the origin of dust storm and spreading of dust using satellite image processing. Since dust storms occur in large area and can transport a lot of dusts in long distances, large-scale repeatable images were needed. Besides the above-mentioned specification, the MODIS sensor from TERRA satellite receives long wavelengths of electromagnetic, which can be used to meet the purposes of this study. Five images of MODIS taken in 2001 were used in this project to meet the above purposes. An image of Landsat taken in 2001 was also used to prepare NDVI. The measurements on the images of dust storm showed that the directions of dominant winds in Sistan's dust storm are between 339 to 346 degrees. These directions coincided with the directions of erosive winds in Zabol synoptic meteorological station. Visual interpretation on the origin and the storm ways of dust storm showed that the dust storm starts over Hamoon Sabory Lake, and long passageways with heavy dust are separated from light dust, and to continue towards Iran, Afghanistan and Pakistan. These passageways seem like cones the head of which are at the origin and the bases towards the opposite direction. On the other hand, the extracted Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) with its high values (0.24) of it was showed condensed vegetation in southern shores area of Sabory Lake. The comparison between the spectral signature of samples with heavy and light dust showed that, it had a little variation with each other. But afterwards, the passageways with heavy and light dust were formed.

Key words: Dust storm, Landsat ETM+, NDVI, Satellite Images and TERRA- MODIS

مقدمه

با توجه به اهمیت فرسایش بادی در مناطق مختلف ایران، مطالعات و پژوهش‌هایی در زمینه‌های مناطق تحت سیطره فرسایش بادی، منشأیابی ماسه‌های روان و به شکل محدودتری تحقیقاتی بر روی طوفان‌ها انجام گرفته است. دفتر فنی تثبیت شن و بیابان زدائی با همکاری شرکت مهندسی مشاور توسعه و احیای کشاورزی (۶)، بر اساس طرح شناسایی کانون‌های فرسایش بادی و تعیین اولویت‌های اجرایی مشخص کرد که، ۱۴ استان کشور تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند. از بین آنها، استان سیستان و بلوچستان با ۲۲۹۱۷۴ هکتار بالاترین رتبه را به خود اختصاص داده است. سهم منطقه سیستان در این استان از نظر مناطق تحت سیطره فرسایش بادی به دلیل فراوانی وقوع طوفان‌های غبارزا، نسبت به سایر مناطق بیشتر است. Washington و همکاران (۱۰) نیز منطقه سیستان ایران را یکی از مراکز طوفان‌زایی معرفی می‌کنند که در آن به‌طور متوسط سالانه بیش از ۷۰ روز طوفان‌های گرد و غبار وجود دارد. این منطقه به طور عمده جلگه‌ای پهناور است که در شرق ایران و شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. از ویژگی‌های عمده آن بادهای صد و بیست روزه سیستان است. این باد از حدود اوایل خرداد تا اواخر شهریور ادامه دارند.

ملکوتی (۷) چگونگی حرکت تپه‌های ماسه‌ای در منطقه سیستان را مورد مطالعه قرار داد. نامبرده با استفاده از تفسیر و مقایسه عکس‌های هوایی سالهای ۱۳۳۵ و ۱۳۴۵ ابتدا جهت توسعه تپه‌های ماسه‌ای و ارتباط

آن با بادهای غالب را مورد بررسی قرار داده و سپس با نمونه‌برداری از رسوبات بادی و بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها، چند دسته از اراضی شامل ساحل رودخانه هیرمند و شعب آن، سواحل دریاچه هامون، اراضی متروکه و فاقد پوشش گیاهی را منشأ تپه‌های ماسه‌ای شرق زابل معرفی کرده است. اختصاصی و همکاران (۲) با بررسی و مقایسه عکس‌های هوایی، مطالعه بادهای منطقه و بررسی مرفولوژی نهشته‌های بادی، منشأ یابی تپه‌های ماسه‌ای در حوزه دشت یزد-اردکان را آبرفت‌های ریزدانه دشت سرپوشیده یزد اردکان حد فاصل ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر تشخیص دادند. احمدی (۱) با همکاری اختصاصی و بر اساس مجموعه‌ای از تجارب بدست آمده روشی را برای مطالعات منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای ارائه کرده‌اند که با استفاده از آن می‌توان منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای را انجام داد. اشتری مهرجردی و همکاران (۳) کارائی مناسب تصاویر ماهواره‌ای لندست را در تفکیک واحدهای زمین نظیر پدیمت، مخروطه افکنه‌های فعال و نیمه فعال، رسوبات بادی و شن‌های روان که می‌تواند یکی از پایه‌های اصلی و مهم مطالعات منشأیابی باشد را نشان دادند.

به رغم اهمیت زیاد طوفان‌ها از نظر برداشت و جابجایی ذرات رویه خاک مانند هوموس، رس و املاح خاک که می‌تواند علاوه بر کاهش حاصل‌خیزی اراضی کشاورزی، موجب آلودگی هوا، مشکلات تنفسی و کاهش میدان دید به خصوص برای تردد وسایل نقلیه نیز گردند، تحقیقات محدودتری در ایران انجام شده است. یکی از دلایل، مشکلات مربوط به اندازه‌گیری این پدیده می‌باشد. پاشایی (۴) در تحقیقی بر اساس وضعیت

مقابله با طوفان‌ها در مناطق برداشت، خسارات احتمالی زیست محیطی ناشی از آن را نیز در منطقه کم‌رنگ کرد.

مواد و روش‌ها

مواد

داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این تحقیق قابل تقسیم به دو گروه عمده هستند. گروه اول، اطلاعات مکانی^۴ شامل تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و گروه دوم، اطلاعات توصیفی می‌باشند. تصاویر ماهواره‌ای ذاتاً رقومی هستند و شامل چهار تصویر Terra-Modis مربوط به سال ۲۰۰۱ که طوفان در آنها اتفاق افتاده بود و دو تصویر از ماهواره لندست^۷ ETM^۲ مربوط به سال ۲۰۰۰ میلادی می‌باشد. نقشه‌های توپوگرافی نیز شامل ۴ برگ نقشه سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ بودند که پس از انجام مراحل تولید داده در سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، تبدیل به اطلاعات رقومی شدند (جدول ۱). از اطلاعات توصیفی^۵ مانند، آمار سرعت و جهت بادهای غالب (جدول ۲) و اطلاعات حاصل از برداشت‌های میدانی برای طرح استفاده شد.

روش‌ها

پیش پردازش‌های تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر بدست آمده از فضا دارای برخی خطاهای هندسی و ژئومتری می‌باشند. برای رفع این معضل، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی^۶ ۱:۲۵۰۰۰۰، بازدیدهای صحرایی و برداشت نقاط کنترل زمینی با GPS (جدول ۳)، ریشه متوسط مربع خطاها^۷ محاسبه و میزان آن برطرف گردید. در این مرحله ابتدا تصاویر لندست و سپس تصاویر MODIS تصحیح هندسی شدند.

پس از تصحیح خطاهای هندسی، به منظور استخراج الگوها و تفسیر چشمی تصاویر، از روش‌های بارزسازی طیفی تک بانندی مانند بسط تباین به روش خطی^۸ و بارزسازی به روش هیستوگرام فراوانی^۹ برای باندها استفاده گردید. با افزایش کیفیت باندها به روش‌های فوق، پارامتر همبستگی بین باندها محاسبه شد (جدول ۴) و ترکیب‌های رنگی کاذب^{۱۰} (FCC) مناسب معرفی گردیدند.

تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای

برای تفسیر چشمی تصاویر، ترکیب‌های رنگی کاذب با سایر داده‌ها و اطلاعات مکانی و توصیفی مانند نقشه‌های توپوگرافی و آمارهای مربوط به باد تلفیق گردیدند. در این راستا، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی و محل‌های شاخص مانند شهرستان زابل، مسیر رودخانه هیرمند، مرز هامونها، محدوده گسترش تپه‌های ماسه‌ای و غیره رقومی شدند. سپس با روی هم‌اندازی آنها با تصاویر، مناطق برداشت ذرات گرد و غبار، چگونگی انتشار آنها، طول مسیر و جهت طوفان‌ها و سطوح پوشیده از گرد و غبار در منطقه سیستان و کشورهای افغانستان و پاکستان بر روی تصاویر MODIS و عوارضی مانند پوشش گیاهی و اراضی کشاورزی بر روی تصاویر لندست ETM^۲ بررسی گردیدند.

تعیین شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

با توجه به نقش پوشش گیاهی در انتشار ذرات گرد و غبار و با مشخص

توپوگرافی منطقه و جهت بادهای غالب غربی و موسمی شرقی مشخص کرد که، کوه‌ها و کوهپایه‌های اطراف اهواز منشاء تپه‌های ماسه‌ای می‌باشند. وی همچنین با اندازه‌گیری میزان گرد و غبار حمل شده در یکسری گردگیر مرکب از ۹ عدد در ارتفاعات ما بین صفر و ۷ متری در منطقه فوق نشان داد که، میزان قابل توجهی از ذرات گرد و غبار توسط طوفان‌های منطقه حمل می‌شوند. رفاهی^(۵) به نقل از منابع علمی سهم گرد و غبار ناشی از طوفان‌ها را در انتقال و جابجایی مواد بسیار با اهمیت دانسته و آن را معادل یک سوم کل مواد جابجا شده ذکر می‌کند.

در سال‌های اخیر با پیشرفت فن‌آوری سنجش از دور، پژوهش‌هایی در سطح بین‌المللی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. کنوانسیون بیابان‌زدایی سازمان ملل متحد^۹ UNCCD (۹) به نقل از Wang و همکاران با بررسی طوفان‌های سیاه در شمال غرب چین، ضمن اشاره به ترکیب رنگی نور خورشید در طول موج‌های بین ۰/۴ تا ۰/۷۵ میکرومتر، اثر اندازه ذرات را بر روی میزان پخش آتمسفری در طول موج‌های مختلف بررسی کرده و نشان داد، ذراتی که به شکل معلق در طوفان‌ها و در ارتفاع بالا می‌باشند، باعث پخش طول موج زرد شده و به همین دلیل قسمت فوقانی طوفان‌ها زرد رنگ دیده می‌شوند. در مقابل، ذراتی که درشت تر و در ارتفاع پایین تر هستند، می‌توانند طول موج قرمز را پخش کنند. بنابراین، این قسمت به رنگ قرمز دیده می‌شود. طبقات پایین طوفان‌ها نیز به دلیل انکسار در کلیه طول موج‌ها همیشه تیره می‌باشند. همچنین این کنوانسیون به نقل از تحقیقات Xu Yihui، اشاره می‌کند که، در مناطق آب و هوایی خشک و بیابانی، به دلیل پوشش گیاهی کم، میزان بازتاب سطح در طیف مرئی، به رنگ خاکستری تا خاکستری روشن می‌باشد^(۹). میزان این بازتاب شبیه به بازتاب ابرهای کم ارتفاع است. با این تفاوت که برخلاف ابرها، مرز طوفان‌ها دارای آشفتگی و کمتر قابل تشخیص است. تحقیق دیگری توسط Zheng و همکاران^(۱۱) در خصوص طوفان شن و گرد و غبار در شمال غرب چین به تاریخ پنجم ماه می ۱۹۹۳ نشان داد، تصاویر NOAA قابلیت خوبی برای ردیابی طوفان‌ها دارند و میزان بازتاب از قسمت فوقانی طوفان‌ها تفاوت‌های آشکاری با میزان بازتاب از سطح زمین دارد. Doasari^(۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و اندازه‌گیری‌های صحرایی در هشتاد سایت متفاوت از بیابان‌های کویت نشان دادند که، بین بازتاب طیفی و مواد سطحی بیابان‌های ارتباط وجود دارد. آنها با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت نشده و عملیات میدانی محدوده‌های لکه‌های نفتی، مناطق مرطوب، ماسه‌های فعال و مناطق با پوشش گیاهی را تفکیک نمودند. همچنین دریافتند که، بازتاب‌های بالا در برخی از سایت‌های نمونه‌برداری مربوط به رنگ روشن ماسه‌هایی است که اخیراً جابجا شده و دانه‌بندی کوچکی دارند.

با وجود اینکه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای کاربرد زیادی در بررسی ویژگی‌های طوفان‌های غبار زا دارد، ولی در ایران گزارشی در ارتباط با این موضوع در دست نیست. این تحقیق سعی دارد با استفاده همزمان از دو نوع تصویر ماهواره‌ای MODIS و لندست و ادغام نتایج حاصله از هر کدام، مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آنها اعم از طول مسیر، جهت طوفان‌ها و سطوح پوشیده از گرد و غبار را در طوفان‌های سیستان بررسی نماید. از این‌رو، با شناسایی ویژگی‌های طوفان‌ها، می‌توان علاوه بر متمرکز نمودن فعالیت‌های دستگاه‌های اجرایی برای کنترل و

جدول (۱) مشخصات اطلاعات مکانی مورد استفاده

ردیف	نوع داده	تاریخ
۱	MODIS	May-۱۸-۲۰۰۱
۲	MODIS	Jun-۰۲-۲۰۰۱
۳	MODIS	Jun-۱۱-۲۰۰۱
۴	MODIS	Jul-۰۴-۲۰۰۱
۵	ETM+ (۱۵۷-۰۳۹)	Apr-۱۲-۲۰۰۰
۶	ETM+ (۱۵۷-۰۳۸)	Jun-۰۷-۲۰۰۰
۷	نقشه‌های توپوگرافی ۴۱-۱ NG ۴۱-۲ NG ۴۱-۵ NG ۴۱-۶ NG	۱۳۷۸ ، ۱۳۷۶ ، ۱۳۷۸ ، ۱۳۷۸

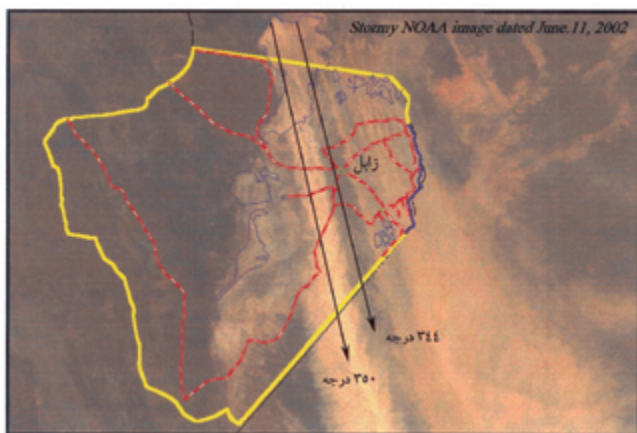
جدول (۲) سرعت و جهت باد ایستگاه زابل در ۴ روز طوفانی دارای تصویر ماهواره‌ای

تاریخ ۲۰۰۱ میلادی	زمان به وقت گرینویچ (ساعت)															
	۰		۳		۶		۹		۱۲		۱۵		۱۸		۲۱	
	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج	س	ج
۱۸ می	۳۴۰	۲۰	۳۴۰	۲۱	۳۳۰	۲۴	۳۲۰	۱۵	۳۴۰	۱۲	۳۲۰	۱۲	۳۱۰	۱۳	۳۲۰	۱۵
۲ ژوئن	۳۳۰	۲۰	۳۳۰	۲۳	۳۴۰	۲۰	۳۶۰	۱۸	۳۲۰	۱۵	۳۳۰	۱۵	۳۳۰	۲۰	۳۴۰	۱۹
۱۱ ژوئن	۳۳۰	۱۹	۳۴۰	۲۱	۳۳۰	۲۴	۳۳۰	۲۲	۳۲۰	۱۵	۳۱۰	۱۷	۳۲۰	۱۷	۳۱۰	۲۲
۴ جولای	۳۳۰	۱۶	۳۴۰	۱۸	۳۴۰	۲۰	۳۲۰	۲۳	۳۲۰	۱۵	۳۳۰	۱۵	۳۴۰	۱۳	۳۳۰	۲۳

* س = سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه ** ج = جهت باد بر حسب درجه

جدول (۳) مشخصات نقاط کنترل زمینی

ردیف	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	مختصات متریک (X)	مختصات متریک (Y)	توضیحات
۱	۶۰-۵۱-۳۸	۳۰-۱۱-۰۴	۲۹۴۰۳۷	۳۳۴۱۱۸۳	دو راهی دشتک
۲	۶۱-۰۲-۰۴	۳۰-۱۵-۵۶	۳۱۰۹۲۵	۳۳۴۹۸۴۹	پل شیشه
۳	۶۱-۲۴-۴۴	۳۰-۴۲-۱۲	۳۴۸۱۰۱	۳۴۰۷۰۴۸	تقاطع روستای اسلام آباد
۴	۶۱-۲۷-۲۴	۳۰-۵۲-۲۹	۳۵۲۴۷۴	۳۴۱۶۷۶۲	تقاطع روستای محمد آباد



شکل (۲) وجود دالان‌های گرد و غبار با غلظت‌های متفاوت بر روی تصویر MODIS

مختلف نشان می‌دهد.

نتایج

از بین ترکیب‌های رنگی تهیه شده جهت تفسیر چشمی تصاویر لندست، ترکیب ۱، ۴ و ۷ با مدل رنگ RGB برای تفسیر عوارضی مانند پوشش گیاهی، اراضی کشاورزی، سطوح دریاچه‌ها و توده‌های آب مناسب تشخیص داده شد. این برتری در ترکیب باندی فوق، بیشتر مربوط به خصوصیات هر کدام از باندها در ذخیره سازی اطلاعات بازتابی عوارض و پایین بودن میزان همبستگی بین آنها می‌باشد (جدول ۴). زیرا باند یک بازتاب توده‌های آبی، باند ۴ بازتاب ناشی از پوشش گیاهی زنده و باند ۷ نیز ویژگی‌های خاک و رطوبت آن را ثبت و ذخیره می‌کند، شکل-۱. تفسیر چشمی تصاویر MODIS نیز نشان داد که، عمده‌ترین محل برداشت و مرکز طوفان‌ها بر روی دریاچه هامون ساابوری قرار دارد و پس از آن هامون پوزک و هامون هیرمند در درجات بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. سایر مناطق نیز در تولید گرد و غبار سهم دارند، ولی اهمیت آنها در مقایسه با هامونها ناچیز می‌نماید. همچنین بررسی‌های دیگر بر روی تصاویر MODIS نشان داد که، تفاوت‌هایی از نظر تراکم و غلظت مواد حمل شده در هر واقعه وجود دارد. به طوری که دالان‌هایی از گرد و غبار بسیار غلیظ به رنگ زرد توسط دالان‌های دیگری با غلظت کمتر و به رنگ تیره از هم جدا شده‌اند (شکل ۲). وجود چنین پدیده‌ای در کلیه طوفان‌های مورد نظر به وقوع پیوسته و امتداد چنین دالان‌هایی از شروع تا پایان طوفان ادامه دارد. بنابراین برای پی بردن به علت چنین پدیده‌ای لازم بود که، بررسی‌های بیشتری بر روی دریاچه هامون ساابوری و مناطق اطراف به عنوان منطقه برداشت و مرکز طوفان‌ها صورت پذیرد. بدین منظور از تصاویر لندست که قدرت ریزبینی بالاتری نسبت به تصاویر MODIS دارند، استفاده شد. ترکیب‌های رنگی کاذب از باندهای متفاوت تصاویر لندست علائمی را از وجود پوشش گیاهی در حاشیه هامون ساابوری نشان داد. این مسئله با تهیه نقشه شاخص پوشش گیاهی اثبات گردید. میزان این شاخص برای منطقه سیستان بین ۰/۶۳ - تا ۰/۲۴ می‌باشد. نقاط روشن در تصویر فوق دارای NDVI بالا و نقاط تیره رنگ دارای NDVI پائین هستند. مقادیر بالای شاخص پوشش

شدن محل‌های احتمالی پوشش گیاهی بر روی تصاویر لندست، برای دستیابی به نحوه توزیع و میزان آن و همچنین انطباق اطلاعات پوشش گیاهی با تصاویری که طوفان در آنها به وقوع پیوسته بود، از شاخص پوشش گیاهی استفاده شد. میزان این شاخص از ۱+ تا ۱- متغیر است. بالاترین مقدار، نشان دهنده بیشترین میزان تراکم پوشش گیاهی است و پایین‌ترین مقدار عوارضی مانند آب و برف و مقادیر نزدیک به صفر خاک لخت را نمایش می‌دهند. برای محاسبه شاخص فوق از رابطه زیر استفاده شد.

$$NDVI = NIR - R / NIR + R$$

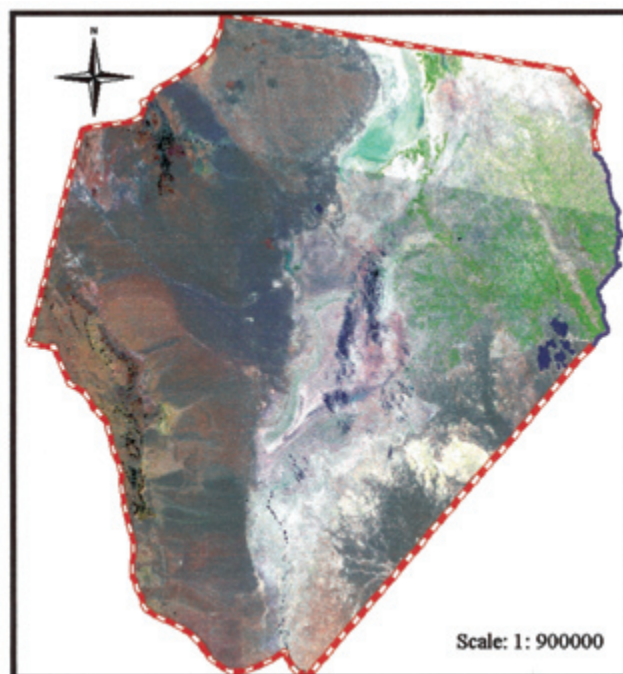
در این رابطه:

$$NIR = \text{باند مادون قرمز نزدیک}$$

$$R = \text{باند قرمز}$$

تغییرات بازتابی ذرات گرد و غبار در طوفان‌ها

شرایط بازتابی ذراتی که در طوفان‌ها حمل می‌شوند بستگی به عواملی همچون اندازه ذرات، شرایط طبیعی منطقه، فاصله گرفتن از محل برداشت، ارتفاع ذرات و غیره دارد. از این رو، محدوده‌هایی مانند پوشش گیاهی، سطوح هامون‌ها و اراضی کشاورزی با تصاویر MODIS قطع داده شدند. سپس با استفاده از ۷۹ نمونه در دو مسیر جداگانه با غلظت‌های مختلف، تغییرات بازتابی ذرات نسبت به فاصله گرفتن آنها از محل شروع طوفان‌ها بررسی گردید. شکل (۲) مسیرهای برداشت نمونه‌ها را در غلظت‌های



شکل (۱) ترکیب رنگی کاذب لندست ۱-۴-۷ RGB مربوط به سال ۲۰۰۰

روی هم اندازی لایه‌های دیگر مانند مرز منطقه سیستان، محدوده آبادی‌ها و مناطق مسکونی و راه‌ها در محیط GIS مشخص شد که، زابل در مسیر دالان‌های غلیظ طوفان قرار ندارد، شکل ۲- به نظر می‌رسد تجارب محلی شبیه آنچه که در انتخاب محل‌های کم خطر برای روستاها و شهرها از نظر سیل وجود داشته در مکان‌یابی این شهر نیز مؤثر بوده است.

بررسی سرعت و جهت باد در ایستگاه زابل نشان داد که، سرعت باد از حداقل ۱۲ تا حداکثر ۲۴ متر بر ثانیه (معادل ۴۳ تا ۸۶ کیلومتر در ساعت) متفاوت بوده است و جهت بادهای در طوفان‌های منطقه سیستان، عمدتاً بین ۳۳۹ تا ۳۴۶ درجه می‌باشد که، با جهت عمومی بادهای فرساینده در ایستگاه هواشناسی زابل هماهنگی دارد. از طرف دیگر طول مسیر در طوفان‌های مختلف بین ۲۰۰ تا ۴۵۰ کیلومتر می‌باشد. با این سرعت، زمان لازم برای طی این مسافت ۲/۵ تا ۱۱ ساعت طول می‌کشد. با توجه به فاصله ۶۰ کیلومتری هامون ساپوری تا شهر زابل می‌توان نتیجه گرفت که حدود یک ساعت پس از شروع طوفان‌هایی با این سرعت گرد و خاک از برخاستگاه اصلی به زابل می‌رسد (جدول ۲).

نتایج اندازه‌گیری سطوح پوشیده از گرد و غبار ناشی از طوفان‌ها با استفاده از تصاویر MODIS در منطقه سیستان و دو کشور افغانستان و پاکستان نشان داد که، این سطوح با یکدیگر متفاوت است، جدول (۵). اختلاف مساحت در رویدادهای مختلف به ۴ برابر نیز می‌رسد. در تمام طوفان‌های بررسی شده سطح پوشیده از گرد و غبار مربوط به ایران (منطقه سیستان) و افغانستان تغییرات کمی در مقایسه با تغییرات مساحت کل طوفان‌ها نشان می‌دهد. زیرا منشأ این طوفان‌ها در قسمت‌های شمالی دریاچه ساپوری نزدیک به مرز کشور ما قرار دارد و فقط در طوفان‌های بسیار شدید طوفان به پاکستان می‌رسد. در هر حال، به‌طور عموم، طوفان‌ها در افغانستان بیشترین سطح را دارند. همانطور که ملاحظه می‌شود در طوفان‌های خفیف تر مساحت پوشیده شده توسط گرد و غبار در کشور پاکستان صفر است.

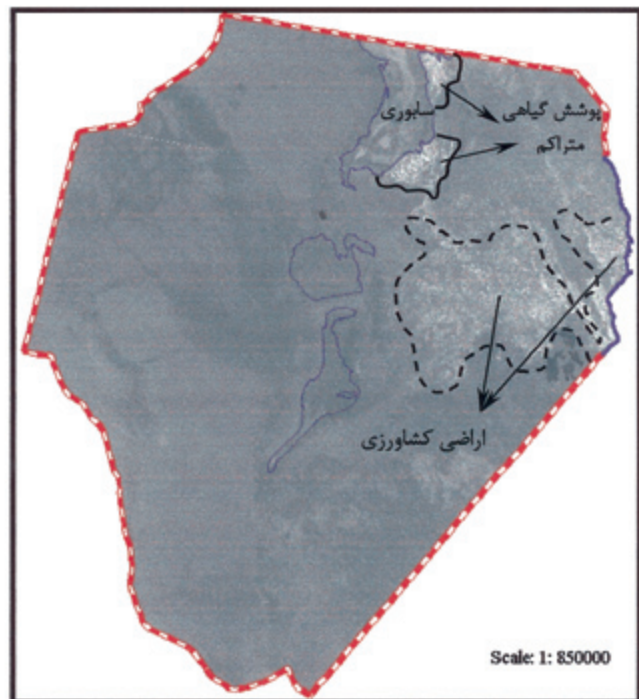
بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تصاویر لندست ETM⁺ ۷ در این طرح، به دلیل قدرت ریز بینی بالاتر آنها نسبت به تصاویر MODIS، کمک زیادی در تفسیر انتشار ذرات گرد و غبار در طوفان‌های منطقه سیستان نموده است. این تحقیق کاربرد تصاویر ماهواره‌ای را برای تعیین مرکز طوفان‌ها و ردیابی آنها، به‌طوری که Zheng (۱۱) و سایرین به آن اشاره داشته است، مناسب می‌داند. بر خلاف آنچه در برخی منابع آمده است، منشأ طوفان‌های منطقه سیستان در مناطق خیلی دور دست نیست بلکه، قسمت اعظم آن بر روی دریاچه هامون ساپوری قرار دارد. بنابراین به نظر می‌رسد که، برنامه‌ریزی برای راه‌های مقابله با طوفان‌های غبارزا و کاهش خسارات ناشی از آنها باید در دو محور صورت گیرد. یکی در جهت کنترل طوفان‌های غبارزا از سطح دریاچه هامون ساپوری در صورت امکان، به عنوان اصلی‌ترین منطقه برداشت و دیگری در جهت اجرای طرح‌های حفاظتی برای جلوگیری از افزایش غلظت گرد و غبار در مسیر حرکت از طریق استقرار پوشش گیاهی می‌باشد.

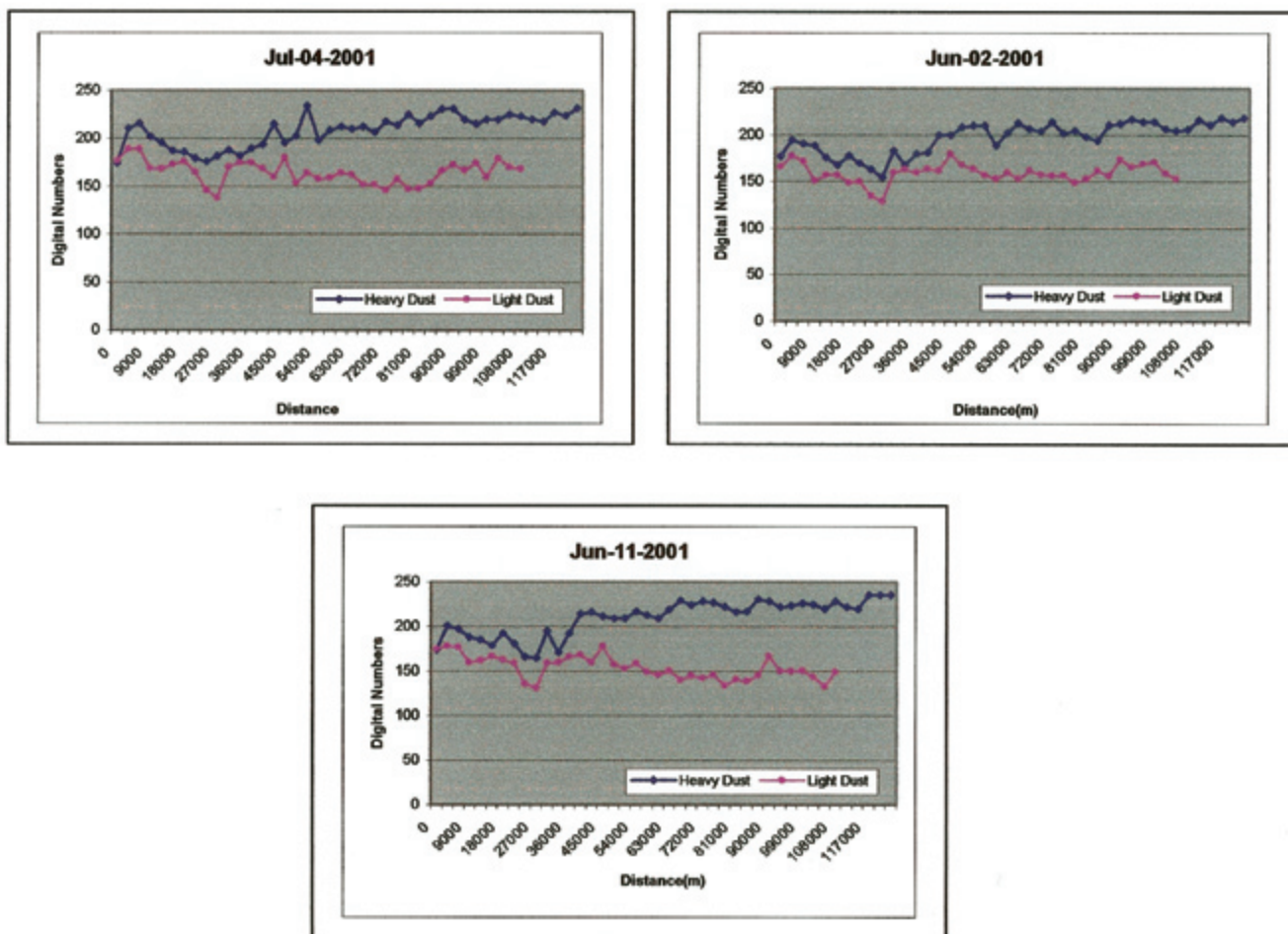
کنترل طوفان‌های غبارزا از سطح دریاچه هامون ساپوری پیشتر به مسئله افزایش پایداری نهشته‌های درون دریاچه از طریق افزایش رطوبت

گیاهی نیز مربوط به همین منطقه می‌باشد. توزیع نقاط روشن روی این نقشه بیشتر مربوط به اراضی کشاورزی اطراف شهرستان زابل و زهک، در منطقه‌ای که یکی از شاخه‌های هیرمند از آنجا می‌گذرد و اراضی با پوشش گیاهی حاشیه دریاچه هامون ساپوری می‌باشد، شکل ۳- پوشش گیاهی استقرار یافته در حاشیه دریاچه هامون ساپوری در مواقع طوفانی نقش بادشکن را دارد و دارای عرضی در حدود ۲/۵ تا ۴ کیلومتر است. وجود نوارهای پوشش گیاهی در حاشیه شرقی هامون ساپوری عامل مهمی در ایجاد دالان‌های گرد و غبار با تراکم کم می‌باشد.

مقایسه بین تغییرات بازتابی نمونه‌ها در دالان‌های گرد و غبار با غلظت کم و زیاد در شکل ۴- نشان داده شده است. رفتار بازتابی ذرات در هر دو دالان، از محل برداشت روی دریاچه ساپوری تقریباً مشابه هستند. در دالان گرد و غبار با غلظت کم به دلیل فاصله کمی که محل استقرار پوشش گیاهی از محل برداشت دارد، ذرات در زمان اندکی پس از حمل به توده پوشش گیاهی برخورد نموده و ذرات محموله با کاهش سرعت و انرژی باد، رسوب می‌نمایند. به‌طوری که روند تغییرات مقادیر بازتابی ذرات در این دالان با فاصله گرفتن از محل فوق تقریباً ثابت تا کاهشی می‌باشد. اما در دالان‌های گرد و غبار با غلظت زیاد به دلیل اینکه طوفان مسیر بیشتری را از روی دریاچه طی می‌کند، سرعت و ارتفاع آن افزایش می‌یابد و ذرات به شکل معلق حمل می‌شوند. این ذرات به دلیل قرار گرفتن در قسمت فوقانی طوفان، نسبت به ذراتی که در ارتفاعات پایین تر قرار دارند، بازتاب بالاتری دارند و به رنگ روشن دیده می‌شوند. روند صعودی مقادیر بازتابی ذرات با فاصله گرفتن از سطح دریاچه مربوط به همین مسئله است. همچنین با



شکل (۳) نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه سیستان



شکل ۴: تغییرات بازتابی در دالان‌های گرد و غبار با غلظت کم و زیاد مربوطه به طوفان‌ها

پاکستان تبدیل شده است. زیرا در طوفان‌های شدید، گسترش طوفان‌ها تا کشور پاکستان نیز می‌رسد.

علاوه بر دریاچه هامون ساپوری، اراضی کشاورزی منطقه نیز بخشی از ذرات گرد و غبار و ماسه طوفان‌ها را تأمین می‌کنند. این اراضی بیشتر به حالت آیش و یا شخم خورده و بدون حفاظ و بادشکن در منطقه وجود دارد، به عنوان یکی از مناطق برداشت ذرات محسوب می‌شوند. در نتیجه ضروری است که، از روش‌های علمی و صحیح مدیریت اراضی کشاورزی مانند شخم عمود بر جهت باد غالب و احداث بادشکن‌های زنده و غیر زنده در این گونه اراضی و احیای پوشش گیاهی به طرق مختلف استفاده شود.

با توجه به مشخص شدن نقش پوشش گیاهی حاشیه شرقی هامون ساپوری (شکل ۳) در ایجاد دالان‌های گرد و غبار با غلظت‌های کم، این موضوع می‌تواند به عنوان شاهد و الگویی برای پیاده سازی طرح‌های حفاظتی از طریق احیا و استقرار پوشش گیاهی با دیدگاه کاهش میزان غلظت ذرات گرد و غبار ناشی از طوفان‌ها در مسیر جریان طوفان‌ها باشد.

آنها برمی‌گردد. در این رابطه، مدیریت تقسیم آب رودخانه هیرمند ضرورت پیدا می‌کند. زیرا این رودخانه پس از وارد شدن به مرزهای ایران تأمین کننده آب شرب، آب بخش کشاورزی و هامونها می‌باشد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که، در شرایط عادی با افزایش رطوبت سطح هامون‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای از غلظت گرد و غبار و به طبع آن از خسارات احتمالی آنها در زمینه‌های مختلف زیست محیطی کاسته شود. زیرا همانگونه که رفاهی (۵) به نقل از نتایج تحقیقات Bisal و Hsieh نقل می‌کند، با افزایش رطوبت ذرات رسی از ۱۰ درصد به ۱۵ درصد، سرعت باد لازم برای انتقال ذرات از ۵ متر در ثانیه به حدوداً ۱۲ متر در ثانیه خواهد رسید. احداث سد ذخیره‌ای در کشور همسایه افغانستان و کاهش آبهای ورودی به دریاچه هامون در سالهای اخیر و همچنین خشکسالی‌های رخ داده، سطح هامون ساپوری به پهنه‌های خشک و سوزان و منطقه‌ای مناسب برای برداشت ذرات گرد و غبار و ماسه توسط طوفان‌ها تبدیل شده است. شایان ذکر است که، این مسئله امروزه به یک معضل منطقه‌ای بین سه کشور ایران، افغانستان و

جدول (۴) پارامتر همبستگی بین باندهای تصویر ۲۰۰۱

میانگین باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷: (۹۵/۵۹)، (۹۵/۳۳)، (۱۱۰/۸۱)، (۱۲۵/۲۶)، (۱۷۵/۴۸)، (۱۵۴/۶۱)						
انحراف معیار باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷: (۱۴/۴۶)، (۱۷/۰۷)، (۲۰/۶۹)، (۱۸/۷۴)، (۲۶/۷۰)، (۲۶/۸۰)						
	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۷
باند ۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۱	۰/۸۹
باند ۲	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۰
باند ۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۲
باند ۴	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۰/۹۲	۰/۸۸
باند ۵	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۲	۱	۰/۹۸
باند ۷	۰/۸۹	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۸	۱

جدول (۵) سطوح پوشیده از گرد و غبار ناشی از طوفان‌ها بر حسب کیلومتر مربع

درصد سطوح پوشیده از گرد و غبار	تاریخ سال ۲۰۰۱ میلادی				کشور
	Jul-۰۴	Jun-۱۱	Jun-۰۲	May-۱۵	
۱۴	۷۵۳۳	۷۶۳۵	۸۳۹۴	۱۰۸۵۴	ایران
۶۲	۳۰۸۱۸	۳۳۹۰۲	۴۸۹۰۵	۴۰۴۷۴	افغانستان
۲۴	۰	۳۴۰۹	۳۷۷۱۱	۱۹۶۲۵	پاکستان
۱۰۰	۳۸۳۵۱	۴۴۹۴۶	۹۵۰۱۶	۷۰۹۵۳	جمع

طوفان‌های سیستان در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، امکان برخی تحلیل‌های تکمیلی ارائه شده در این مقاله فراهم شد. همچنین از آقای دکتر جمال قدوسی عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری به لحاظ ویراستاری علمی - فنی این مقاله تشکر و قدردانی می‌گردد.

پاورقی‌ها

- 1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- 2- Normalized Difference Vegetation Index
- 3- United Nations Convention to Combat Desertification
- 4- Spatial Data
- 5- Attribute Data
- 6- Global Position Systems
- 7- Root Mean Square Error

زیرا به نظر می‌رسد، با توجه به بالا بودن سطح آب زیر زمینی در حاشیه هامون سابوری، تقویت وضعیت پوشش گیاهی فعلی امکان پذیر بوده که این امر موجب احیا و استقرار و توسعه پوشش گیاهی در منطقه نیز می‌شود. بیشتری را نیز موجب شد. از این رو، از عواملی مانند، تردد وسایل نقلیه و چرانیدن دام‌ها به ویژه در حاشیه و بستر دریاچه هامون سابوری و رودخانه‌ها و مسیل‌ها که باعث از بین رفتن پوشش گیاهی و تشدید تولید گرد و خاک می‌شود، باید جلوگیری به عمل آید.

سپاسگزاری

بخشی از مقدمات این مقاله طی فعالیت‌های پژوهشی در قالب مطالعات تأمین آب دشت سیستان که از طرف شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان تأمین اعتبار شده بود، انجام گرفته است. در ادامه، با انجام طرح تحقیقاتی تحت عنوان بررسی ویژگی‌های

۷- ملکوتی، محمد جعفر. ۱۳۵۳؛ بررسی چگونگی حرکت تپه‌های شنی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از عکس‌های هوایی. پایان نامه فوق لیسانس خاکشناسی دانشگاه تهران. ۴۹ صفحه با دو نقشه.

8- Doasari, Ahmad. 1992-1996., Damage assessment of the desert and coastal environment of Kuwait by remote sensing. http://www.bu.edu/remote_sensing/Kuwait/effects.html.

9-United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2001., Global alarm: Dust and dandstorm from the world's drylands. Part 1. PP: 15-73.

10-Washington, R. M. Tood, N.J Middleton and A.S. Goudie. November 2000., Global dust storm source areas determind by total ozone monitoring spectrometer and ground observations. School of geography and the environment university of Oxford. pp: 297-313.

11-Zheng X., F. Lu, X. Fang and Y. Wang, L. Guo.1998.,A study of dust storms in China using satellite data in optical remote sensing of the atmosphere and clouds. SPIE. 3, 301, pp: 163-168.

Loreet, vulput dunt alisi.

Lorem doloborer sim eugait niscipi modiam, consequ mcommy nulla feugue magnisit prat. Ut la commolobor sum zzriureros doluptate dio ero dolum il ipis exer sim nosto erit ver sed minim

8- Linear Stretch

9- Histogram Stretch

10- False Color Composite

منابع مورد استفاده

۱- احمدی، حسن. ۱۳۷۷. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد دوم. (بیابان-فرسایش بادی). انتشارات دانشگاه تهران. ۵۷۰ صفحه.

۲- اختصاصی، محمد رضا و حسن احمدی، ناصر باغستانی، علی خلیلی و سادات فیض نیا. ۱۳۷۵؛ منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای در حوزه دشت یزد-اردکان. مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع. شماره انتشار: ۱۴۵-۱۳۷۵.

۳- اشتری مهرجردی، عالیه، مصطفی کریمیان اقبال و وحید چیت ساز. ۱۳۸۰؛ مطالعه ژئومورفولوژی سیستان با استفاده از سنجش از دور. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران. زابل. جلد دوم. ص ۴۰۵-۴۱۹.

۴- پاشائی، عباس. ۱۳۵۵؛ بررسی دینامیک تپه‌های شنی همراه با تثبیت بیولوژیکی آنها در خوزستان. انتشارات دانشگاه جندی شاپور. نشریه شماره ۷۲/۱۸. ۳۵ صفحه.

۵- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۷۸؛ فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ صفحه.

۶- دفتر فنی تثبیت شن و بیابان زدایی (با همکاری شرکت مهندسی مشاور توسعه و احیای کشاورزی تاک سبز). ۱۳۸۱. طرح شناسائی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و تعیین اولویت‌های اجرائی در ۱۴ استان بیابانی کشور. سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور. ۲۰۱ صفحه.