

بررسی امکان تعیین جهت باد های فرساینده با استفاده از ردیابی طوفانها در تصاویر ماهواره‌ای

محمود عرب خدري و فاضل ايرانمنش^۱

چکیده

بادهای ۱۲۰ روزه دشت سیستان جزء سهمناک ترین بادهای ایران و جهان هستند. به رغم وجود مشکل فرسایش بادی در این دشت، قرار گرفتن آن در پایاب هیرمند و در کنار هامونها، امکان سکونت جمع کثیری از مردم را فراهم آورده است. تمرکز زیاد جمعیت این ناحیه در مقایسه با سایر مناطق تحت سیطره فرسایش بادی ایران، مطالعات عمیقتر و بیشتری را در این مورد ضروری می‌نماید. یکی از اولین اقدامات در برنامه ریزی برای مهار فرسایش بادی، تعیین جهت بادهای فرساینده است. این کار از طریق تحلیل باد در ایستگاههای هواشناسی، شواهدات صحرایی و استفاده از عکسهای هوایی از گذشته معمول می‌باشد. با پیشرفتهای بوجود آمده در فناوری سنجش از دور، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیز در این عرصه فراهم شده است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا برای تعیین جهت عوارض ماسه‌ای با فونونی مشابه تفسیر عکسهای هوایی امکانپذیر می‌باشد. لیکن یکی از مزایای ماهواره MODIS که کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ تعدد تصاویر و امکان استفاده از آن برای ردیابی مسیر طوفانها است. در این پژوهش مسیر طوفانها با استفاده از ۴ تصویر MODIS مربوط به خرداد تا مرداد سال ۱۳۸۰ شمسی تعیین گردید و با جهت بادهای فرساینده بدست آمده از مشاهدات صحرایی در ۱۷ نقطه و تحلیل بادهای ایستگاه سینوپتیک زابل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که بطور کلی هماهنگی خوبی بین جهت طوفانها در تصاویر ماهواره‌ای و مقادیر مشاهده‌ای وجود دارد. با این همه، انحرافی بین ۱۰ تا ۳۱ درجه با واقعیت سطح زمین در نقاط بسیار نزدیک به روستاها و مزارع دیده شد که نشان دهنده تاثیر وجود ساختمانها، بادشکنها و سایر موانع بر انحراف جهت عمومی بادهای است. تفاوت ۵ تا ۲۳ درجه‌ای جهت بناد روی تصاویر ماهواره‌ای بیاتگر وجود تغییرات مختصر جهت وزش رویدادهای مختلف است که استفاده از چند تصویر را ضروری می‌نماید.

واژه های کلیدی: جهت باد، آمار باد، مشاهدات صحرایی، ردیابی طوفانها، تصاویر

ماهواره ای MODIS

تاریخ پذیرش: ۸۴/۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۸۳/۱۱/۲۵

۱. اعضای هیأت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری- تهران، صندوق پستی ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵، پست

الکترونیک: arabkhedri@scwmri.ac.ir

مقدمه

فرسایش بادی یکی از مشکلات اصلی دشت سیستان است. برای وقوع فرسایش بادی دو شرط اصلی لازم است: شرط اول خشک بودن سطح خاک و شرط دوم وجود بادهای شدید و مداوم است. هر دو شرط فوق در منطقه سیستان مهیا است. زیرا دریاچه و دشت وسیع اطراف آن بدون وجود عوارض قابل توجه، منطقه مستعدی برای وقوع باد می‌باشد. همچنین بارندگی کم و وجود فصل خشک طولانی امکان برداشت مواد خشک و ناپیوسته را بوجود می‌آورد. به رغم وجود مشکل فرسایش بادی در منطقه، قرار گرفتن آن در پایاب هیرمند و در کنار هامونها، امکان گسترش کشاورزی، دامداری، صیادی و حصیر بافی و سکونت جمع کثیری از مردم را فراهم آورده است. تمرکز زیاد جمعیت در این ناحیه در مقایسه با سایر مناطق تحت سیطره فرسایش بادی ایران، مطالعات عمیقتر و بیشتری را ضروری می‌نماید. اهمیت مقابله با زیانهای فرسایش بادی در سیستان به حدی است که در کتاب تاریخ سیستان مربوط به قرن پنجم هجری آمده است (خلد برین، ۱۳۶۸): شرایط آبادانی سیستان بر سه بند بستن نهاده اند: بستن بند آب، بستن بند ریگ و بستن بند مفسدان. به عبارت دیگر فرسایش بادی هم پایه با امنیت دانسته شده است.

رفاهی (۱۳۷۸) باد شمال غربی یا باد ۱۲۰ روزه را سهمناک ترین باد ایران ذکر می‌کند که سرعت وزش آن به ۱۲۰ کیلومتر در ساعت می‌رسد. این باد سبب فرسایش شدید و حرکت ماسه های روان می‌شود. در اثر این باد تبخیر در همه جا به شدت صورت گرفته و در ضمن مقدار شوری خاک به طور نسبی بالا می‌رود.

یکی از اولین اقدامات در برنامه ریزی برای کنترل فرسایش بادی، بررسی سرعت و جهت بادهای فرساینده است. تحلیل سرعت و جهت بادهای در ایستگاههای هواشناسی با استفاده از گلباد روشی است که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرد. گلباد سهم بادهای آرام و جهت بادهای بیشتر از یک متر بر ثانیه را به تفکیک طبقات سرعت در هر یک

از جهات مشخص می‌کند. به رغم مفید بودن گلباد، تحلیل فرساینده‌گی باد مفید تر می‌باشد. اندازه گیریهای انجام شده در تونل باد و در شرایط طبیعی نشان داده است که میزان حرکت خاک با مکعب سرعت باد تناسب دارد. در این ارتباط تمام بادهای تندتر از ۵ متر بر ثانیه، فرساینده تلقی می‌شوند؛ زیرا بادهایی با سرعت کمتر نقش فعالی در فرسایش خاک ندارند (Wilson و Cooke, ۱۹۸۰). تعیین جهت بادهای فرساینده فقط در محل ایستگاههای هواشناسی که دارای بادسنج یا بادنگار هستند امکانپذیر است. برای تعیین جهت این گونه بادها در سایر نقاط از روشهای دیگری استفاده می‌شود.

یکی از روشهای معمول بازدید صحرائی و استفاده از جهت عوارض ناشی از فرسایش بادی مثل تپه های ماسه ای است. به این منظور پیمایش صحرائی کامل در عرصه مطالعاتی ضرورت دارد. در این ارتباط باید محقق به خوبی بتواند براساس شکل عوارض جهت باد را تعیین کند. مجموعه نسبتاً کاملی از رابطه جهت باد و شکل عوارض بادی مختلف نظیر ریپل مارک، بارخان، تپه های طولی و عرضی و پارابولیک در منابع مختلف نظیر احمدی (۱۳۷۷) و رفاهی (۱۳۷۸) آمده است. مزیت این روش آن است که جهت وزش طوفانهای ماسه‌ای (Sand storms) که در واقع بیانگر جهت بادهای فرساینده هستند؛ تعیین می‌شود.

برخی از عوارض بادی، نظیر تپه های طولی و عرضی و بارخانهای بزرگ به راحتی از طریق تفسیر چشمی روی عکسهای هوایی قابل شناسایی هستند. در صورت تشخیص صحیح اینگونه عوارض، می‌توان جهت بادهای فرساینده را تعیین کرد. عیب این روش نسبت به بازدیدهای صحرائی، عدم امکان مشاهده عوارضی نظیر تلماسه های کوچک پای بوته ها، و مزیت آن سرعت و سهولت نسبی است. برای تکمیل اطلاعات استفاده از تجربه اهالی منطقه نیز ضرورت می‌یابد. زیرا افراد محلی که سالیان طولانی در یک ناحیه سکونت داشته اند به خوبی از بادهای فرساینده و جهت آنها اطلاع دارند که به طور طبیعی موجب صرف هزینه و وقت بیشتری می‌شود. امکان

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین جهت نهشته‌های ماسه بادی توسط اختصاصی و همکاران (۱۳۷۵) به جای عکسهای هوایی پیشنهاد شده است.

با پیشرفت فناوری سنجش از دور و کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در تشخیص و شناسایی پدیده های فرسایش بادی، تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است. از جمله در تشخیص عوارض بادی اشری مهرجردی و همکاران (۱۳۸۰) و در تعیین مناطق افزایش و کاهش رسوبهای بادی پاک پرور و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از پردازش اطلاعات رقومی تصاویر ماهواره‌ای تحقیقات موفقیت آمیزی انجام داده اند.

اطلاعات ماهواره‌ای علاوه بر بوجود آوردن امکان بررسی سطح مناطق بیابانی، در بررسی طوفانها نیز قابل استفاده است. کنوانسیون بیابان زدایی سازمان ملل متحد، UNCCD (۲۰۰۱) به نقل از Wang و همکاران شناسایی طوفانهای سیاه در شمال غرب چین از طریق بررسی اثر اندازه ذرات را بر روی میزان پخش آتمسفری در طول موجهای مختلف تشریح کرده است. ذرات معلق طوفانها در ارتفاع بالاباعث پخش طول موج زرد شده و به همین دلیل قسمت فوقانی طوفانها زرد رنگ دیده می شوند. در مقابل، ذراتی که درشت تر و در ارتفاع پایین تر هستند، می توانند طول موج قرمز را پخش کنند. بنابراین، این قسمت به رنگ قرمز دیده می شود. طبقات پایین طوفانها نیز به دلیل انکسار در کلیه طول موجها همیشه تیره می باشند. تحقیق دیگری توسط Xinjiang و همکاران (۱۹۹۸) در خصوص طوفان شن و گرد و غبار در شمال غرب چین به تاریخ پنجم ماه می ۱۹۹۳، نشان دادند که تصاویر NOAA، قابلیت خوبی برای ردیابی طوفانها دارند و میزان بازتاب از قسمت فوقانی طوفانها تفاوتهای آشکاری با میزان بازتاب از سطح زمین دارد. Wenjie و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی بازتابها در تصاویر NOAA و برخی خصوصیات آنها میزان گرد و غبار منطقه Jinchang را ۲۰ تا ۹۰ تن در کیلومتر مربع محاسبه کردند.

با توجه به امکان مشاهده مستقیم مسیر طوفانهای گرد و خاک در تصاویر ماهواره ای MODIS، در این تحقیق سعی شده است بر اساس اطلاعات بدست آمده از تحلیل باد در ایستگاه هواشناسی زابل و بازدید های صحرائی در منطقه سیستان، امکان جایگزینی تفسیر این تصاویر در تعیین جهت بادهای فرساینده مشخص شود.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه: این تحقیق در دشت سیستان واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت. این منطقه از شمال به دریاچه های هامون پوزک و سابوری، از شرق و جنوب شرقی به کشور افغانستان و از جهات دیگر به استانهای خراسان و بخشهای دیگر استان سیستان و بلوچستان متصل است. شهر زابل مهمترین مرکز جمعیتی در این منطقه است و اراضی گسترده کشاورزی و تاسیسات متعدد تأمین آب و انهار آبیاری در حوالی آن وجود دارد. در سیستان ۴ توده مهم از نهشته های ماسه بادی مشتمل بر نیاتک در شرق، جزینک در مناطق مرکزی و تاسوکی و ریگچاه در جنوب غربی وجود دارد. در سایر مناطق نیز تلماسه پای گیاهان و عوارض دیگر مربوط به فرسایش بادی نظیر ریپل مارک و کلوتک وجود دارد.

آمار موجود و روش تحلیل آن: در این مطالعه آمار باد ایستگاه سینوپتیک زابل به شرح زیر در دسترس قرار گرفت:

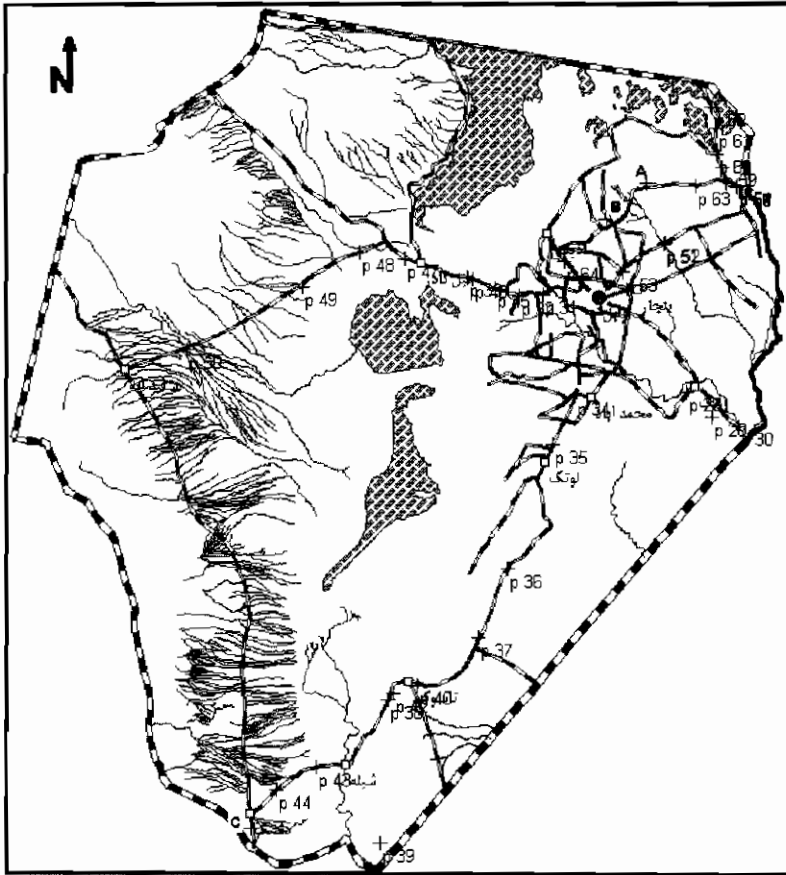
- قرائت سرعت و جهت لحظه ای باد در روز (ساعاتی ۰، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸ و ۲۱ به وقت گرینویچ) از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۰ در مجموع معادل ۶۱۳۶۲ قرائت
- آمار تعداد باد در گروههای مختلف سرعت باد به تفکیک ماه از سال ۱۹۹۱ تا

علاوه بر تعیین فراوانی بادهای فرساینده در جهات ۸ گانه و ۱۶ گانه، فرسایندهای باد در هر یک از قطاع ها (r_j) نیز از رابطه زیر محاسبه شد (Cooke و Wilson، ۱۹۸۰):

$$r_j = \sum_{i=1}^n \bar{U}_i^3 f_i$$

در این رابطه \bar{U}_i^3 مکعب میانگین سرعت باد در گروه (i) برای باد های با سرعت بیش از ۵ متر بر ثانیه و f_i ضریب زمان وزش و یا در صد بادهایی که در قطاع (j) با سرعت گروه (i) وزیده اند. زیرنویس (j) مبین جهت یا قطاع بوده و ارقامی از صفر تا ۷ بیانگر ۸ قطاع جغرافیایی هستند. صفر مبین جهت شرق بوده و ارقام دیگر معرف سایر جهات در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌باشند. توضیح آنکه مثلاً در تحلیل ۸ جهتی، قطاع شرق معرف بادهایی است که با زاویه ۲۴۷٫۵ تا ۲۹۲٫۵ درجه می‌وزند. در نهایت به طریق برداری جهت متوسط بادهای فرساینده تعیین گردید.

تعیین جهت طوفان های ماسه‌ای با استفاده از بازدیدهای صحرائی: به این منظور با استفاده از GPS طی بازدیدهای صحرائی از عوارض ماسه‌ای، علاوه بر تعیین مختصات، بر اساس شکل قرار گیری بارخانها، تلماسه های پای بوته ها، جهت ریپل مارکهای تشکیل شده روی پهنه های ماسه‌ای و در یک مورد شکل کلو تک مطابق معیارهای موجود (احمدی، ۱۳۷۷) و رفاهی، ۱۳۷۸)، جهت وزش طوفانهای ماسه‌ای (Sand storms) که در واقع معادل با جهت بادهای فرساینده هستند؛ تعیین شد. در شکل شماره (۱) موقعیت این نقاط ملاحظه می‌شود. در جدول شماره (۱) نیز مختصات نقاط بازدید شده و نوع عوارض بادی گردآوری شده اند.



شکل شماره (۱) موقعیت و شماره GPS نقاط در منطقه مورد مطالعه

جدول شماره (۱) مشخصات نقاط بازدید صحرائی

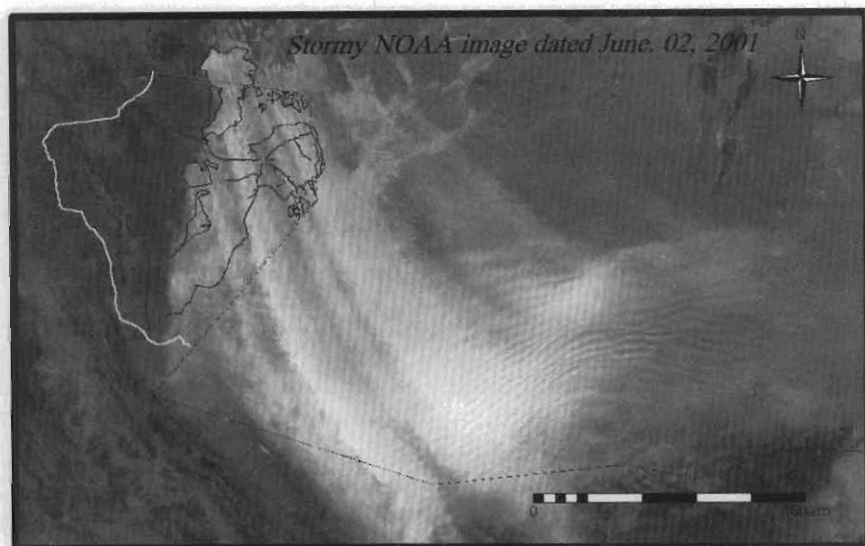
شماره GPS	نوع عارضه های بادی	نام و موقعیت محل
27	بارخان و ریپل مارک	پس از زهک به سمت قلعه نو، نزدیک مزارع
33	تلماسه پای بوته	شمال جاده زابل به نهبندان نرسیده به میل نادر
38	تلماسه پای بوته	جاده زابل به سه راهی دشتک، بعد از شهر سوخته نرسیده به یاسگاه تاسوکی
42	بارخان	جاده زابل به سه راهی دشتک، بعد از پاسگاه تاسوکی، نرسیده به شيله
43	بارخان	جاده زابل به سه راهی دشتک، بعد از شيله
48	تلماسه های بسیار کوچک پای بوته	جاده شوسه، مسیر سفیدابه
49	تلماسه های بسیار کوچک پای بوته	جاده شوسه، مسیر سفیدابه
51	تپه های کوچک نا بزرگ تثبیت شده توسط پوشش گیاهی	جاده زابل به دوست محمدخان، شمال شنزار نیاتک
55	عوارض ماسه ای کوچک، پست کلوخه ها در زمین شخم خورده	جاده زابل به سمت روستای قرقری، مجاور یک روستا
61	تلماسه طویل ایجاد شده در پناه ردیف درختان	بین ده قرقری و تخت عدالت
62	بادبردگی در کف هامون	بستر هامون یوزک
63	تلماسه پای گز منفرد	جاده ده قرقری به ده ادیمی
A	تلماسه طویل پای گز منفرد	جاده ده قرقری به ده ادیمی
B	تلماسه یای گیاه بونه ای	جاده ده قرقری به ده ادیمی
64	تلماسه پای بادشکن	ده ادیمی، زمین هنرستان مجاور گورستان ده
C	تلماسه های بسیار کوچک پای بوته	جاده زابل به زاهدان بعد از سه راهی دشتک
-	جهت بادهای فرساینده	ایستگاه هواشناسی
40	کلوتک	جاده زابل به سه راهی دشتک، نزدیک پاسگاه ناسوکی

تعیین جهت طوفان با استفاده از تصاویر ماهواره ای: چهار تصویر ماهواره‌ای MODIS² مربوط به زمانهای طوفانهای منطقه سیستان از سال ۲۰۰۱ میلادی (۱۳۸۰ شمسی) به شرح جدول شماره (۲) در اختیار قرار گرفت که نمونه‌ای از این تصاویر در شکل شماره (۲) مشاهده می‌شود. برای تعیین جهت باد روی این تصاویر، ابتدا مختصات نقاط بازدید صحرایی به روی آنها منتقل شد. بعد با توجه به بارز بودن طوفان و اختلاف در جهت باد در مناطق مختلف به طریق تفسیر بصری و با استفاده از امکانات نرم افزاری جهت باد ها در محل نقاط بازدید و همچنین شهر زابل تعیین شد.

جدول شماره (۲) تاریخ تصاویر ماهواره‌ای MODIS مورد استفاده

ردیف	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی
۱	Jun-02	۱۲ خرداد
۲	Jun-11	۲۱ خرداد
۳	Jul-04	۱۳ تیر
۴	Aug-02	۱۱ مرداد

² Moderate Resolution Imaging spectroradiometer



شکل شماره (۲) یک نمونه از تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

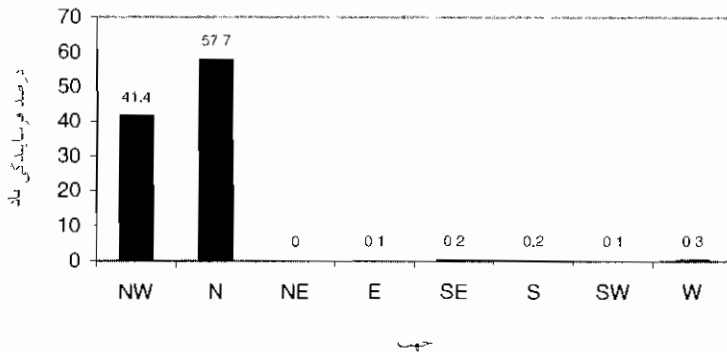
روش تحلیل نتایج: به این منظور ابتدا خطای نسبی زاویه جهت باد تعیین شده از روی هر یک از تصاویر ماهواره‌ای نسبت به زاویه بدست آمده از بررسی صحرائی و همچنین جهت بادهای فرساینده در ایستگاه زابل بدست آمد و بعد میانگین خطاها محاسبه شد. علاوه بر آن دامنه تغییرات زوایای تعیین شده از چهار تصویر با یکدیگر نیز تعیین گردید. در انتها بر اساس میزان خطا و دامنه تغییرات، مناسب بودن جهت یابی بادهای فرساینده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد تفسیر قرار گرفت.

نتایج

در تحلیل ۸ جهتی، حدود ۵۱ درصد تمام بادهای دوره ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۸ با سرعت بیش از ۵ متر در ثانیه در گروه فرساینده طبقه بندی شدند. از مجموع این نوع بادهای دو قطاع N (با جهت متوسط ۳۶۰ درجه) و NW (با جهت متوسط ۳۱۵ درجه) به

ترتیب با بیش از ۵۱ و ۴۶ در صد، تقریباً تمام بادهای فرساینده را به خود اختصاص دادند و سایر جهات کمتر از ۳ درصد را شامل شدند. در تحلیل ۱۶ جهتی، ۴۶ درصد تمام بادهای دوره ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۰ در گروه فرساینده طبقه بندی شدند. بررسی توزیع در صد وزش این نوع بادهای در جهات مختلف نیز حاکی از آن است که بالغ بر ۵۹ در صد از کل بادهای با سرعت فرساینده از قطاع NNW (با جهت متوسط ۳۳۷/۵ درجه) وزیده و دو قطاع N و NW با بیش از ۲۳ و ۱۴ در صد در درجات بعد قرار گرفته اند. از سایر جهات ۱۳ گانه نیز کمتر از ۴ در صد از بادهای دارای سرعت فرساینده هستند. به این ترتیب می توان نتیجه گیری کرد که جهت اصلی بادهای فرساینده مربوط به قطاع NNW و بعد N و در مرحله بعد NW است. به عبارت دیگر جهت میانگین بادهای فرساینده تقریباً ۳۴۰ درجه می باشد.

در شکل شماره (۳) توزیع درصد فرساینده باد به تفکیک جهات ۸ گانه آورده شده است. این شکل فقط بر اساس آمار ۱۹۷۱ تا ۱۹۹۰ محاسبه و ترسیم شده است. زیرا آمار ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۸ در دسترس، فاقد اطلاعات لازم برای محاسبه فرساینده به تفکیک جهات بود. ملاحظه می شود که بیشترین فرساینده مربوط به قطاع N و در مرحله بعد قطاع NW است که به ترتیب در حدود ۵۸ و ۴۱ درصد را به خود اختصاص داده اند و ۶ جهت دیگر در مجموع کمتر از یک درصد فرساینده را به عهده دارند. از طریق محاسبه برداری متوسط جهت بادهای فرساینده ۳۴۱ درجه تعیین شد. این جهت دقیقتر از جهت بدست آمده از تحلیل فراوانی بادهای فرساینده می باشد.



شکل شماره (۳) توزیع درصد فرساینده باد به تفکیک جهات ۸ گانه در ایستگاه زاابل

در ستون دوم جدول (۳) نتایج مشاهدات صحرایی تعیین جهت بادهای فرساینده برای نقاط مختلف منطقه سیستان آورده شده است. گاهی جهت وزش باد در چند عارضه موجود در یک محل بازدید، تفاوتی تا ۲۰ درجه را با هم نشان می‌دادند. بنابراین در مناطقی که احساس می‌شد اینگونه تفاوتها وجود داشته باشد، حداقل دو اندازه گیری انجام و رقم میانگین آنها به عنوان جهت باد تعیین شد. بررسی جهات باد بدست آمده از بازدیده‌های صحرایی حاکی از آن است که در مرکز و غرب دریاچه هامون و همچنین در مناطق تاسوکی و ریگچاه و سه راهی دشتک (در مجموع ۶ نقطه) جهت باد بین ۳۴۶ تا ۳۵۳ درجه می‌باشد. در اطراف هامون پوزک و شمال نیاتک و قلعه نو جهت وزش طوفانهای ماسه‌ای بین ۳۱۶ تا ۳۳۶ درجه اندازه گیری شده است. نقطه ۶۴ واقع در نزدیکی روستای ادیمی که در بین این دو ناحیه واقع شده است؛ با جهت وزش باد ۳۶۰ درجه، این نظم را به هم زده است.

بررسی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که پوشش طوفان در تصاویر مربوط به زمانهای مختلف یکسان نیست. عمده تفاوتها به میزان گسترش آن در قسمتهای جنوبی یعنی

کشورهای افغانستان و پاکستان مربوط می‌باشد. در تمام تصاویر بررسی شده طوفان در قسمت شمالی همانند یک مثلث یا مخروط است و در قسمت جنوبی به دلیل برخورد به ارتفاعات دچار انحراف به سمت غرب شده است. راس این مثلث در شمال و قاعده آن در جنوب قرار دارد. تناوب دالانهای بسیار غلیظ و با غلظت کم با امتداد عمومی شمال به جنوب در قسمت مثلثی (از جمله در سیستان) و شرقی به غربی در قسمت منحرف شده امکان تعیین جهت باد را فراهم می‌کند. اندازه گیریهای انجام شده بر روی مسیر طوفانهای مربوط به منطقه سیستان در ۴ تصویر بررسی شده نیز در جدول شماره (۳) آورده شده است. مقایسه تغییرات جهات بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در نقاط برداشت های صحرائی نیز مشابهت هایی با تغییرات منطقه‌ای بدست آمده از مشاهدات مستقیم نشان می‌دهد. به این ترتیب که در قسمتهای غربی، باد تمایل به جهت N و در قسمتهای شرقی تمایل بیشتری به NW دارد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در سه نقطه ۴۸، ۴۹ و C واقع در غرب و منتهی الیه جنوب غربی منطقه سیستان به دلیل عدم پوشش طوفان، امکان اندازه گیری جهت باد از تصاویر ماهواره‌ای فراهم نشده است. البته در مشاهدات صحرائی این نقاط، فقط تلماسه های بسیار کوتاهی در پای بوته ها و موانع دیگر دیده شد که بیانگر اهمیت کم فرسایش بادی است.

جهت طوفانهای گرد و خاک در نقاط مورد بررسی از حداقل ۳۱۵ تا حداکثر ۳۵۸ درجه تعیین و جهت متوسط طوفانهای ۴ تصویر نیز بین ۳۳۰/۵ تا ۳۵۵ محاسبه شد. ضریب تعیین (R^2) رابطه بین جهت باد از مشاهدات صحرائی با متوسط جهت باد از تصاویر ماهواره‌ای ۷۵ درصد بدست آمد که نشان دهنده مناسب بودن تصاویر ماهواره‌ای برای تعیین جهت باد می‌باشد.

دامنه تغییرات جهت در ۴ تصویر ماهواره‌ای و زاویه انحراف آنها نسبت به مشاهده صحرائی در جدول شماره (۳) ارائه شده است. زاویه انحراف از ۱۹- تا ۳۱ درجه و

دامنه تغییرات جهت باد از ۵ تا ۲۳ درجه متفاوت است. این موضوع می تواند بیانگر وجود تغییرات مختصر در جهت باد مربوط به شرایط جوی باشد. فراوانی مشاهدات جهت باد تصاویر ماهواره ای بر حسب زاویه انحراف در جدول شماره (۴) دسته بندی شده است. مطابق ستون ۲ و ۳ این جدول در حدود ۴۲ درصد از مجموعه مشاهدات، دارای زاویه انحرافی کمتر از ۵ درجه و حدود ۶۴ درصد انحرافی کمتر از ۱۰ درجه دارند. در مقابل فقط حدود ۵ درصد مشاهدات، انحرافی بیش از ۲۰ درجه را نشان می دهند. مطابق ستون ۴ و ۵ این جدول نیز ۶۰ درصد از متوسط مشاهدات مربوط به نقاط مشابه دارای زاویه انحرافی کمتر از ۱۰ درجه و فقط حدود ۷ درصد متوسط مشاهدات دارای انحرافی بیش از ۲۰ درجه هستند. موارد فوق نیز مبین تناسب نسبی تصاویر ماهواره ای است. بررسی دقیقتر جداول شماره (۱) و (۳) نشان می دهد که انحراف بیش از ۱۰ درجه در ۶ نقطه ۲۷، ۵۱، ۵۵، ۶۱، ۶۴ و ۴۰ مربوط به نقاط بسیار نزدیک به روستاها و مزارع است. با این همه ملاحظه می شود که در ایستگاه هواشناسی زابل، زاویه انحراف بسیار کم است.

جدول شماره (۳) زاویه جهت باد در تصاویر ماهواره‌ای در مقایسه با مشاهدات صحرائی و تحلیل آمار

شماره GPS	مشاهده صحرائی	شماره تصاویر طبق جدول (۲)				متوسط تصاویر	زاویه جهت باد (درجه)				انحراف جهت باد در تصویر نسبت به مشاهده صحرائی (درجه)	شماره
		شماره تصاویر طبق جدول (۲)					زاویه جهت باد (درجه)					
		۱	۲	۳	۴		۱	۲	۳	۴		
27	325	338	340	343	332	338.3	13	15	18	7	13.3	11
33	346	340	347	344	350	345.3	-6	1	-2	4	-0.8	10
38	353	353	358	354	352	354.3	0	5	1	-1	1.3	6
42	350	353	357	354	350	353.5	3	7	4	0	3.5	7
43	348	353	346	345	356	350.0	5	-2	-3	8	2.0	11
48	346	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
49	355	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
51	316	335	339	347	335	339.0	19	23	31	19	23.0	12
55	320	325	335	337	339	334.0	5	15	17	19	14.0	14
61	315	315	335	337	338	331.3	0	20	22	23	16.3	23
62	326	315	335	337	335	330.5	-11	9	11	9	4.5	22
63	334	325	343	335	332	333.8	-9	9	1	-2	-0.3	11
A	336	337	346	341	342	341.5	1	10	5	6	5.5	9
B	334	335	334	340	347	339.0	1	0	6	13	5.0	13
64	360	341	345	343	357	346.5	-19	-15	-	-3	-13.5	16
C	350	*	*	*	*	-	-	-	-	-	-	-
هوانسناسی زابل	** 341	342	343	344	350	344.8	1	2	3	9	3.8	8
40	8	353	358	354	*	355.0	15.0	10.0	-14	-	13	5

* طوفان وجود ندارد ** میانگین جهت بادهای فرساینده

جدول شماره (۴) طبقه بندی مشاهدات جهت باد تصاویر برحسب زاویه انحراف

میانگین مشاهدات		مشاهدات منفرد		زاویه انحراف (درجه)
درصد فراوانی	فراوانی	درصد فراوانی	فراوانی	
۵۳/۳	۸	۴۲/۴	۲۵	۰-۵
۶/۷	۱	۲۲/۰	۱۳	۵-۱۰
۲۶/۷	۴	۱۵/۳	۹	۱۰-۱۵
۶/۷	۱	۱۵/۳	۹	۱۵-۲۰
۶/۷	۱	۳/۴	۲	۲۰-۲۵
.	.	۰/۰	۰	۲۵-۳۰
.	.	۱/۷	۱	>۳۰

بحث و نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش همبستگی قابل قبول تصاویر ماهواره ای MODIS را در تعیین جهت باد مناطقی که در معرض طوفانهای شدید قرار دارند مشخص کرد. این روش (حداقل با تصاویر مشابه استفاده شده در این بررسی) برای مناطقی که دارای شدت فرسایش کمی هستند نمی باشد. به عبارت دیگر باید جهت جریان باد در سطح زمین و لایه های فوقانی هوا دارای هماهنگی باشند و همچنین شرایط لازم برای ایجاد گرد و غبار فراهم باشد تا منجر به ایجاد طوفان قابل مشاهده از این گونه تصاویر شود. نتایج استفاده از این روش در محدوده اراضی زراعی و باغی و مناطق شهری دقت کمتری نسبت به سایر مناطق نشان داد. به عبارت دیگر می توان گفت که وجود ساختمانها، بادشکنها و حتی چندین درخت پراکنده سبب انحراف جهت عمومی بادهای شده است. در مقابل هماهنگی نسبی جهات بدست آمده از تصاویر ماهواره ای با جهت باد در ایستگاه زابل، به اندازه گیری سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری مربوط است که به طور طبیعی تحت تاثیر موانع کوتاه قرار نمی گیرد. به این ترتیب می توان نتیجه گیری

کرد که تحلیل آمار باد ایستگاههای هواشناسی نیز برای تعیین بسیار دقیق جهت باد سطح زمین در مناطق روستایی و شهری کافی نبوده و در چنین مواردی بررسیهای صحرائی لازم است. از طرف دیگر می توان گفت که جهت بدست آمده از طریق مشاهدات صحرائی مبنای مناسبی برای تعیین جهت بادشکن نیست.

تفاوت ۵ تا ۲۳ درجه‌ای در دامنه تغییرات جهت باد روی ۴ تصویر ماهواره‌ای بیانگر وجود تغییرات مختصر در جهت باد مربوط به رویدادهای مختلف است. به علاوه مساحت گسترش طوفانها در تصاویر مربوط به رویدادهای مختلف تفاوت دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از چند تصویر به نتایج صحیحتری منجر خواهد شد؛ بنابراین توصیه می‌شود که حتماً از چند تصویر مربوط به زمانهای مختلف استفاده شود. این مسأله به ویژه در مناطقی که دارای بادهای اصلی در چند جهت هستند ضرورت بیشتری می‌یابد.

دلیل تفاوت در صد بادهای فرساینده در بررسی ۱۶ جهتی با بررسی ۸ جهتی مربوط به شیوه استفاده از آمار است. در روش ۱۶ جهتی تمام بادهای با سرعت بیش از ۵ متر در ثانیه بدون توجه به دسته بندی آنها تفکیک شده اند. در حالی که در روش ۸ جهتی ابتدا بادهای در طبقات سرعت از جمله طبقه ۴ تا ۶ متر بر ثانیه با میانگین ۵ متر بر ثانیه دسته بندی شده و بعد تعداد مشاهدات در تمام طبقات با یکدیگر جمع شده است. به این ترتیب تفاوت این دو روش (۵۱ در مقابل ۴۶ درصد) به اضافه شدن بادهای ۴ متر در ثانیه در روش ۸ جهتی مربوط می‌باشد. به عبارت دیگر ۵ درصد بادهای دارای سرعت ۴ متر در ثانیه هستند که از برآوردهای قبلی قابل حذف می‌باشد.

از نتایج جانبی این تحقیق اختلاف بین جهت باد بدست آمده از جهت کلوتک با جهت بارخانهای نزدیک به آن است که در حدود ۱۸ درجه می‌باشد. این انحراف احتمالاً دلیلی بر تغییر جهت باد نسبت به گذشته است. زیرا کلوتک عارضه‌ای است که در طول زمان و به تدریج شکل گرفته است. در مقابل تپه های ماسه به دلیل فقدان

چسبندگی بین ذرات بسیار شکل پذیر بوده و اثر تغییر جهت باد را در زمان نسبی کوتاهتری منعکس می کنند.

سپاسگزاری

بخشی از تحلیلهای اولیه ارائه شده در این مقاله در قالب مطالعات مرحله اول تامین آب دشت سیستان در شرکت مهندسین مشاور آساران و با اعتبارات شرکت سهامی آب منطقه ای سیستان و بلوچستان صورت گرفته و بررسیهای تکمیلی در قالب طرح تحقیقاتی بررسی ویژگیهای طوفانهای سیستان و محاسبه بار رسوبی حمل شده توسط این طوفانها با استفاده از تصاویر ماهواره ای و اندازه گیریهای صحرائی با کد ۸۳۰۰۴-۰۱-۰۰۰۰-۰۴۰۰۰۰-۰۳-۰۲ و با اعتبارات مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است. بدین وسیله از زحمات تمامی دست اندرکاران به ویژه پیشنهادهای سازنده و حمایتهای آقایان مهندس اکرم و اسماعیلی کارشناسان شرکت مهندسین مشاور آساران سپاسگزاری بعمل می آید.

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 تپه های 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- پاک پرور، مجتبی، مجید صوفی و مسعود نجابت. ۱۳۸۳. بررسی امکان پهنه بندی شدت فرسایش بادی با پردازش رقومی داده های ماهواره ای. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری. در دست انتشار.
- ۵- خلد برین، علی. ۱۳۶۸. بررسی روشهای گوناگون تثبیت ماسه های بادی در ایران. پایان نامه فوق لیسانس آبخیزداری، دانشگاه تهران. ۲۰۵ صفحه.
- ۶- رفاهی، حسینقلی. ۱۳۷۸. فرسایش بادی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ صفحه.
- 7- Skidmore, E. L. 1988. Wind erosion. In: Soil erosion research methods, Ed: R. Lal. Soil and water conservation society. Pp.203-233. Wilson, S. J., and R.U. Cooke. 1980. Wind erosion. In: Soil erosion, Eds. M. J. Kirkby and R. P. C. Morgan. John Wiley and Sons. Pp. 217-252.
- 8- United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). 2001. Global alarm: Dust and dandstorm from the word's drylands. Part 1. PP: 15-73.
- 9- Wenjie, L., Z. Xinjiang, S. Sinheng, Z. Xiaomei and S. Siheng. 1999. An operational satellite dust storm monitoring system. <http://www.gisdevelopment.net/acrs/1999/ts3/index.shtml>.
- 10- Wilson, S. J., and R.U. Cooke. 1980. Wind erosion. In: Soil erosion, Eds. M. J. Kirkby and R. P. C. Morgan. John Wiley and Sons. Pp. 217-252.
- 11- Xinjiang, Z., 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.