



ویژگی‌های ریخت‌شناسی رسوبات بادی و بادهای فرساینده دشت سیستان

حمیدرضا عباسی^{1*}، آزاده گوهردوست²، فرهاد خاکساریان²، مجتبی گنجعلی³

1. مربی پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
 2. کارشناس ارشد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
 3. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سیستان، ایران.
- * نویسنده مسئول: abbasi.hamidreza@ymail.com

تاریخ دریافت: 1395/10/28 تاریخ پذیرش: 1396/06/29

چکیده

فعالیت رسوبات بادی در دشت سیستان خسارت‌های زیادی به ساختارهای زیربنایی وارد می‌کند. بر همین اساس، پراکنش ویژگی‌های ریختی (مرفولوژیک) و وضعیت تثبیت رسوبات بادی در داخل کریدورهای فرسایشی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و بازبادهای میدانی و اندازه‌گیری‌های زمینی در مقیاس مناسب تهیه شد. روند تغییرات انرژی بادهای فرساینده براساس پتانسیل حمل رسوبات بادی با استفاده از آمار ساعتی سرعت و جهت باد در 6 ایستگاه هواشناسی اطراف دشت سیستان تهیه شد و میانگین سرعت باد سالانه، پتانسیل حمل ماسه، جهت حرکت نهایی ماسه، اندازه‌برداری حمل ماسه و شاخص تغییرپذیری جهت باد محاسبه و با استفاده از مدل مناسب کریجینگ پهنه بندی شدند. نتایج نشان داد که فعالیت رسوبات بادی در منطقه سیستان بیشتر تحت تاثیر بادهای 120 روزه است که از سطح هامون‌ها و براساس توپوگرافی سطح زمین در داخل چهار دالان فرسایشی صورت می‌گیرد. بیشتر اشکال تپه‌های ماسه‌ای در سیستان در اثر باد یک‌جهته شکل گرفته‌اند که شامل بارخان، رشته‌عرضی و پهنه ماسه‌ای است. مقدار فرساینده‌گی بادها براساس پتانسیل حمل ماسه در مناطق شمالی دشت سیستان و روی هامون‌های صابری و برینگک دارای بیشترین مقدار و هرچه به‌سوی مرز شرقی و جنوبی پیش می‌رود از شدت آن کاسته می‌شود. مقدار پتانسیل حمل ماسه در ایستگاه زابل 2516 واحد بردارست که یکی از بالاترین ارقام در بیابان‌های داخلی جهان می‌باشد.

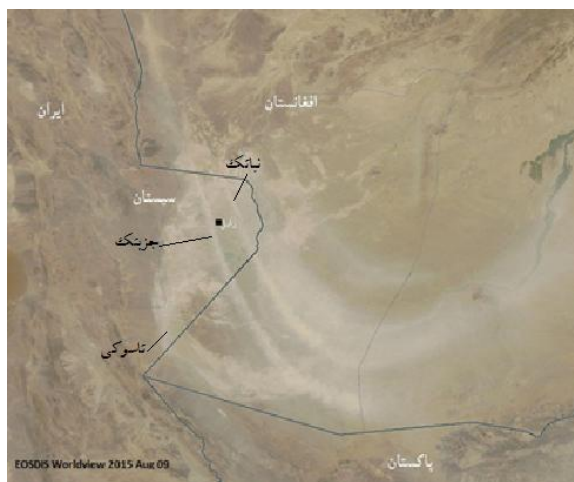
واژگان کلیدی: رسوبات بادی؛ انرژی، باد فرساینده؛ مرفولوژی؛ دالان فرسایشی

n مقدمه

چشمه‌های ریزگرد در غرب آسیا محسوب می‌شود. با شروع فصل گرما، بادهای 120 روزه با جهت شمال تا شمال‌غربی از بستر دریاچه‌های خشک هامون‌های سیستان، رسوبات بادی را در اتمسفر منتشر کرده و چتر گردوغبار و جریان ماسه، ساختارهای زیربنایی را در دشت سیستان، جنوب افغانستان، شمال پاکستان و حتی گاهی

طوفان‌های گرد و غباری و ماسه، که برآمده از پدیده فرسایش بادی است، یکی از چالش‌های اساسی دشت سیستان در شرق کشور می‌باشد. منابع تولید رسوبات بادی یعنی بستر خشک هامون‌ها در منطقه سیستان با وجود میانگین 174 روز گردوغباری، از فعال‌ترین

رژیم‌های بادی متفاوت، اشکال مختلفی از تپه‌های ماسه ای را به وجود می‌آورند؛ رژیم بادی یک‌جهته (یک‌سویه) معمولاً بارخان و رشته‌های عرضی، رژیم بادی دو‌جهته، رشته‌های طولی و رژیم بادی چندجهته (پیچیده) هرم‌های ماسه‌ای ستاره‌ای شکل را بوجود می‌آورند (14،29). اگر رژیم باد یک‌جهته باشد و یا بیشتر بادها با درجهٔ وزش بسیار کم نسبت به یکدیگر بوزند جریان ماسهٔ نهایی از مجموع برآیند همگی آنها، به شرط بالاتر بودن از سرعت آستانهٔ فرسایش، شکل می‌گیرد، ولی اگر بادها در طول یک‌سال با زوایای مختلف و با نسبت‌های متفاوت بوزند جریان ماسه برای هر جهت جداگانه و با توجه به نسبت آن شکل می‌گیرد.



شکل 1. طوفان گردوغباری و ماسه در منطقهٔ سیستان در 19 مرداد 1394، همراه با سه دالان فرسایشی نیاتک، جزینک و تاسوکی

تعیین میزان فعالیت تپه‌های ماسه بادی، نیز مورد استفاده قرار گرفته است (8،19). در داخل کشور نیز پژوهش‌هایی بر روی پتانسیل حمل ماسه انجام گرفته است. برای نمونه در بررسی مورفومتری و مورفودینامیک رخساره‌های فرسایش بادی در دشت یزد اردکان و جاسک مقدار پتانسیل حمل ماسه مورد استفاده قرار گرفته است (10). همچنین محققان دانشگاه یزد نرم‌افزاری با نام گلماسه‌نما طراحی و برای محاسبه پتانسیل حمل ماسه در بیشتر مقالات فارسی مورد استفاده قرار گرفته است (11). بطور مثال توان حمل ماسه با دو روش فرایبرگر و لحظه‌ای با استفاده از نرم‌افزار مذکور با داده‌های ساعتی سرعت و جهت باد برای دو ایستگاه جاسک (2000-1985) و

اوقات گذرگاه آبی عمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. شکل 1 نشان‌دهندهٔ طوفان گردوغباری اخیر است که دشت سیستان و جنوب افغانستان را زیر چتر خود فرو برده است.

دو عامل اقلیم و حساسیت اراضی در تولید رسوبات بادی و ریزگرد نقش اساسی دارند. مهم‌ترین پارامتر اقلیمی موثر در این پدیده باد است. درجهٔ فرساینده‌گی باد وابسته به میزان انرژی آن است؛ هرچقدر میزان انرژی باد بیشتر باشد مقدار بادبردگی خاک و تولید گردوغبار افزایش می‌یابد. همچنین رژیم بادی بر مرفولوژی رسوبات بادی، اندازهٔ تپه‌های ماسه‌ای و شکل‌گیری و توسعهٔ ریگزارها موثر است (7،13،19،20،22،31).

پتانسیل حمل ماسه¹ نشان‌دهندهٔ انرژی باد برای حمل رسوبات بادی در یک جهت مشخص است (13). از این شاخص به صورت گسترده در پژوهش‌های مرتبط با تعیین درجهٔ فرساینده‌گی بادها، شکل‌شناسی تپه‌های ماسه‌ای و بررسی رژیم بادی استفاده شده است. روش‌های متعددی برای محاسبهٔ پتانسیل حمل رسوبات بادی براساس ویژگی‌های محیطی متفاوت ابداع شده است (14). ولی روش فرایبرگر (1979) سازگاری بهتری با محیط‌های بیابانی و بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است (4). این روش براساس معادلهٔ لتو-لتو (1978) و ارتباط بین انرژی باد و حمل ماسه تهیه شده است (21). همچنین پتانسیل حمل به‌عنوان شاخصی کلیدی، برای

¹Sand Drift Potential (DP)

رخساره‌های برداشت و مناطق رسوب‌گذاری را تأیید می‌کند (28).

همچنین ردیابی عناصر ژئوشیمیایی بررسی رسوبات بادی نیاتک نشان داده که بیشترین مناطق برداشت رسوبات بستر دریاچه هامون ها و پس از آن اراضی فاقد پوشش می‌باشد به‌طوری‌که 92 درصد ذرات بادرفت مربوط به بستر رودخانه‌های محلی و دریاچه هامون هاست (2).

هدف از مطالعه پیش‌رو تعیین مقادیر انرژی بادهای فرساینده با استفاده از پتانسیل حمل و ویژگی‌های ریخت‌شناسی رسوبات بادی در ارتباط با تحلیل رژیم بادی در دالان‌های (کریدور) فرسایشی دشت سیستان است.

n مواد و روش‌ها

موقعیت محدوده پژوهش

فرسایش بادی و بحران آب دو چالش اساسی در دشت سیستان واقع در شرق کشور است. این دشت از رسوب‌گذاری رود هیرمند (یا هلمند) در پایین دست حوضه آبخیز به‌وجود آمده و متشکل از مجموعه هامون‌های شش‌گانه است که دشت سیستان را در عرض جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ تا $31^{\circ} 26'$ شمالی و طول جغرافیایی $61^{\circ} 15'$ تا $61^{\circ} 51'$ شرقی در بر گرفته‌اند. هامون‌های سیستان به‌ویژه هامون‌های پوزک، صابری، برینگک، چنگ سرخ، هیرمند و گودزره، در هنگام خشکی، به‌عنوان چشمه‌های تولید رسوبات بادی عمل می‌کنند که در محدوده مرزی ایران و افغانستان واقع شده‌اند (شکل 2).

دشت سیستان از منظر اقلیم‌شناسی جزو مناطق با آب و هوای خشک، بارش سالانه $60/8$ میلی‌متر، میانگین، بیشینه و کمینه دمای سالانه به‌ترتیب حدود 22 ، $14/5$ و $29/5$ درجه سانتی‌گراد در دوره 1959 تا 2008، با تابستان‌های خشک و خشکسالی‌های بلندمدت هیدرولوژیک که در چند سال اخیر به موجب سدسازی بر روی رود هیرمند شدت گرفته است. در مجموع حدود 400 هزار نفر در دشت سیستان ساکن هستند که مهم‌ترین مناطق مسکونی آن شهرهای زابل، زهک، ادیمی و هیرمند است.

کرمان (1961-2000) در هشت جهت نشان داد که برای ایستگاه جاسک نتایج به‌دست‌آمده مشابه (به ترتیب 401 و 412 واحد برداری) و برای ایستگاه کرمان با اختلاف زیاد (به‌ترتیب 490 و 979) محاسبه شده است (3).

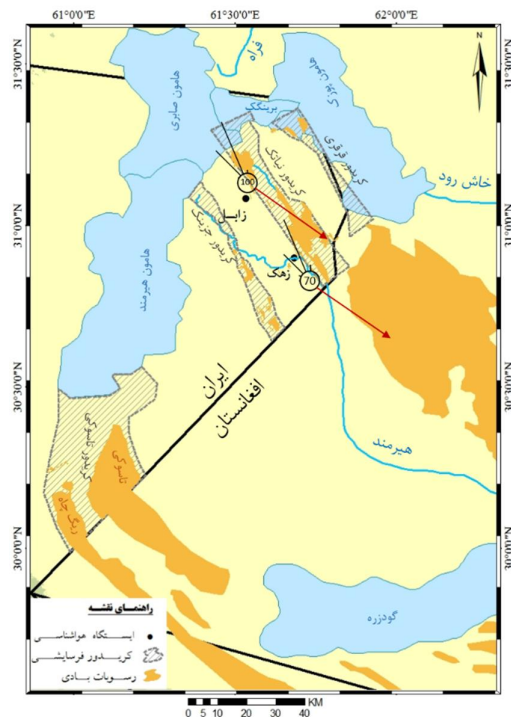
همچنین ترسیم نمودارهای هم‌ارزش پتانسیل حمل در بیابان بادینجان چین (32) و کشور کویت (4) نتایج بهتری برای تفسیر ارائه داده است. معمولاً برای ترسیم نمودارهای هم‌ارزش از مدل‌های زمین آمار استفاده می‌شود که برآورد مقادیر نقاط مجهول با استفاده از نقاط معلوم برای داده‌های مکانی را امکان‌پذیر می‌سازد (24). مدل‌های زمین آمار، براساس ابزار واریوگرام، ارتباط درجه وابستگی مکانی یک پارامتر را مشخص می‌کند (15). برای تهیه خطوط هم‌ارزش در پژوهش‌های حوزه محیط‌زیست از مدل‌های کریجینگ و IDW استفاده می‌شود.

در منطقه سیستان، علاوه بر انرژی بادهای فرساینده باید به ارتباط بین خشکی بستر هامون‌ها و طوفان‌های گردوغباری نیز توجه کرد. بررسی تغییرپذیری منشأ طوفان‌های گردوغباری سیستان ناشی از خشکیدگی هامون‌ها نشان داده است که بین خشکیدگی سطح دریاچه و شدت طوفان‌های گردوغباری رابطه‌ای مستقیم وجود دارد (25).

ویژگی‌ها و ظرفیت حمل گردوغبار و کیفیت هوا در منطقه سیستان نیز نشان داد که طوفان‌های گردوغبار منبع اصلی ذرات معلق معدنی در هوای اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک غرب آسیاست (26).

منشأیابی و ارزیابی شدت و خسارات تپه‌های ماسه‌ای در کریدور فرسایشی نیاتک سیستان نشان داده است که بی‌تردید عامل اصلی فرسایش بادی در منطقه سیستان وقوع طوفان‌های شن در اثر وزش بادهای 120 روزه است و مهم‌ترین رخساره‌های برداشت اراضی کشاورزی رهاشده، ماسه‌زارها و اراضی شور و پف کرده بستر دریاچه هامون‌ها و اراضی شمالی هامونها واقع در افغانستان است.

کاهش تدریجی قطر ذرات در نمونه‌های مختلف از شمال غرب به جنوب شرق طبق آزمایش پراش اشعه ایکس و بررسی‌های مورفوسکوپی وجود ارتباط ژنتیکی بین

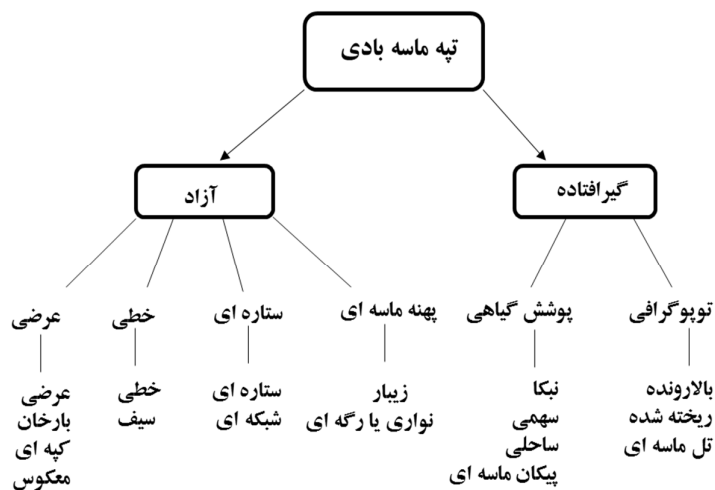


شکل 2. موقعیت دشت سیستان به همراه رودهای منتهی به هامون‌ها، گل‌ماسه و کریدورهای فرسایشی سیستان

روش پژوهش

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای² و بازدیدهای میدانی محدود قلمرو رسوبات بادی دشت سیستان در مقیاس

1:25000 شناسایی و تحدید شدند. با توجه به ویژگی‌های شکل‌شناسی رسوبات بادی کشور از روش طبقه‌بندی Livingstone and Warren استفاده شد که در شکل 3 ساختار آن نشان داده شده است (22).



شکل 3. طبقه‌بندی رسوبات بادی براساس مرفولوژی (22)

² Google Earth and IRS (2011)

Dean (1979) محاسبه شد. همچنین شاخص‌های برآیند جهت حرکت نهایی ماسه³، اندازه برداری حمل ماسه⁴ و شاخص همگنی تغییرپذیری جهت‌های باد⁵ با استفاده از رابطه‌های 1، 2 و 3 محاسبه و گلماسه‌ها ترسیم شدند.

$$DP = U^2 (U - U_t)t \quad (1)$$

$$RDP = (C^2 - D^2)^{0.5} \quad (2)$$

$$C = \sum(VU) \sin(\theta)$$

$$D = \sum(VU) \cos(\theta)$$

$$RDD = \arctan(C/D) \quad (3)$$

که در آنها: DP مقدار پتانسیل حمل در جهت‌های 16 گانه برحسب واحد برداری UV⁶، t: مدت وزش باد، U سرعت باد برحسب نات یا متر بر ثانیه، θ : زاویه وزش نسبت به شمال در جهت عقربه‌های ساعت. در نهایت پتانسیل حمل ماسه و میانگین سرعت باد با استفاده از روش کریچینگ پهنه‌بندی شدند. برای تهیه نقشه میانگین سرعت باد از اطلس باد افغانستان (9) نیز استفاده شد.

ژئومرفولوژی رسوبات بادی دشت سیستان با بهره‌گیری از روش یادشده تهیه و وضعیت تثبیت و استقرار پوشش گیاهی آنها نیز مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای تعیین ویژگی‌های بادهای فرساینده، آمار باد در شش ایستگاه هواشناسی در اطراف دشت سیستان تجزیه و تحلیل شدند. بدین منظور از آمار بلندمدت سرعت و جهت باد ساعتی استفاده شد. داده‌های سرعت و جهت در ایستگاه‌های سینوپتیک با فواصل یک یا سه ساعتی در شبانه‌روز انجام شده است. آمار ایستگاه‌های ایران شامل زابل، زهک، نهبندان و زاهدان 20 ساله در بازه زمانی 1374 تا 1394 از سازمان هواشناسی کشور و برای ایستگاه فراه و شیندند افغانستان فقط برای پنج سال در دوره آماری 2010 تا 2014 از پایگاه دانشگاه آیوا (16) به صورت آنلاین تهیه شد. ابتدا داده‌ها در نرم‌افزار اکسل تنظیم، سپس به فرمت مناسب (Lake Environment Format View) تغییر شکل داده شدند تا به توان مدت زمان وزش را به صورت جدول فراوانی از نرم‌افزار WRPLOT استخراج کرد. سپس با توجه به دسته‌بندی طبقه‌های سرعت باد (بالاتر از 11 نات) مقدار پتانسیل حمل در 16 جهت براساس روش Fryberger and

جدول 1. طبقه‌بندی پتانسیل حمل ماسه براساس انرژی باد و تغییرپذیری جهت باد (13) با ملاحظات

توزیع احتمالی جهت باد	تغییرپذیری جهت باد (شاخص همگنی)	RDP/DP	انرژی باد (فعالیت)	پتانسیل حمل (DP)
چندجهته با زاویه منفرجه	زیاد	<0/3	کم	<200
چندجهته با زاویه حاده	متوسط	0/3- 0/8	متوسط	200-400
یک‌جهته	کم	>0/8	زیاد	400-1000
-	-	-	خیلی زیاد	>1000

جنوب افغانستان و شمال پاکستان است. علت وزش این باد اختلاف فشار بین پر فشار ترکمنستان و کم‌فشار پاکستان در مقیاس همدیدی است (5,17,26). در واقع شکل‌گیری بادهای 120 روزه به سبب اختلاف فشار بین پرفشار مستقر بر روی ترکمنستان و ارتفاعات هندوکش

n نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل بادهای فرساینده

نتایج تجزیه و تحلیل باد در ایستگاه‌های مورد بررسی و همچنین نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داد که قلمرو فعالیت بادهای 120 روزه در سرتاسر لبه شرقی کشور تا

⁵ The ratio of RDP/DP

⁶ Vector Unit (v.u)

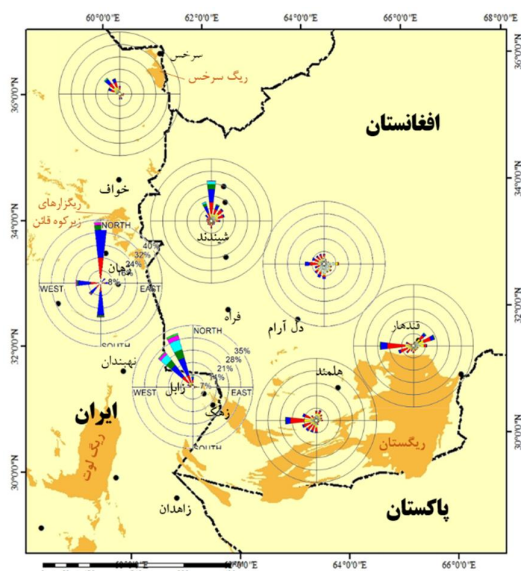
³ Resultant Drift Direction (RDD)

⁴ Resultant Drift Potential (RDP)

دایره عملکرد بادهای 120 روزه از کشور ترکمنستان شروع و پس از عبور از لبه مرز شرقی ایران، تمامی جنوب افغانستان و شمال پاکستان را در برمی‌گیرد و علت شکل‌گیری ریگ بزرگ ریگستان در جنوب افغانستان به سبب عملکرد این باد است. علاوه بر آن ریگ لوت یا یلان در بیابان لوت، ریگ‌های زیرکوه قائن شامل: ریگ‌های حاجی آباد، همت آباد و آهنگران و ریگزارهای جنوب خواف نیز تحت تاثیر همین باد شکل می‌گیرند. حتی این باد رسوبات بادی بستر هامون‌های سیستان را به شمال پاکستان وارد می‌کند و ریگ نره نو در منطقه سراوان نیز در اثر این باد و به واسطه حمل این رسوبات شکل می‌گیرد.

تغییرات میانگین سرعت باد نشان داد که میانگین سرعت باد از شمال دشت سیستان به سوی جنوب و جنوب‌شرقی کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل 5 نشان داده شده میانگین سرعت باد در مناطق شمالی دشت سیستان حدود 12 نات یا 6/7 متر بر ثانیه است که به حدود 10 نات، حدود 5/6 متر بر ثانیه در اطراف زهک کاهش می‌یابد. این مقدار کاهش در افغانستان نیز ادامه داشته؛ به طوری که موجب رسوب‌گذاری ماسه در منطقه ریگستان می‌شود.

افغانستان و کم‌فشاری معروف به کم‌فشار پاکستان است که با شروع فصل گرما از اواسط اردیبهشت ماه، همزمان با شکل‌گیری جریانات مونسن، بر روی بیابان ریگستان در جنوب افغانستان شکل می‌گیرد (6,23). جهت جریان را نیز موقعیت قرارگیری این دو جبهه کنترل می‌کند که ناهمواری‌ها نیز بر روی آن تاثیرگذار است. جهت جریان باد از سوی پرفشار مذکور با جهت جنوبی به سوی کم‌فشار بر روی مرز شرقی کشور شکل می‌گیرد. این جریان در داخل دالان یا کریدوری که به واسطه توپوگرافی کوه‌های غربی افغانستان و ارتفاعات شرقی خراسان جنوبی از نزدیکی خواف تا سیستان شکل گرفته سرعت می‌گیرد. در ادامه جهت باد در منطقه سیستان کم‌کم تغییر جهت داده و با جهت شمال - شمال‌غربی وارد افغانستان شده و در نهایت در جنوب افغانستان جهت غربی-شرقی به خود می‌گیرد. بر همین اساس و همان‌طور که در شکل 4 نمایش داده شده، گلبادهای ایستگاه‌های شمالی محدوده سیستان مانند شیندد در افغانستان، زهان و نهندان نشان‌دهنده باد غالب شمالی-جنوبی، ایستگاه‌های زابل، زهک شمال‌غربی - جنوب شرقی و ایستگاه‌های قندهار، هلمند و دل‌آرام در افغانستان غربی-شرقی‌اند. در واقع،

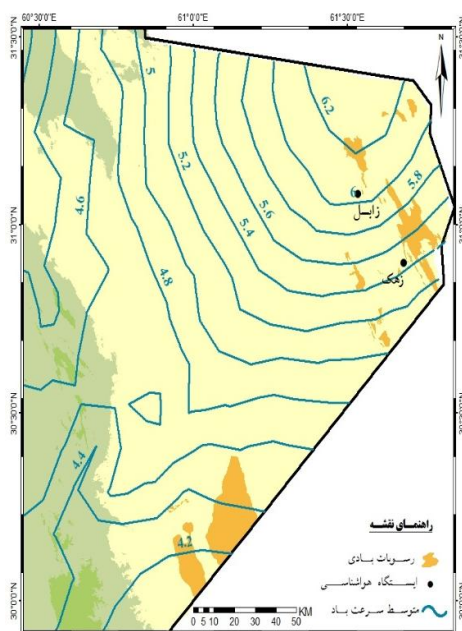


شکل 4. گلباد ایستگاه‌های هواشناسی تحت تأثیر بادهای 120 روزه (ریگزارهای ریگستان، ریگ لوت، ریگ سرخس، ریگ‌های زیرکوه قائن و ریگ خواف تحت تاثیر این بادند)

به دست آمده در منطقه مورد بررسی و مقایسه درجه فعالیت تپه‌های ماسه‌بادی کشور، مناسب دیده شد که یک طبقه به این طبقه‌بندی اضافه شود و پتانسیل حمل با بیش از 1000 واحد برداری به عنوان طبقه "انرژی خیلی زیاد" در نظر گرفته شد. جهت حرکت ماسه بستگی به جهت باد در طول سال دارد که ممکن است به طور پیوسته از یک سو بوزد مانند سیستان یا در زمان‌های مختلف سال در جهت‌های مختلف بوزد. شاخص تغییرپذیری جهت وزش باد نشان می‌دهد که جهت‌های باد در منطقه یک‌سویه یا چندسویه است. هرچقدر این نسبت به یک نزدیک‌تر باشد باد یک‌جهته و برعکس هر چقدر به صفر تمایل داشته باشد بادها چندجهته هستند.

نتایج حاصل از جهت و زمان وزش بادها در منطقه سیستان در دوره آماری بین 1374 تا 1394 نشان داد که در هر چهار فصل، جهت باد غالب در سیستان شمال تا شمال‌غربی است. بادها در فصل بهار و به‌ویژه تابستان دارای فراوانی بیشتری هستند که دقیقاً منطبق با دوره وزش بادهای 120 روزه است. فصل زمستان دارای کمترین فراوانی باد در منطق سیستان است.

تجزیه و تحلیل نهایی نتایج پتانسیل حمل با استفاده از جدول 1 انجام شد؛ میزان انرژی باد براساس پتانسیل حمل ماسه به سه گروه کم‌انرژی <200، با انرژی متوسط 200-400 و با انرژی زیاد $DP > 400$ برحسب واحد برداری تقسیم‌بندی شده است (13). با توجه به نتایج



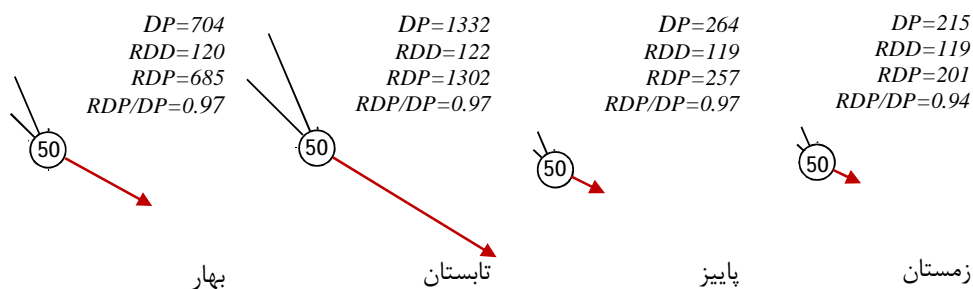
شکل 5. میانگین سالانه سرعت باد در دشت سیستان (واحد متر بر ثانیه)

چندسوبودن جهت بادست، را نیز نشان می‌دهد. بیشترین مقدار پتانسیل حمل ماسه در محدوده مطالعاتی به ترتیب متعلق به ایستگاه زابل با 2516 و زهک 1717 برحسب واحد برداری است. براساس نتایج فوق زاویه حرکت ماسه در ایستگاه زابل 121 درجه و در ایستگاه زهک 123 درجه است. همچنین شاخص همگنی و تغییرپذیری جهت‌های باد در ایستگاه‌های زابل، زهک و شیندد در افغانستان حدود 0/9 است که نشان از یک‌سو بودن باد در این مناطق دارد که غالباً جریان بادهای 120 روزه را نشان می‌دهد.

در شکل 2 گلماسه دو ایستگاه زابل و زهک 16 جهته، که هر جهت نشان‌دهنده میزان برداری پتانسیل حمل است، همراه با موقعیت منطقه نمایش داده شده است. جدول 2 مقدار پتانسیل حمل ماسه و جهت حرکت نهایی ماسه (براساس درجه صفر از شمال جغرافیایی) را نشان می‌دهد. همچنین پارامترهای دیگر مانند مقادیر میانگین سرعت، دوره آرامش و بدون باد، شاخص همگنی یا تغییرپذیری جهت‌های باد، که نشان‌دهنده یک‌سو یا

جدول 2. ویژگی‌های بادهای فرساینده 120 روزه سیستان در شرق ایران و جنوب افغانستان

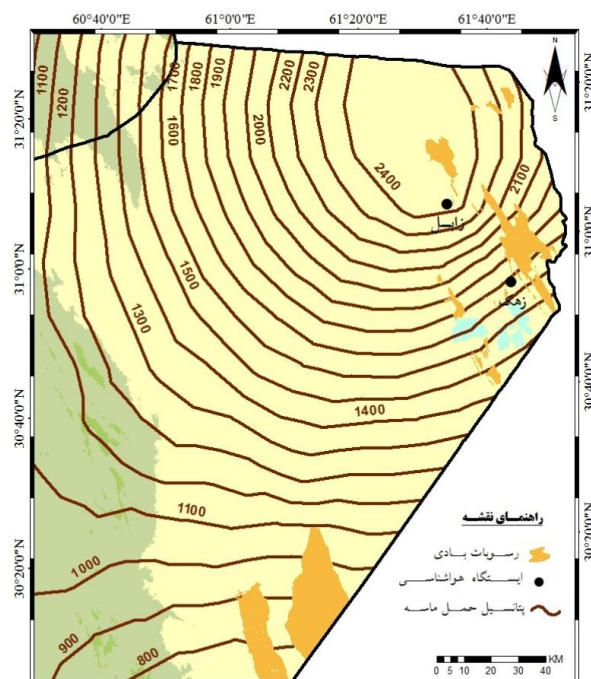
متوسط سرعت باد	باد				نام ایستگاه			
	RDP/DP	RDP	RDD	DP (v.u)				
m/s	knot			آرام %	دوره آماری			
4,6	9	0/86	550	182	640	4	2010-2014	شیندند
3	6	0/47	99	120	210	16	2011-2014	فراه
3	6	0/5	112	61	233	32	1997-2015	زاهدان
5	10	0/9	1581	123	1717	17	1995-2015	زهک
6,2	12	0/9	2380	121	2516	19	1995-2015	زابل
2,6	5	0/7	184	186	257	0/48	1999-2015	نهبندان



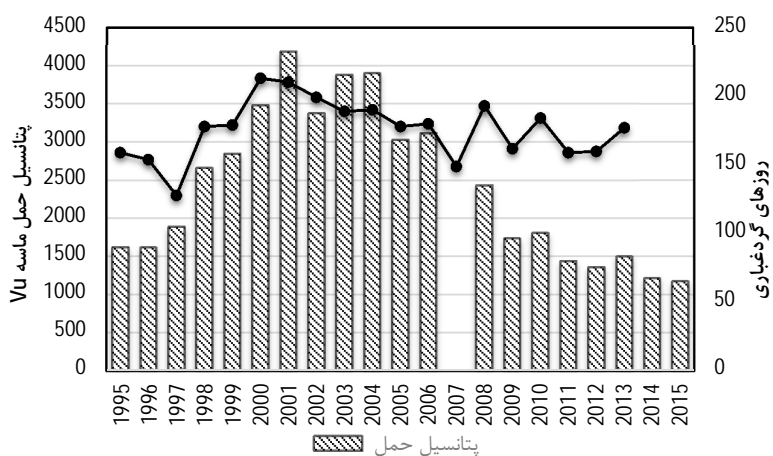
شکل 6. گلماسه فصلی ایستگاه هواشناسی زابل، اعداد داخل دایره نشان‌دهنده فاکتور کاهش برای امکان ترسیم است.

ماند. لازم به ذکر است که برای محاسبه تعداد روزهای همراه با این پدیده، کلیه کدهای مرتبط با پدیده طوفان‌های گردوغباری و ماسه لحاظ شدند. نتایج تعداد روزهای همراه با گردوغبار نشان داد که ایستگاه زابل دارای میانگین 174 روز گردوغباری در دوره 1394-1374 است که در سال‌های 1379 و 1380 به ترتیب با 213 و 210 روز بیشترین روزهای همراه با این پدیده را داشته‌اند. بر همین اساس سازمان بهداشت جهانی (30) این شهر را در سال 2012 آلوده‌ترین شهر جهان از نظر ذرات معلق $PM_{2.5}$ با مقدار میانگین سالانه 217 میکروگرم در متر مکعب و از نظر میانگین سالانه PM_{10} با 527 میکروگرم در متر مکعب در رتبه سوم دانسته است. تغییرات فصلی انرژی بادهای فرساینده در شکل 6 نیز نشان می‌دهد که بیشترین فصل وزش این بادهای تابستان و سپس بهار است که منطبق بر دوره وزش بادهای 120 روزه است. همچنین همه فصول دارای باد فرساینده یک-جهته‌اند.

شکل 7 خطوط هم‌ارزش پتانسیل حمل ماسه با استفاده از مدل کریجینگ معمولی زمین آمار را در سیستان نشان می‌دهد. تغییرات مکانی میزان پتانسیل حمل ماسه نشان داد که هر چه از شمال دشت به سمت جنوب تا جنوب شرقی حرکت کنیم مقدار پتانسیل حمل کمتر می‌شود. بیشترین مقدار انرژی بادهای فرساینده در قسمت‌های جنوبی هامون‌های برینگک و صابری است که ابتدای کریدورهای فرسایشی نیاتک و جزینک است. شکل 8 تغییرات زمانی پتانسیل حمل را در دوره 1394-1374 نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است میزان شدت بادهای فرساینده در منطقه سیستان در دهه گذشته بیشتر از سال‌های اخیر بوده است. بیشترین مقدار پتانسیل حمل در سال 1380 برابر با حدود 4183 و کمترین آن در سال 1394 برابر با 1172 واحد برداری رخ داده است. نتایج روزهای همراه با پدیده گردوغبار نیز تقریباً منطبق بر میزان پتانسیل حمل است که نشان‌دهنده ارتباط بین بادهای فرساینده و گردوغبار است. اگر چه نباید از دوره خشکی بستر هامون‌ها در این مورد غافل



شکل 7. پهنه‌بندی پتانسیل حمل ماسه در منطقه سیستان



شکل 8. روند تغییرات پتانسیل حمل ماسه و تعداد روزهای گردوغباری ایستگاه زابل

بادها در طوفان‌های منطقه سیستان، به‌طور عمده بین 339 تا 346 درجه است (17) که با جهت عمومی بادهای فرساینده در ایستگاه هواشناسی زابل یعنی شمال‌غربی، که توضیح آن داده شد، هماهنگی دارد. اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گردوغبار و ماسه از بستر دریاچه هامون صابری و برینگک است که بیشترین مقدار شدت بادهای فرساینده بر روی آن‌هاست. براساس اندازه‌گیری مستقیم با استفاده از بین فرسایشی در 1392، حدود 2 سانتی‌متر رسوبات از بستر هامون برینگک برداشت شده است (1).

ویژگی‌های رسوبات بادی سیستان

رسوبات بادی دشت سیستان با حدود 69415 هکتار در 7 محدوده گسترش یافته‌اند که در 4 دالان فرسایشی قرقری، نیاتک، جزینک و تاسوکی - ریگ‌چاه به‌سوی افغانستان امتداد یافته‌اند. شکل 9 موقعیت این کریدورهای فرسایشی و محدوده رسوبات بادی را نشان می‌دهد. مناطق برداشت ذرات ماسه و گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان داده که جهت

و در برخی قسمت‌ها اراضی کشاورزی در اطراف آن گسترش یافته‌اند. بخش بزرگی از این کریدور به سبب عبور رودخانه نیاتک و کنش بستر آن شکل گرفته است که موجب شده اراضی اطراف رودخانه پست‌تر از سطح دشت بشود و ماسه در داخل این کریدور حرکت کند. رسوبات بادی موجود در قسمت‌های بالایی این کریدور و در اطراف شیله نسرو که با شماره 2 در روی شکل 9 مشخص شده است، پهنه‌ماسه‌ای و در قسمت‌های پایینی به دلیل تجمع ماسه بیشتر به شکل بارخان است. بسته به میزان انرژی باد و تغذیه بستر هامون‌ها، میزان رسوبات بادی در داخل کریدور نیاتک هرساله تغییر می‌کند. قسمت‌هایی از رسوبات بادی در داخل این کریدور دارای پوشش گیاهی هستند که توسط اداره منابع طبیعی سیستان به صورت مالچ پاشی و کشت گونه‌های تاغ، اسکنبیل و گز تثبیت شده‌اند. در رأس این کریدور فرسایشی و همچنین در حاشیه هامون برینگک و صابری در دهه 70 اقدام به احداث 4 تا 6 ردیف بادشکن با گونه‌های گز و تاغ با جهت شمال‌شرقی - جنوب‌غربی شد که مقادیر متناهی ماسه در بین این بادشکن‌ها به تله افتادند. پس از گذشت چندسال گونه‌های مذکور زادآوری کرده و بیشتر قسمت‌های این رسوبات را پوشانده است ولی در سال‌هایی که انرژی بادهای فرساینده زیاد و بستر هامون‌ها دوره خشک طولانی‌تری دارد این بادشکن‌ها در زیر رسوبات دفن می‌شوند.

کریدور قرقری (شماره 1، شکل 9) از هامون برینگک و چنگ سرخ شروع شده و محدوده‌های مرزی شهرستان هیرمند و افغانستان را در بر می‌گیرد. این کریدور توسط مرز تقریباً از طول به دو قسمت تقسیم می‌شود و جریان ماسه در آن نسبتاً شدید است. به همین جهت تنها در اطراف روستای قرقری پهنه‌های ماسه‌ای در ناهمواری‌های سطح هامون چنگ سرخ و یا در پناه گیاهان به صورت پیکان ماسه‌ای شکل گرفته است. حدود چهارگانه این کریدور به وضوح کریدورهای دیگر نیست ولی در هنگام طوفان وجود آن کاملاً احساس می‌شود. رسوبات این کریدور به داخل هامون پوزک وارد می‌شود.

این نتیجه با نتایج به دست آمده از پژوهش‌های (17، 18) نیز منطبق است که منشأ طوفان‌های گردوغباری را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای هامون‌های یادشده دانسته‌اند. در واقع، رسوبات بادی و گردوغبار در هنگام خشکی از بستر هامون‌های صابری، برینگک، چنگ سرخ و هیرمند برداشت و جریان ماسه بیشتر از طریق دالان‌های یادشده وارد افغانستان می‌شود. جهت قرارگیری کریدورهای قرقری، نیاتک و جزینک شمال‌غربی - جنوب‌شرقی که در نهایت در داخل افغانستان جهت شرقی - غربی پیدا می‌کنند. علاوه بر کریدورهای مذکور، دیگر پژوهشگران نیز کریدور سیاه کوه واقع در جنوب‌شرقی این چهار کریدور، در منطقه رودبار افغانستان، را با جهت مشابه گزارش کرده‌اند (12).

جهت کریدور تاسوکی در داخل ایران شمالی - جنوبی است که انتهای آن با چرخشی نزدیک به 90 درجه به سوی گودزره در داخل خاک افغانستان و قسمتی دیگر وارد شمال پاکستان می‌شود. در هنگام وزش بادهای با سرعت بالاتر از آستانه فرسایش، ابتدا از بستر هامون‌های خشک، گردوغبار و جریان ماسه در داخل این کریدورهای فرسایشی شروع به حرکت می‌کند و چنانچه سرعت باد افزایش یابد بیشتر سطح هامون‌ها و خاک‌های حساس در داخل دشت نیز در تولید گردوغبار و ماسه مشارکت می‌کنند. توپوگرافی سطح دشت به شکلی است که جریان هوا در داخل این کریدورها کانالیزه و سرعت بیشتری به خود می‌گیرد. بر همین اساس، پراکندگی و فعالیت رسوبات بادی در دشت سیستان مرتبط با این کریدورهای فرسایشی است.

البته چند محدوده رسوبی کوچک نیز وجود دارند که منشأ آنها از بستر رودخانه و اراضی حساس رهاشده در داخل دشت مانند رسوبات مستقر در حد فاصل زهک و روستاهای گفتارگی، کمک کهنه و قلعه‌کنگ می‌باشند.

کریدور نیاتک از فعال‌ترین کریدورهای فرسایشی با طول حدود 60 کیلومتر است که ابتدای آن در حد فاصل بین هامون برینگک و صابری و خروجی آن به داخل رود پریان مشترک بر روی مرز ایران و افغانستان است. بیشتر قسمت‌های این کریدور در گذشته جنگل‌کاری شده است

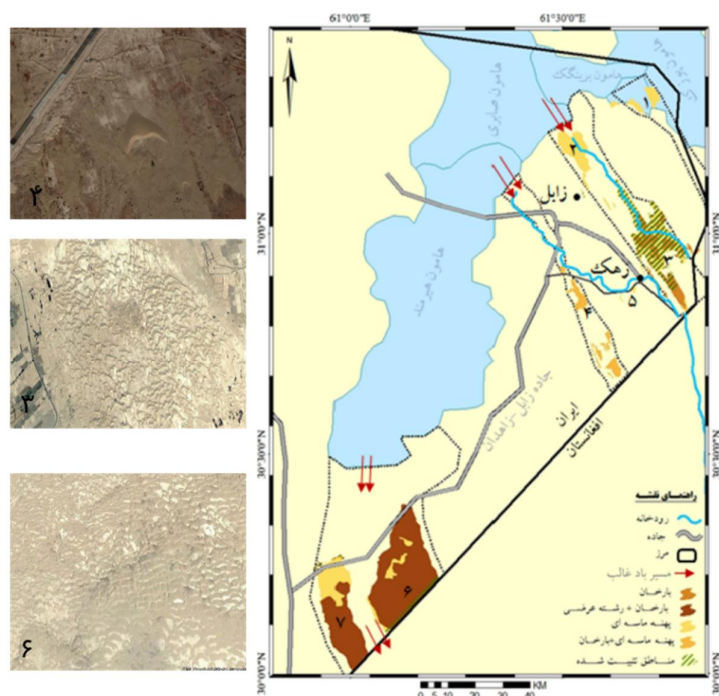
جدول 3. ویژگی‌های محدوده رسوبات بادی دشت سیستان

ردیف	محدوده رسوبات بادی	وضعیت تثبیت		مساحت (هکتار)
		تثبیت شده	تثبیت نشده	
1	فرقری	-	1717,3	1717,3
2 و 3	نیاتک	47,3	4464,5	19466
	شيله نسرو نیاتک	12839	2115,1	
4	جزینک	-	3414,2	3414,2
5	زهک-قلعه کنگ	-	224,37	224,37
6	تاسوکی	1407,3	26354	27761,3
7	ریگ چاه	256,81	16527	16784
8	کوه خواجه علی اکبر	-	29	29
	جمع	14551	54846	69396

کریدور فرسایشی تاسوکی - ریگ چاه از دو محدوده مجزای رسوب‌گذاری تاسوکی و ریگ چاه تشکیل شده است که به ترتیب با شماره‌های 6 و 7 در شکل 9 نشان داده شده‌اند. اهمیت این دو محدوده از آن جهت است که راه ارتباطی زابل - زاهدان و همچنین اراضی کشاورزی روستای ریگ چاه را تحت تاثیر خود می‌گذارند. این رسوبات بادی در محل تاسوکی و شيله دوراهی با جهت شمالی - جنوبی شروع و با تغییر جهت شمال غربی - جنوب شرقی به داخل افغانستان وارد می‌شوند و نهایتاً در داخل افغانستان جهت غربی - شرقی به خود می‌گیرد. این کریدور در انتهای هامون هیرمند و در دالانی شکل گرفته که در اثر فعالیت رودخانه شيله در داخل تراس‌های رودخانه‌ای شکل گرفته‌اند. از نظر شکل‌شناسی، تپه‌های ماسه‌بادی در ریگ تاسوکی بیشتر بارخان و رشته عرضی و کمی پهنه‌ماسه‌ای است که منشأ آنها قسمت‌های انتهایی بستر هامون هیرمندند. باد یک‌جهته شمالی باعث تشکیل برخان و رشته عرضی در این ریگ شده است که برخلاف مابقی رسوبات بادی منطقه سیستان به دلیل وجود کریدور شمالی - جنوبی، جهت حرکت تپه‌ها نیز همانند آن است. برای حفاظت جاده مرزی و پاسگاه‌های مرزی، قسمت کوچکی از این ریگ در حاشیه مرز با پوشش گیاهی (بیولوژیک) تثبیت شده است.

کریدور جزینک (شماره 4 در شکل 9) از دیگر کریدورهای فرسایشی فعال در دشت سیستان است. رسوبات بادی در این کریدور از نوع بارخان‌های بزرگ و پهنه‌ماسه‌ای هستند. خسارت‌های ناشی از حرکت ماسه‌های روان در این کریدور فرسایشی به سبب گسترش اراضی کشاورزی و ساختارهای زیربنایی مرتبط مانند راه‌های دسترسی و کانال‌های آبیاری زیادتر از بقیه است. در اندازه‌گیرهای مستقیم، متوسط حرکت بارخان‌ها در این کریدور بین 40 تا 70 متر در سال متغیر است. متأسفانه چاه‌نیمه شماره 4 در داخل این کریدور فرسایشی و بدون توجه به آن احداث شده است. همانطور که گفته شد انرژی بادهای فرساینده در سالهای فعلی کمتر از میانگین بوده است که در آینده موجب مشکلاتی نظیر ریزش رسوبات به درون این چاه نیمه خواهد شد.

همان‌طور که گفته شد علاوه بر رسوبات موجود در داخل کریدورهای فرسایشی، چند محدوده کوچک رسوب‌گذاری شده نیز در دشت وجود دارند. در جنوب غربی شهر زهک مقدار محدودی رسوبات بادی در حد فاصل زهک - قلعه کنگ تشکیل شده است که دارای منشأ رودخانه محلی‌اند (شماره 5 در شکل 9). در واقع همسوسدن زاویه بستر رودخانه با مسیر باد موجب برداشت رسوبات ریز آبرفتی شده و پهنه‌های ماسه‌ای محدودی را در حاشیه رودخانه به وجود آورده است.



شکل 9. پراکنش، مورفولوژی و وضعیت تثبیت رسوبات بادی در دشت سیستان

بیشتر مناطق تثبیت‌شده در کریدور نیاتک به صورت جنگل کاری و مالچ‌پاشی است. امکان تثبیت برخی از رسوبات بادی به‌ویژه در کریدور جزینک به سبب گسترش آنها بر روی مستثنیات (اراضی کشاورزی) وجود ندارد؛ زیرا مالکان اجازه نمی‌دهند و معتقدند تجمع ماسه در ملک آنها صورت می‌گیرد و باعث بروز مشکلات در آبیاری خواهد شد. گفته قدیمی سیستانی می‌گوید: "هر آنچه را باد بیاورد باد می‌برد". بر همین اساس به نظر می‌رسد تلاش برای تثبیت در کریدورهای فرسایشی بدون تثبیت منشأ کارگشا نیست و عملیات تثبیت در دشت بجز تجمع موقتی ماسه، کارکردی ندارد.

n نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پتانسیل حمل ماسه در ایستگاه زابل با حدود 2516 واحد برداری، دشت سیستان بالاترین انرژی بادهای فرساینده در بیابان‌های داخلی دنیا را داراست. مقدار انرژی بادهای فرساینده در منطقه سیستان تغییرات زمانی و مکانی نسبتاً زیادی به همراه داشته است؛ به طوری که مقدار آن در مناطق شمالی دشت سیستان بیشتر و با حرکت به سوی جنوب و شرق از

رسوبات بادی ریگ چاه در قسمت‌های بالایی و در اطراف شیله دوراهی بیشتر پهنه‌ماسه‌ای و کمی هم برخان‌اند که به دلیل نزدیکی به جاده زابل - زاهدان قسمت‌هایی از برخان‌های فعال آن با مالچ تثبیت شده‌اند. بخش‌های پایینی این ریگ برخان و رشته عرضی است که چند مزرعه کشاورزی در حاشیه غربی آن استقرار دارند. وجود باد نائب غربی - شرقی بر این ریگ تاثیر گذاشته و شیب تند برخی برخان‌های این ریگ به سوی شرقی است و پهنه‌های ماسه‌ای نیز به واسطه وجود دو باد به صورت زیبار با جهت شمالی - جنوبی هستند.

حدود 23 درصد تپه‌های ماسه‌ای دشت سیستان دارای پوشش گیاهی و مابقی، یعنی 77 درصد، بدون پوشش گیاهی هستند که دست کاشت یا طبیعی هستند و جزئیات آن در جدول 3 آمده است. مهم‌ترین گونه‌های موجود روی رسوبات بادی سیستان شامل تاغ *Haloxylon persicum* و *Haloxylon aphyllum*، گز *Tamarix stricta*، گز شاهی یا کورگز *Tamarix aphylla*، آنریپلکس *Atriplex muculata*، اشنان *Seidlitzia Rosmarinus*، خارشتر *Alhagi Comelorum* و علف شور *Salsola Sp.* است.

روی شدت باد است. در واقع بادهای 120 روزه به دلیل یک‌جهته بودن ذرات رسوب را برداشته و از طریق این کریدورها به داخل افغانستان می‌برد. پیشنهاد می‌شود در مکان‌یابی پروژه‌های توسعه‌ای به مسیر حمل رسوبات بادی در کریدورهای فرسایشی توجه شود. نوع اشکال ناهمواری‌های ماسه بادی در دشت سیستان در ارتباط با باد یک‌جهته شمال‌غربی، بیشتر شامل بارخان، تپه‌های عرضی و پهنه‌ماسه‌ای می‌باشد که در داخل کریدورهای یادشده حرکت می‌کنند.

میزان آن کاسته می‌شود. بر همین اساس، شدت باد روی هامون‌های صابری، برینگک و چنگ سرخ بیشتر از هامون‌های دیگرست و برای عملیات تثبیت در اولویت هستند. تغییرات زمانی مقدار پتانسیل حمل رسوبات بادی نشان داد که در دهه گذشته مقدار انرژی بادهای فرساینده بیشتر از سال‌های اخیر بوده است و امکان تشدید طوفان‌های ماسه و گردوغبار در آینده وجود دارد. پراکنش و فعالیت رسوبات بادی در دشت سیستان منطبق با چهار کریدور فرسایشی است که ناشی از تاثیر توپوگرافی زمین

References

1. Abbasi, H.R. & Opp, C. (2014). Identification of the sensitivity areas to wind erosion in the Sistan Province (Hamoun lakes), *Proceeding of the Eight International Conference on Aeolian Research*, 21-25 July, Lanzhou, China.
2. Abbasi, M., Feiznia, S., Ahmadi, H. & Kazmei, Y. (2010) Source identification by geochemical of eolian sediment in Niatak, *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 1 (1), 34-44 (In Farsi).
3. Ahmadi, H. & Mesbahzadeh, T. (2011). Comparison of Sand Drifts Potential Estimating, Using Momentum Method and Fryberger Velocity Classes Method (Case Study: Jask and Kerman). *Journal of Water and Soil*, 25 (1), 11-18 (In Farsi).
4. Al-Awadhi, J.M., Al-Helal, A. & Al-Enezi, A. (2005). Sand drift potential in the desert of Kuwait. *Journal Arid Environment*, 63, 425-438.
5. Alijani, B. & Raespoor, K. (2011). Statistical analysis, synoptic dust storms in South East Iran: A Case Study of Sistan. *Journal of Geographical Studies of Arid Zones*, 2(5), 107-129.
6. Alizadeh Choobari, O., Zawar-Reza, P. & Sturman, A. (2014). The "wind of 120 days" and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric Research*, 143, 328-341.
7. Breed, C. S. & Grow, T. (1979). Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing a study of global sand seas: US Government Printing Office Washington, DC. 1052, 253-302.
8. Bullard, J., Thomas, D., Livingstone, I & Wiggs, G. (1996). Wind energy variations in the southwestern Kalahari Desert and implications for linear dunefield activity. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21(3), 263-278.
9. Cowlin, SH. (2010). Afghanistan Resource Data and Geospatial Toolkit (GST), National Laboratory of the U.S. Department of Energy, 22 pp.
10. Ekhtesasi, M.R. (2005). Morphometry and morphodynamic facies wind erosion in Yazd - Ardakan and to determine the procedure to be applied in desertification assessment models. *PhD Thesis in Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions*. University of Tehran (In Farsi).
11. Ekhtesasi, M.R., Saremi naeini, M.A. & Saremi. Naeni, A. (2005). Software design Sand Rose (Sand rose graph 2.0) processor, Soil erosion and sediment transport wind. *The first national conference on wind erosion*, Iran, Yazd. 9p. (In Farsi).
12. Ewing, R.C. & Kocurek, G. (2010). Aeolian dune-field pattern boundary conditions, *Geomorphology*.

- 114, 175–187.
13. Fryberger, S.G. & Dean, G. (1979). Dune forms and wind regime. In: McKee, E.D. (Ed.), *A Study of Global Sand Seas*, U.S. Geological Survey, Washington, Professional Paper 1052, 137–169.
 14. Greeley, R. & Iversen, J. (1985). *Wind as a Geological Process*. Cambridge Univ. Press, New York, 333 pp.
 15. Hasanipak, A.A. (2013). *Geostatistics*. Iran: Tehran University.
 16. http://mesonet.agron.iastate.edu/request/download.phtml?network=IR__ASOS.
 17. Iranmanesh, F., Arabkhedri, M. & Akram, M. (2006). Soil Conservation and Watershed Management Investigation of dust origins and characteristics of their spreading in Sistan's storms, Iran region, using image processing. *Pajouhesh & Sazandegi*, 18(2), 25-33 (In Farsi).
 18. Kosravi, M. (2011). Vertical distribution of dust storms in the Middle East by using NAAPS. *Fourth International Congress on Islamic World Geographers*, Zahedan, University, 14-17 April (In Farsi).
 19. 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(1), 69-82.
 20. Lancaster, N. (1994). *Dune morphology and dynamics* Geomorphology of desert environments: Springer, 474-505.
 21. Lettau, K. Lettau, H.H. (1978). Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In: Lettau, H. Lettau, K. (Eds.), *Exploring the world's driest climate*. University of Wisconsin-Madison, Institute for Environmental Studies, IES Report 101, 110–47.
 22. Livingstone, I. & Warren, A. (1996). *Aeolian geomorphology: an introduction*, Longman.
 23. Mofidi, A., Hamidian Pour, M., Salighe, M & Alijani, B. (2014). Set the start, end and duration of wind Sistan methods to estimate the change point. *Geography and environmental hazards*, 2 (8), 87 - 112.
 24. Oliver, M., Webster, R., & Gerrard, J. (1989). Geostatistics in physical geography. Part II: applications. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 270-286.
 25. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A. & Kahn, R. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463, 552-564.
 26. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G & Rautenbach C. J. de W. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Nat Hazards*, 71, 563–585.
 27. Salighe, M., Kosravi, M. & Smaeel, P. (2011). The effect of changes in the local climate Sistan plain lake. *Fourth International Congress on Islamic World Geographers*, Zahedan, Sistan and Baluchistan University. 14-17 April.
 28. Sargazi, H. (2005). Source Studying and assessment risk of sand dune in desert of Niatak Sistan, Iran, *M.Sc. Thesis in arid zone management*, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 136 (In Farsi).
 29. Wasson, R.J. & Hyde, R. (1983). Factors determining desert dune type. *Nature*, 304, 337–339.
 30. http://www.who.int/entity/phe/health_topics/outdoorair/databases/WHO_AAP_database_May201.
 31. Zhang, N. Kang, J. H. & Lee, S. J. (2010). Wind tunnel observation on the effect of a porous wind fence on shelter of saltating sand particles. *Geomorphology*, 120(3), 224-232.
 32. Zhang, Z. Dong, Z. & Li, C. (2015). Wind regime and sand transport in China's Badain Jaran Desert. *Aeolian Research*, 17, 1–13.

Morphologic characteristics of aeolian deposits and erosive winds in Sistan plain

H. R. Abbasi^{1*}, A. Gohardoust², F. Khaksarian², M. Ganjali³

1. Research Instructor, Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
2. Senior Expert, Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. Assistant Professor, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran.

* Corresponding Author: abbasi.hamidreza@gmail.com

Received date: 17/01/2017

Accepted date: 20/09/2017

Abstract

Shifting aeolian dunes damage to infrastructure in Sistan plain. Accordingly, distribution, morphology and fixed and unfixed status of sand dunes in erosive corridors were surveyed by using satellite images and field investigation. Mean wind velocity, average seasonal and annual sand drift potential, resultant drift direction, resultant drift potential and unidirectional index (RDP/DP) were calculated using hourly wind speed and direction data in six meteorological stations around Sistan plain. In addition, temporal and spatial variation of wind energy were mapped using Kriging geostatistical method. The results show that activity of sand dunes matched wind of 120 days which lifted sediment from the dry beds of Hamoun Lake into 4 erosive corridors based on topography which forms Registan sand seas in the southwest Afghanistan. The types of dunes are Barchans, transvers and sheet which is formed by unidirectional wind. The DP decreased from northwest to southeast of region and the value of drift potential in Zabol station was calculated 2516 vector unit that it is one of the highest values in inland deserts of the world.

Keywords: Effective winds energy; Sand Drift Potential; Erosive corridors