مجله پژوهش‌های راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۷ شماره ۲ صفحه‌های ۱۲۵ تا ۱۳۸ (۱۴۰۱)

راهبردهای مهار فرسایش بادی در دالان‌های حمل ماسه دشت سیستان[1]

حمیدرضا عباسی[2،3]

چکیده

بحران آب و فرسایش بادی همواره دو چالش اساسی دشت سیستان درشرق کشور هستند. بیش از نیم قرن است که پژوهش‌ها و برنامه‌های اجرایی تثبیت و کنترل ماسه‌های روان در این منطقه دنبال می‌شود، ولی هنوز چالش گرد و غبار و ماسه‌های روان دشواری‌های اقتصادی و اجتماعی بی‌شماری ایجاد می‌کند. محاسبه انرژی بادهای فرساینده براساس قابلیت حمل ماسه[4] با استفاده از روش فرابیرگر و دین نشان می‌دهد که بادهای فرساینده بر اساس قابلیت حمل ماسه زیاد (DP=2513 v.u) در ایستگاه زابل و زهک انرژی بسیار زیاد دارند. از آنجا که رابطه بین نیروی باد و پوشش‌گیاهی از مدل هیستروزیس[5] تبعیت می‌کند، نگهداری رسوب‌های بادی با پوشش‌گیاهی در انرژی‌های زیاد باد امکان‌پذیر نیست یا بسیار سخت خواهد بود. در واقع، پوشش‌گیاهی تا آستانه‌ای از نیروی باد توان نگهداری ماسه را دارد. براین اساس، موفقیت تثبیت و نگهداری رسوب‌های بادی با پوشش‌گیاهی در داخل چهار دالان[6] فرسایشی قرقری-پوزک، نیاتک، جزینک و تاسوکی-ریگ چاه امکان‌پذیر نیست و نباید هزینه‌ای در این زمینه پرداخت شود. ساختار زیربنایی و کانون‌های جمعیتی در داخل دالان‌های فرسایشی نباید توسعه یابند یا اگر هم‌اکنون کانون‌های جمعیتی وجود دارند باید از داخل دالان خارج شوند. رویکرد تثبیت در دشت سیستان باید محدود به بستر هامون‌های سیستان و بر روی خاک‌های حساس تمرکز یابد.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، بادهای فرساینده، دالان‌های فرسایشی، قابلیت حمل ماسه.

مقدمه

کمبود آب و فرسایش بادی از چالش‌های اساسی دشت سیستان هستند و به‌واسطه تغییر هیدرولوژیک رود هیرمند در اثر سدسازی و خشکسالی سال‌های گذشته این چالش‌ها شدت گرفته اند. حوضه رود هیرمند حدود ۴۰٪ مساحت افغانستان را می پوشاند و رود هیرمند یکی از سرکش‌ترین رودهای جنوب غربی آسیا به‌شمار می‌آید. این رود با طول حدود ۱۱۰۰ کیلومتر از کوه‌های بابا در جنوب غربی کابل سرچشمه می‌گیرد و منبع اساسی تامین آب منطقه سیستان در شرق ایران

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۴/۳۰

۲- نویسنده مسئول، پست الکترونیک: hamidabbasi9999@gmail.com

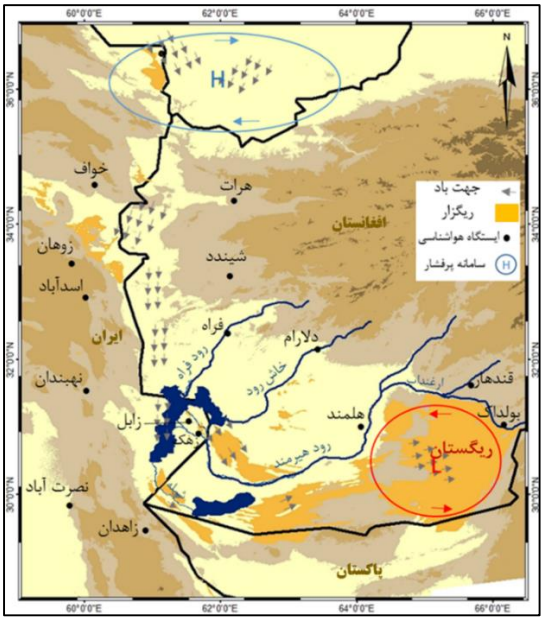
۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

4. Sand drift potential 5. Hysteresis 6. Corridor

است و همواره رفتار غیرقابل پیش‌بینی از خود بروز داده است (۱۷). بر این اساس، سیل و خشکسالی همواره دو چالش رایج در این حوضه هستند که می‌توانند در دو سال پی‌درپی به سرعت از این بحران به بحرانی دیگر تبدیل شوند.

رود هیرمند پس از عبور از ریگستان افغانستان، در نزدیکی ایران با گردش به‌سوی شمال به مرز نزدیک می‌شود و در نقطه صفر مرزی، شاخه رود سیستان از آن جدا می‌شود و به داخل دشت سیستان جریان پیدا می‌کند. قسمتی از آب ورودی به رود سیستان با یک کانال به داخل چاه نیمه‌ها، که گودال‌های طبیعی توپوگرافیک هستند، منتقل و برای شرب و آبیاری کشاورزی در فصل خشک ذخیره می‌شود. منبع آب این رودخانه بیشتر حاصل از آب شدن برف و بارش‌های سیل آسای بهاره در بلندی‌های هندوکش افغانستان است که به‌صورت سیلاب در آخر زمستان و اول بهار به سیستان می‌رسد.

در پایاب این رود، فروافتادگی دشت سیستان در اثر تجمع رسوب‌های آبرفتی دلتایی و دریاچه‌ای مانند یک کاسه[1] شکل گرفته است. مجموعه هامون‌های شش‌گانه، به‌نام‌های پوزک، چنگ سرخ، برینگک، صابری، هیرمند و گودزره به‌صورت دایره دشت سیستان را دربرگرفته اند (شکل ۱). هامون‌ها در واقع بوم‌نظام دریاچه‌ای موقت[2] هستند که همواره در حال خشک و مرطوب شدن‌اند. مساحت هامون‌های سیستان ۵۳۴۶ کیلومتر مربع (بدون گودزره) است که حدود ۶۴٪ آن‌ها در ایران و بقیه در افغانستان واقع شده است (۱۷).

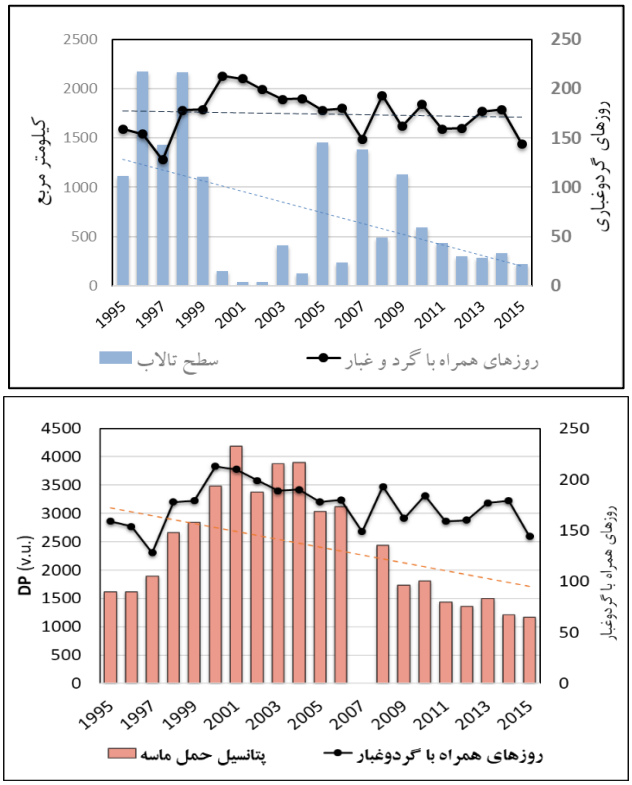


شکل ۱- موقعیت سامانه‌های هوایی دشت سیستان و ریگستان افغانستان، جریان بادهاو رسوب‌های بادی.

وابستگی حیات سرزمین سیستان به آب هیرمند به طور کامل مشخص است، ولی در دهه‌های گذشته به دلیل‌های بروز خشکسالی‌های طولانی‌مدت، تغییر اقلیم و سدسازی، آب کافی به آن نرسیده است و پدیده گرد وغبار و هجوم ماسه‌های روان افت وخیز چشمگیری داشته است. مجموعه دشت و بستر هامون‌های سیستان از نظر فرسایش بادی در زمره مناطق برداشت و حمل گروه‌بندی می‌شوند. منابع تولید رسوب‌های بادی یعنی بستر خشک هامون‌ها در منطقه سیستان با وجود

1. Depression
2. Ephemeral Lake

میانگین ۱۴۴ روز گردوغباری در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۴، از فعال‌ترین منبع‌های برداشت گرد وغبار در غرب آسیا محسوب می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- ارتباط بین شمار روزهای همراه با گرد وغبار و سطح آب‌دار هامون‌ها و انرژی بادهای فرساینده (DP) در ایستگاه زابل.

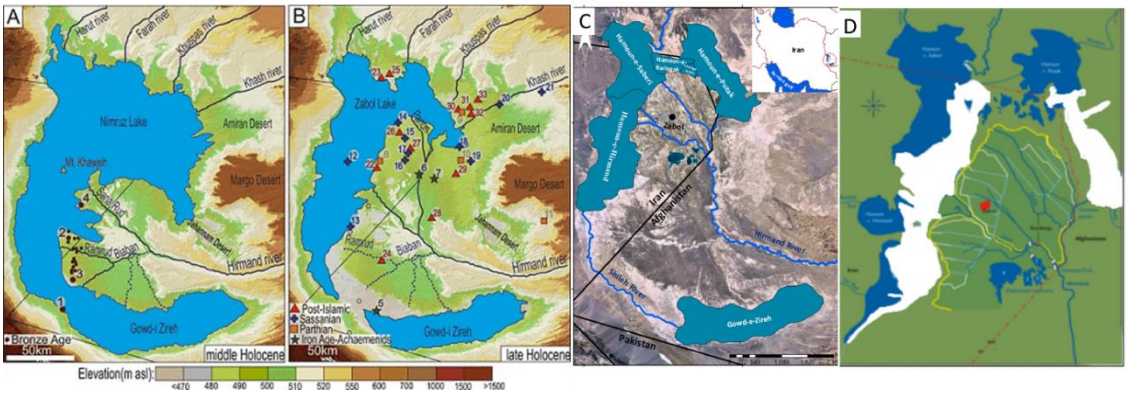
با شروع فصل گرما، سامانه‌ای کم‌فشار به‌نام کم‌فشار پاکستان از عرض‌های پایین‌تر بالا می‌آید و در جنوب افغانستان مستقر می‌شود. وجود سامانه پرفشار مستقر روی ترکمنستان (شرق دریای مازندران) موجب ایجاد جریانی از عرض‌های بالایی به‌سوی کم فشار یاد شده می‌شود. بلندی‌های هندوکش افغانستان و خراسان طوری قرار گرفته‌اند که ضمن تشدید گرادیان فشار هوا، دالان یا کریدوری باریک روی مرز شرقی تشکیل می‌دهند. این جریان هوایی در داخل این دالان شدت می‌گیرد و هنگامی که به سیستان می‌رسد دارای بیشترین سرعت است (۷، ۱۴) و رسوب‌ها را از بستر دریاچه‌های خشک برداشت و در اتمسفر منتشر می‌کند. این بادهای شدید کم‌ارتفاع[1] که از میانه بهار تا اول پاییز می‌وزند (۹) به بادهای ۱۲۰ روزه مشهورند. چتر گرد وغبار و جریان ماسه، ساختارهای زیربنایی را در دشت سیستان، جنوب افغانستان، شمال پاکستان و گاهی حرکت کشتی‌های تجاری را در اقیانوس هند و دریای عمان زیر تأثیر قرار می‌دهد. همزمانی تقویمی وزش این بادها با خشک شدن هامون‌های سیستان در فصل خشک سال، موجب تبدیل آن‌ها به کانون گرد و غبار و ماسه می‌شود.

سطح آبگیر هامون‌های سیستان در حال کوچک شدن است و روند گرمایش جهانی و تغییر اقلیم به آن شدت بخشیده است. در میانه هولوسن[2] (حدود ۷۰۰۰ تا ۹۰۰۰ سال پیش) سطح آن‌ها بسیار بزرگ‌تر از سطح امروز و یکپارچه بوده‌است

1. Low level jet (LLJ)
2. Holocene

(تصویر A شکل ۳) و در انتهای هولوسن (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ سال پیش) کوچک‌تر می‌گردد و گودزره از دریای زابل جدا می‌شود (۱۲). روند کوچک شدن دریای زابل و به‌وجود آمدن هامون‌های شش گانه سیستان تا عصر حاضر ادامه می‌یابد (تصویر C شکل ۳) و با توجه به تغییر اقلیم و سناریوهای افزایش دما (۱۳) به احتمال زیاد این روند ادامه خواهد داشت و تنها قسمت‌های گودتر از هامون‌های سیستان در سال‌های اخیر آبگیری خواهند شد. براین اساس، سطح بیشتری از بستر هامون‌ها خشک می‌شود و در معرض بادهای فرساینده قرار می‌گیرد (قسمت‌های سفید در تصویر D شکل ۳).

در این مقاله تلاش می‌شود تا نشان داده شود رویکرد مهار ماسه‌های روان در منطقه حمل در سیستان باید از نظر مکانی تغییر کند و محدود به بستر هامون‌های سیستان شود و روی خاک‌ها و رسوب‌های حساس تمرکز یابد. ساختار زیربنایی در داخل دالان‌های حمل ماسه نباید توسعه یابد یا از آن باید خارج شود. به همین منظور ابتدا ویژگی‌های بادهای فرساینده مشخص و پس از آن براساس رابطه بین پوشش‌گیاهی و انرژی بادهای فرساینده در ارتباط با حمل رسوب‌های بادی، امکان نگهداری ماسه و رسوب‌های بادی بررسی می‌شود.



شکل۳- تغییرهای سطح هامون‌های سیستان در دوره‌های کواترنر (میانه هولوسن A، آخر هولوسن B، دوره پرآبی اخیرC، و دوره کم آبی اخیر D) (شکلA وB : از حمزه (۱۲)، شکل C از نگارنده، شکل D از وان بیک و میجر(۱۸)).

۱-ویژگی بادهای سیستان

۱-۱- بادهای فرساینده- میانگین سرعت باد در ایستگاه زابل ۶/۲ و در ایستگاه زهک ۵/۹ متر بر ثانیه است. سرعت این باد به‌تدریج از منطقه سیستان به‌طرف ریگستان افغانستان کاهش پیدا می‌کند به‌طوری که در ایستگاه قندهار و اسپین بولداک در لبه شرقی ریگستان به ترتیب به ۳/۱ و ۲/۴ متر بر ثانیه می‌رسد (جدول ۱). از نظر مقایسه، دشت سیستان بیشترین میانگین سرعت باد را در بین ایستگاه‌های منطقه‌های خشک و نیمه خشک کشور و همچنین بیابان‌های داخلی جهان دارد (۷). برای نمونه میانگین سرعت باد در بیابان تاکلمکان چین (۳/۰ متر برثانیه)، بیابان تنگر چین (۳/۸)، بیابان بادینجاران چین (۴/۷) (۱۹) و دشت کویر ایران (۴/۸) است. سرعت حدود ۴۶٪ بادها در دشت سیستان بیشتر از ۶ متر برثانیه (آستانه حرکت ذره‌های ماسه) است.

جدول ۱- ویژگی بادهای فرساینده در دشت سیستان و جنوب افغانستان.

ایستگاه هواشناسی	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)			ویژگی‌های بادهای بالاتر از ۶ (متر بر ثانیه)			
	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	درصد
زابل	۶/۲	۵/۳	۷/۰	۹/۵	۷/۹	۱۰/۷	۴۶
زهک	۴/۸	۳/۲	۵/۶	۸/۲	۷/۹	۸/۶	۳۹
دلارام	۳/۴	-	-	۷/۲	-	-	۱۸
فراه	۳/۱	۲/۸	۳/۹	۷/۴	۶/۹	۷/۷	۱۶
هلمند	۲/۹	۲/۶	۳/۵	۷/۳	۶/۹	۸/۰	۱۴
قندهار	۳/۱	۲/۶	۳/۳	۶/۹	۶/۵	۷/۵	۱۶
اسپین بولداک	۲/۴	۱/۷	۲/۹	۷/۰	۶/۶	۷/۹	۱۳

دوره آماری ایستگاه‌های زابل و زهک (۱۳۷۴-۱۳۹۴) و ایستگاه‌های افغانستان (۲۰۱۱-۲۰۱۴) بوده است.

۲-۱- انرژی باد

مقدار انرژی باد معیاری است مهم برای جابه‌جایی رسوب‌های بادی. فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) با استفاده از مدل ریاضی و برپایه مقدار فراوانی بادهای بیشتر از آستانه حرکت ذره‌های ماسه و مدت زمان وزش، شاخصی با عنوان قابلیت (پتانسیل) حمل ماسه[1]برحسب واحد برداری ابداع‌کردند (معادله ۱). این رابطه نشان‌دهنده ارتباط بین انرژی باد و حمل ماسه است (۸). قابلیت حمل با استفاده از داده‌های ساعتی سرعت (برحسب نات) و جهت باد (برحسب درجه) محاسبه می‌شود و به دلیل جهت‌دار بودن برحسب واحد برداری[2] بیان می‌گردد.

$$DP= V^2 (V-V_t) t$$ معادله (۱)

DP، قابلیت حمل ماسه برحسب واحد برداری، V، میانگین سرعت باد برحسب نات در ارتفاع ۱۰ متری، Vt، سرعت آستانه فرسایش که در اینجا ۱۲ نات (حدود ۶ متر برثانیه) در نظر گرفته شده است، t، مدت وزش باد که به صورت درصد بیان می‌شود. این متغیر نشان‌دهنده فراوانی نسبی سرعت بادهای بیشتر از آستانه برای باد با جهت مشخص است.

براین اساس، منطقه‌هایی که کمتر از ۲۰۰ واحد برداری هستند به‌عنوان محیط‌های بادی با انرژی کم، بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ واحد برداری، به‌عنوان بیابان‌های با انرژی میانگین و بیش از ۴۰۰ واحد برداری، به‌عنوان محیط‌های با انرژی بادی زیاد طبقه‌بندی می‌شوند (۱۱). نتیجه محاسبه قابلیت حمل و شاخص‌های مرتبط در دشت سیستان و ریگستان (جدول ۲) نشان می‌دهد مقدار انرژی بادهای فرساینده در دشت سیستان بسیار زیاد است. مصباح زاده و احمدی (۱۵) مقدار قابلیت حمل ماسه در منطقه جاسک و یزد، به‌عنوان منطقه‌های زیر تاثیر پدیده فرسایش بادی را به ترتیب ۴۵۹ و ۹۲ واحد برداری برآورد کرده‌اند. قابلیت حمل ماسه در سیستان یکی از بالاترین مقدارها در بیابان‌های داخلی جهان (۶) و بیابان‌های ایران مانند ریگ جن (۱۰)، ریگ بلند و دغ سرخ (۴)، قم و جنوب تهران (۲) اطراف دریاچه ارومیه (۵) و حاشیه خلیج فارس و دریای عمان (۱) است. یکی دیگر از شاخص‌های مرتبط با قابلیت حمل ماسه، اندازه برداری برآیند حمل ماسه (RDP) است که

1. Drift potential
2. Vector unit

بیانگر مقدار یا اندازه برآیند توان حمل ماسه براساس جمع‌برداری در جهت‌های مختلف است. مقدار این شاخص نیز در سیستان (۲۳۸۰ نات) بسیار بالاست. شاخص جهت نهایی حرکت ماسه (RDD) نیز در جدول ۲ محاسبه شده است که جهت نهایی حرکت ماسه را در سراسر سال نشان می‌دهد. در واقع رسوب‌های ماسه بادی در دشت سیستان در جهت جنوب شرقی (زاویه ۱۲۱ درجه از شمال صفر درجه) حرکت می‌کنند و دالان‌های حمل ماسه نیز به‌تقریب در همین راستا، شمال غربی –جنوب شرقی، شکل گرفته‌اند. شاخص همگنی برای حمل ماسه (RDP/DP) چندجهته بودن بادهای فرساینده را نشان می‌دهد. این مقدار هرچه به عدد ۱ نزدیک‌تر باشد بادهای فرساینده یک جهته در منطقه بیشتر خواهد بود و برعکس، هرچه به سمت صفر تمایل پیدا کند، بادهای چند جهته در منطقه بیشتر است. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که بادهای یک جهته ۱۲۰ روزه، تنها باد فرساینده در منطقه سیستان است که موجب تشدید انرژی باد می‌شود. مقدار این نسبت در ایستگاه زابل و زهک برابر ۰/۹ است.

جدول ۲- ویژگی بادهای فرساینده در سیستان و جنوب افغانستان.

ایستگاه هواشناسی	دوره آماری	پتانسیل حمل DP	RDP	RDD°	RDP/DP	طبقه انرژی محیطی باد	دبی ماسه $m^3/m/Y$
زابل	۱۳۷۴-۱۳۹۴	۲۵۱۶	۲۳۸۰	۱۲۱	۰/۹	زیاد	۱۷۶/۱
زهک	۱۳۷۴-۱۳۹۴	۱۷۱۷	۱۵۸۱	۱۲۳	۰/۹	زیاد	۱۲۰/۲
فراه	۲۰۱۲-۲۰۱۴	۲۱۰	۹۹	۱۲۰	۰/۵	میانگین	۱۴/۷
شیندید	۲۰۱۰-۲۰۱۴	۶۴۰	۵۵۰	۱۸۲	۰/۸۶	زیاد	۴۴/۸
قندهار	۲۰۱۱-۲۰۱۴	۱۶۸	۳۱	۹۵	۰/۳	کم	۱۱/۸
اسپین بولداک	۲۰۱۰-۲۰۱۴	۱۰۱	۸۰	۵۴	۰/۵	کم	۷/۰۷

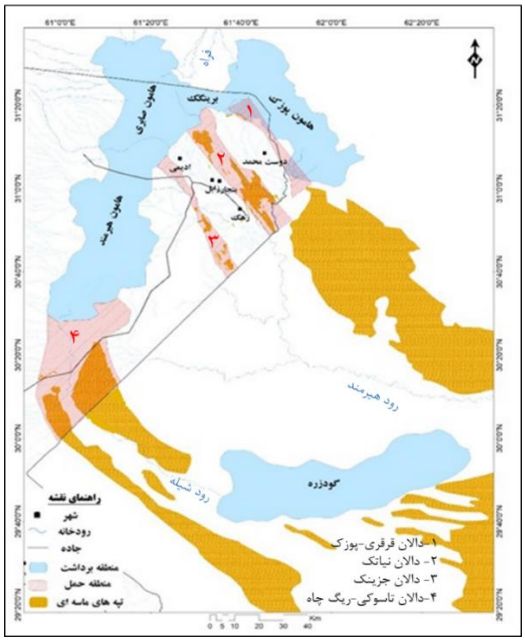
شاخص‌های گفته شده برای ایستگاه‌های منطقه سیستان و ریگستان افغانستان در جدول ۲ نشان داده شده است. برای واکاوی نیروی باد و فعالیت رسوب‌های بادی در منطقه سیستان، ابتدا مسیر حرکت ماسه‌های روان و پس از آن ارتباط بین پوشش‌گیاهی و انرژی باد بررسی شد.

۲- دالان‌های حمل ماسه

پس از برداشت رسوب‌ها از بستر هامون‌های سیستان، ذره‌های کوچک رس و لای به‌صورت عمودی[1] در اتمسفر منتشر می‌شوند و توفان‌های گرد وغباری را به‌وجود می‌آورند. ذره‌های درشت‌تر که بیشتر ماسه هستند به‌صورت جریان افقی[2] در بستر ۴ دالان فرسایشی در داخل دشت سیستان به طرف مرز افغانستان حرکت می‌کنند. این دالان‌های حمل ماسه در اثر توپوگرافی سرزمین و جهت بادهای فرساینده شکل گرفته‌اند که عبارتند از قرقری-پوزک (۱)، نیاتک (۲)، جزینک (۳) و تاسوکی-ریگ چاه (۴) (شکل ۴). جریان ماسه بیشتر از این دالان‌های فرسایشی وارد افغانستان می‌شود هر چند افزون بر این‌ها، محدوده‌های کوچک برداشت و حمل در داخل دشت نیز قابل تشخیص‌اند که سطح بزرگ و قابل‌توجهی را دربرنمی‌گیرند (۳).

1. Vertical mass flux
2. Horizontal mass flux

جهت قرارگیری دالان‌های قرقری- پوزک، نیاتک و جزینک شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و هم جهت بادهای فرساینده است. دالان تاسوکی-ریگ چاه در داخل ایران دارای جهت شمالی-جنوبی است که بیشتر به‌واسطه توپوگرافی تراس‌های حاشیه رود شیله شکل گرفته است و در داخل افغانستان جهت شرقی- غربی پیدا می‌کند. بیشتر سطح ۲ دالان نیاتک و جزینک به‌واسطه ناهمواری ناشی از عبور رودخانه‌های نیاتک و سیستان شکل گرفته‌اند. به‌همین سبب ماسه‌های روان در این منطقه‌ها در فصل خشک در داخل بستر یا حاشیه رودخانه‌های گفته شده جابه‌جا می شوند. در واقع، ناهمواری سطح دشت به شکلی است که سرعت جریان هوا و به دنبال آن حرکت ماسه در داخل این دالان‌ها نسبت به منطقه‌های همجوار بیشتر است. بر همین اساس، پراکنش و حرکت رسوب‌های بادی در دشت سیستان بیشتر در داخل این دالان‌ها مشاهده می شوند (شکل ۵). اگرچه تجمع ماسه در دو محدوده کوچک کفتارگی و کمک در خارج از این دالان‌ها نیز وجود دارد. در برخی از موردهای نادر، سرعت باد به‌قدری افزایش می‌یابد که از آستانه فرسایش بیشتر خاک‌ها فراتر می‌رود و تمامی سطح دشت درگیر این پدیده می‌شود.



شکل ۴- موقعیت ۴ دالان فرسایشی حمل ماسه در دشت سیستان.

شکل ۵- حرکت بارخان‌های فعال روی زمین‌های کشاورزی در دالان فرسایشی جزینک.

براساس پژوهش فرایبرگر و دین[1] (۱۱)، هر واحد برداری قابلیت حمل ماسه می‌تواند ۰/۰۷ مترمکعب ماسه را از یک متر عرض عبور دهد، از این رو با توجه به میانگین سالانه ۲۵۱۶ واحد برداری قابلیت حمل ماسه در سیستان، حدود ۱۷۶ متر مکعب رسوب از یک متر واحد عرض در یک سال ($m^3/m.y$) توانایی عبور دارد. با وجود چنین انرژی بادی، هر جا از سطح هامون‌ها که خاک حساس به فرسایش بادی وجود داشته باشد بادبردگی شدید را می‌توان دید. در واقع، رسوب آورده شده با سیلاب‌های فصلی به‌راحتی بر اثر باد از سطح زمین کنده و جابه‌جا می‌شوند. اگر گیاه در این منطقه‌ها وجود داشته باشد، شکل‌های بادپناهی به‌صورت پیکان ماسه‌ای و نبکا در پشت آن‌ها به‌وجود می‌آید. در دشت سیستان به دلیل قابلیت حمل زیاد و آورد به‌نسبت زیاد رسوب رودخانه‌ای، مقدار بسیار زیادی رسوب در پشت گیاهان تجمع پیدا می‌کند. در بیشتر موردها، ظرفیت نگهداری رسوب در پشت این گیاهان به‌طور کامل تکمیل شده است و گیاهان بیش از این دیگر نمی‌توانند رسوبی را نگه دارند (شکل ۶). حتی در صورت کاشت گیاهان جدید نیز به سرعت ظرفیت نگهداری رسوب آن‌ها تکمیل و در نگهداری رسوب غیرفعال می‌شوند.

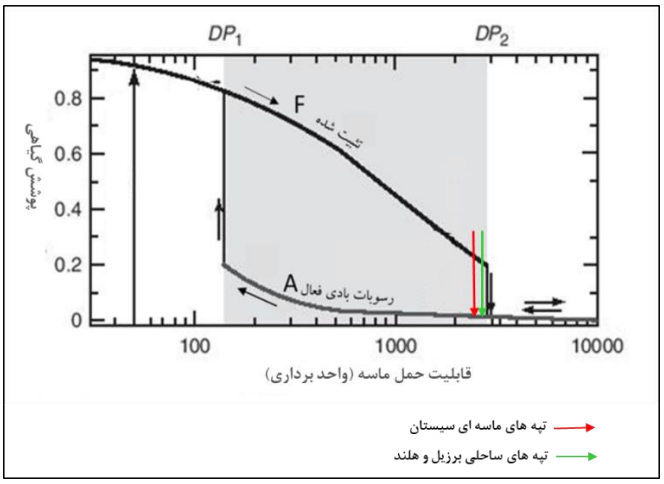
شکل ۶- تکمیل ظرفیت گیاهان در نگهداری رسوب در پشت نبکاها در داخل دالان‌های حمل ماسه.

۴- انرژی باد و پوشش‌گیاهی

با توجه به انرژی باد شدید در سیستان، درک این موضوع که پوشش گیاهی تا چه مقدار انرژی باد را می‌تواند مهار کند اهمیت زیادی دارد. درک این مفهوم به برنامه‌ریزی تثبیت و مهار پدیده فرسایش بادی در محدوده حمل رسوب‌ها کمک شایانی می‌کند. اثر انرژی باد و نوسان آن بر پوشش گیاهی را چند پژوهشگر مشهور در علم فرسایش بادی بررسی کرده‌اند. تسوآر [2] رابطه بین نیروی باد و پوشش‌گیاهی را با استفاده از مدل هیستروزیس[3] نشان داده است (۱۶). در واقع در این مدل تأثیر یک عامل بر عامل دیگر با تاخیر بروز می‌کند. برای نمونه اثر باد بر پوشش گیاهی پس از گذشت زمان مشخص می‌شود. مدل‌های تاخیری نشان دهنده تأخیر تغییر عامل موثر (انرژی باد) بر عامل دیگر (پوشش گیاهی) است. این مدل را پس از آن اسحاق[4] و همکاران به‌صورت شکل ۷۵ برای فعالیت تپه‌های ماسه بادی نشان دادند که تغییرهای انرژی باد براساس قابلیت حمل ماسه (DP_2, DP_1) به‌عنوان عامل تعیین کننده در مقابل ضریب پوشش گیاهی برای دو وضعیت تپه‌های ماسه بادی

1. Fryberger and Dean 2. Tsoar 3. Hysteresis model 4. Yizhaq

تثبیت شده (F) و فعال (A) ارائه گردید (۲۰). محدوده خاکستری رنگ در این منحنی نشان‌دهنده منطقه بی‌ثباتی است. در این مدل فرض شده که باران کافی برای رویش گیاهان وجود دارد و محدودیتی از این نظر وجود ندارد.



شکل ۷- منحنی برهمکنش تأثیر تغییر نیروی باد بر پوشش گیاهی رسوب‌های بادی در دو حالت تثبیت شده (F) و فعال (A)، (برگرفته از ۲ و ۴ با اندکی تغییر).

همانطورکه درشکل ۷ نشان داده شده است، در منحنی A با کاهش انرژی باد، وقتی قابلیت حمل به کمتر از ۱۰۰۰ می‌رسد پوشش گیاهی شروع به استقرار می‌کند و زمانی که به کمتر از ۲۰۰ واحد برداری برسد بیشترین کارایی حفاظتی را خواهد یافت، ولی این روند در حالت برعکس (منحنی F) به گونه‌ای است که افزایش انرژی باد بالاتر از ۱۰۰۰ (vu) باعث از بین رفتن کامل پوشش‌گیاهی نخواهد شد، اما عملکرد حفاظتی آن به‌شکلی چشمگیر کاهش می‌یابد. برای نمونه، تپه‌های ساحلی سرا استیت[1] برزیل با وجود دریافت به‌طور میانگین ۱۴۴۳ میلی‌متر بارندگی، به‌واسطه انرژی باد زیاد (DP=2828 v.u.) به طور کامل فعال است و پوشش گیاهی به‌واسطه شدت باد امکان نگهداری رسوب‌های بادی را ندارد. از نظر مقدار انرژی باد، این منطقه تا حدودی مشابه دشت سیستان (DP= 2516 v.u.) است با این تفاوت که محدودیت‌های دیگری مانند بارندگی اندک و تبخیر و تعرق بالا در سیستان نیز مانع جدی برای رویش هستند.

آستانه تخریب پوشش گیاهی بر اثر نیروی باد شدید به‌طور دقیق مشخص نیست. برای نمونه، در مقیاس باد بوفورت درختان بزرگ با باد ۵۱ گره (۲۶ متر بر ثانیه) می‌شکنند و از بین می روند. این مقدار برای درختچه‌های بیابانی، به دلیل قطر کمتر ساقه و تنه، کمتر است و بسیاری از آن‌ها در مقابل نیروی باد خم می‌شوند و شکل حفاظتی خود را از دست می‌دهند (شکل ۸). از سوی دیگر، به‌دلیل سرعت زیاد باد و حجم رسوب منتقل شده، به‌طور معمول گیاهان در زیر رسوب‌ها مدفون می‌شوند، هرچند برخی گیاهان ماسه دوست با این شرایط سازگاری پیدا کرده‌اند و رشد عمودی سریعی دارند (۱۰). تجربه نشان داده است که در منطقه‌هایی با شدت زیاد فرسایش بادی، به دلیل بیرون افتادن ریشه‌ها یا مدفون شدن آن‌ها، نهال‌های جوان کاشته‌شده اگر با بادشکن غیرزنده حفاظت نشده باشند، از بین می‌روند و بانک بذر خاک نیز به دلیل بادبردگی خاک سطحی غنی نیست. در مجموع می‌توان گفت که در سرعت‌های زیاد باد، احیاء و استقرار پوشش گیاهی زنده بسیار

1. Ceará State

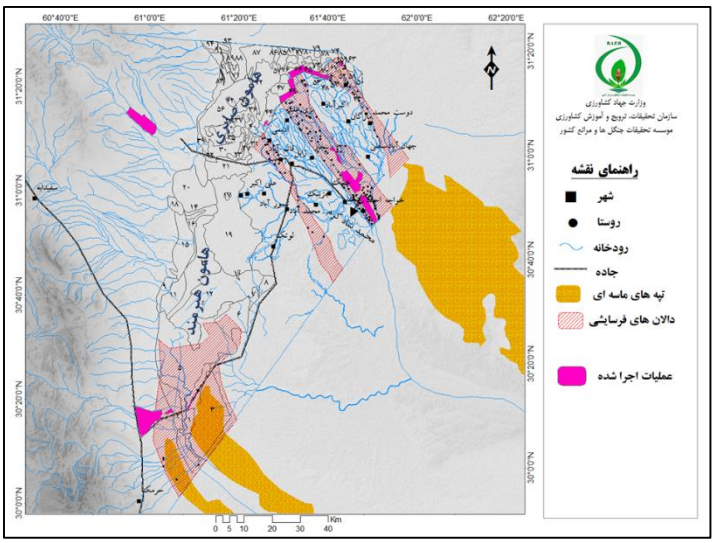
سخت خواهد بود و ضرورت دارد که سرعت باد را کاهش داد تا بتوان گونه‌های گیاهی مناسب را استقرار داد. البته کاهش سرعت باد، که دارای حجم زیادی رسوب است، موجب جمع شدن رسوب در بادپناه گیاهان خواهد شد.

شکل ۸- نیروی باد شدید محیط و خم شدن گونه گز در دالان فرسایشی قرقری-پوزک سیستان.

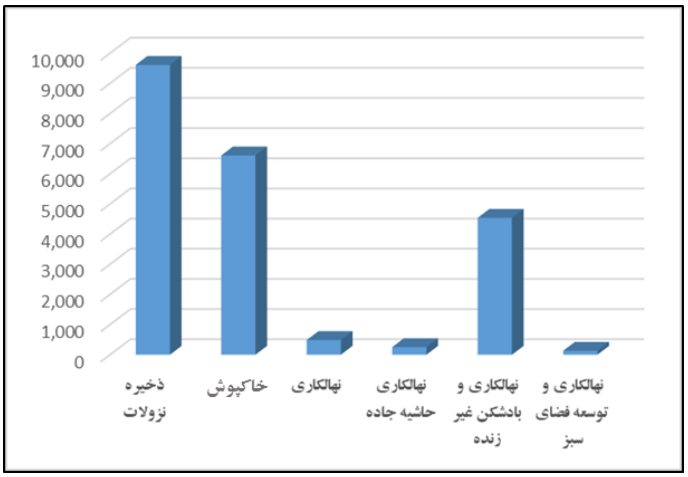
به این دلیل می‌توان نتیجه گرفت که اجرای پروژه‌های تثبیت و مهار رسوب‌های بادی فعال در داخل دالان‌های فرسایشی سیستان ممکن نیست و این دالان‌های فرسایشی نیز مانند مسیل‌ها باید از ساختارهای زیربنایی و کانون‌های جمعیتی تخلیه شوند. تجربه‌های به‌دست آمده از نیم سده تلاش بخش اجرایی (اداره منابع طبیعی) در داخل دالان‌های گفته شده، که بی‌حاصل نیز بوده، گواه این موضوع است. برای نمونه، برای حفظ روستای محمد شاه کرم از ماسه‌های روان در وسط دالان نیاتک، هرساله با بهره‌گیری از خاکپوش (مالچ) و جنگلکاری هزینه زیادی می‌شود. لایه خاکپوش بعد از ۱ تا ۲ سال بر اثر ماسه‌های جدید مدفون می‌شود و ضرورت تکرار عملیات هرساله پابرجاست. تجمیع ۵ روستا و احداث مجتمع شهرکی محمد شاه کرم در وسط دالان فرسایشی در دوره مرطوب (دهه ۶۰)، اشتباه مکان‌یابی در گذشته است. هم اکنون تنها راهکار پایدار، خارج کردن کانون‌های جمعیتی و ساختارهای زیربنایی از داخل دالان‌های گفته شده است. گاهی گذرا به پژوهش‌ها و برنامه‌های اجرایی تثبیت خاک و کنترل ماسه‌های روان در سیستان نشان می‌دهد که بیش از نیم سده است که این فعالیت‌ها در منطقه حمل ادامه داشته است. با این همه هنوز چالش گرد و غبار و ماسه‌های روان موجب ایجاد دشواری‌های اقتصادی و اجتماعی بیشماری می‌شود. در واقع، بخش بزرگی از فعالیت‌های تثبیت ماسه‌های روان در سیستان در داخل دالان‌های فرسایشی صورت گرفته است و به سطح هامون‌های سیستان کمتر توجه شده است که منشأ رسوب‌های بادی است، گرچه کارهای ارزشمندی مانند احداث کمربند بادشکن حفاظتی در لبه هامون‌های سیستان نیز وجود دارد. شکل ۹ فعالیت‌های مختلف اجرایی در زمینه مهار بیابان‌زایی را از سال ۱۳۴۷ تاکنون در سیستان نشان می‌دهد (۱۰).

نتیجه‌گیری

با شروع فصل گرما، سامانه کم فشار حرارتی به‌نام "کم فشار پاکستان" در جنوب افغانستان شکل می‌گیرد که موجب به‌وجود آمدن باد پر سرعت کم ارتفاعی به‌نام (باد ۱۲۰ روزه) می‌شود. طرز قرار گرفتن بلندی‌های خراسان و هندوکش افغانستان، موجب شکل‌گیری دالانی در سرتاسر مرز شرقی ایران شده و باعث افزایش سرعت باد می‌شود. اگر هامون‌های شش گانه خشک باشند، جنوب افغانستان، شمال پاکستان و حتی گذرگاه آبی عمان بر اثر چتر گرد و غبار و حرکت ماسه‌های روان دشت سیستان زیرتاثیر قرار می‌گیرند. واکاوی نتیجه‌های به‌دست آمده از انرژی بادهای فرساینده و حمل رسوب‌های بادی نشان می‌دهد که:



شکل ۹- موقعیت طرح‌های اجرایی تثبیت ماسه‌های روان سیستان در دهه‌های گذشته.



شکل ۱۰- سطح و نوع عملیات اجرا شده (برحسب کیلومتر مربع) در دشت سیستان از ۱۳۶۰ تاکنون.

۱- نتیجه محاسبه قابلیت حمل ماسه براساس مدل فرایبرگر و دین نشان می‌دهد میزان انرژی بادهای فرساینده در دشت سیستان بسیار زیاد است و جزء بیشترین مقدارها در بیابان‌های داخلی کره زمین است.

۲- منشأ گرد و غبار و ماسه‌های روان، سطح خشک هامون‌ها به‌ویژه آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای حاشیه دریاچه‌ها است و راهکار کاهش گرد و غبار و ماسه های روان تثبیت این مناطق می باشد. ماسه‌های‌روان پس از برداشت از بستر هامون‌ها، در داخل چهار دالان فرسایشی قرقری-پوزک، نیاتک، جزینک و تاسوکی-ریگ چاه به داخل افغانستان منتقل می‌شوند.

۳- با توجه به وجود بادهای فرساینده با نیروی زیاد و مدل برهمکنش نیروی باد بر پوشش گیاهی، امکان نگهداری ماسه و رسوب‌های بادی در داخل دالان‌های فرسایشی یادشده با تثبیت زیستی و خاکپوش‌ها وجود ندارد و حالت موقتی دارد. از این رو نباید برنامه‌های تثبیت ماسه‌های روان در منطقه حمل (دالان‌های فرسایشی) انجام شود. براین اساس رویکرد

خارج‌کردن ساختارهای زیربنایی و کانون‌های جمعیتی از داخل دالان‌ها در آینده باید مورد توجه سیاستگذاران محلی قرار گیرد. این در حالی است که از گذشته تاکنون، بیشتر طرح‌های تثبیت در داخل دالان‌های فرسایشی تمرکز یافته‌اند.

۴- برهمین پایه بیشتر بومیان سیستانی از فناوری‌هایی مانند تنگ (ساختن دیواره با سرشاخه های گز) برای انحراف ماسه‌های روان در مزارع خود به‌جای نگهداری و تثبیت آن استفاده می کنند و اجازه ساختن بادشکن در حاشیه زمین‌های کشاورزی خود را نمی‌دهند. این‌مورد در دالان فرسایشی جزینک که قسمتی از آن زمین کشاورزی است به طور کامل آشکار است، اما بیشترین طرح‌های تثبیت زیستی که در داخل دالان نیاتک اجرا شده است به دلیل غیرزراعی بودن، معارض ندارد.

۵- نتیجه تغییرپذیری زمانی مقدار انرژی بادهای فرساینده در سیستان در ۲۵ سال گذشته افت و خیز به نسبت زیادی را نشان داده است، به‌طوری که دهه گذشته روند افزایشی و درسال‌های اخیر روند کاهشی داشته است. این در حالی‌است که تغییری چشمگیر در شمار روزهای همراه با گرد وغبار مشاهده نمی‌شود. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که تبدیل کاربری (خشک شدن تالاب هامون)، و نه انرژی باد، باعث شدت گرفتن پدیده گرد وغبار در سیستان شده است. باید توجه داشت که میزان بارندگی در سیستان چشمگیر نیست و تاثیر چندانی بر رویش گیاهانی ندارد که متکی بر آورد آبی هیرمند و دیگر رودخانه‌ها هستند.

۶- کلیدی‌ترین راهکار مهار فرسایش بادی و گرد و غبار در سیستان، رسیدن آب به هامون‌ها از بالادست است، ولی تغییر اقلیم و احداث سد روی هیرمند به منظور توسعه کشاورزی و تولید برق، موجب کاهش آب ورودی به دریاچه‌ها شده به‌طوری که سطح آب‌دار هامون‌ها در حال کوچکترشدن است.

۷- با وجود قلمرو گسترده بادهای ۱۲۰ روزه در سرتاسر مرز شرقی کشور و نیازمندی کشور افغانستان به انرژی الکتریکی که موجب توسعه سدها در این کشور شده است، توسعه استحصال انرژی پاک با ایجاد مزارع توربین‌های بادی، می‌توان در رسیدن آب به هامون‌های سیستان کمک کرد. به‌ویژه این‌که سیستانی‌ها و نهبندانی‌ها اولین کسانی بودند که توانستند انرژی بادی را به‌صورت عمودی استحصال کنند.

منابع

۱- اختصاصی، م.ر. و ص. دادفر. ۱۳۹۲. بررسی رابطهٔ تندبادهای سواحل جنوبی ایران با مورفولوژی تپه‌های ماسه ای. پژوهشهای جغرافیایی طبیعی ۷۲-۶۱:۴.

۲- راهداری، م.ر.، ح. احمدی، ع. طویلی، م. جعفری، ع.ا. نظری‌سامانی، م. خسروشاهی و ش. شریفی. ۱۳۹۸. واکاوی و پهنه بندی انرژی باد براساس قابلیت حمل ماسه در راه آهن قم-تهران. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ۲۴۰-۲۲۶:(۲۶)۱.

۳- عباسی ح.ر.، آ. گوهردوست، ف. خاکساریان و م. گنجعلی. ۱۳۹۶. ویژگی‌های ریخت شناسی رسوبات بادی و بادهای فرساینده دشت سیستان. مدیریت بیابان ۶۱۲-۵۹۴:۱۰.

۴- نظری سامانی ع.ا.، ا. توکلی فرد، ه. قاسمیه، ن. مشهدی و م.ر. راهداری. ۱۳۹۶. بررسی تلفیق داده‌های بادسنجی با ژئومرفولوژی ارگ کاشان. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ۷۹-۶۷:(۲۴)۱.

۵- نظری ع.ا.، ل. بیابانی، ح.ر. عباسی و ح. خسروی. ۱۳۹۷. نقش فرسایندگی باد و حمل ماسه بر تحرک پذیری ماسه در حاشیه دریاچه ارومیه. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ۶۱۲-۵۹۴:(۲)۴۵.

6. Abbasi H.R, C. Opp, R. Akavan, F, Khaksarian and A. Gohardoost. 2015. Temporal and spatial variability of wind erosion in Sistan's Baringak Hamoun Lake, Marin desert. Conference, 12- 13 February,

Rauischholzhausen, Germany.
7. Abbasi H.R., C. Opp, M. Groll and A. Gohardoust. 2019. Wind regime and sand transport in the Sistan and Registan regions (Iran/Afghanistan), Zeitschrift für Geomorphol., 62,(Suppl.1): 041–055.
8. Al-Awadhi, J.M., A. Al-Helal and A. Al-Enezi. 2005. Sand drift potential in the desert of Kuwait. J. Arid Environ. 63(2): 425–438. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.011
9. Alizadeh-Choobari O., P. Zawar-Reza and A. Sturman. 2014. The 'wind of 120days' and dust storm activity over the Sistan Basin. Atmos. Res., 143: 328–341.
10. Danin. A. 1996. Plants of Desert Dunes. Springer, p. 396.
11. Fryberger, S.G. and G. Dean. 1979. Dune forms and wind regime. in A study of global sand seas, vol. 1052, US Government Printing Office Washington, pp. 137–169.
12. Hamzeh, M.A., M.H. Mahmudy-Gharaie, H. Alizadeh-Lahijani, R. Moussavi-Harami, M. Djamali and A. Naderi-Beni. 2016. Paleolimpmology of Lake Hamoun (E Iran): Implication for past climate changes and possible impacts on human settlements. Palaios 31(12): 616–629.
13. IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland. 32 p.
14. Kaskaoutis D.G., A. Rashki and E.E. Houssos. 2015. Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. Clim. Dyn., 45,(1–2):407–424.
15. Mesbahzadeh T. and H. Ahmadi, 2012. Investigation of sand drift potential (Case study: Yazd - Ardakan plain). J. Agr. Sci. Technol. 14(4):919–928.
16. Tsoar, H. 2005. Sand dunes mobility and stability in relation to climate. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 357(1):50–56. https://doi.org/10.1016/j.physa.2005.05.067
17. UNEP, 2006. History of Environmental Change in the Sistan Basin 1976–2005.
18. Van Beek, E. and K. Meijer. 2006. Integrated water resources management for Sistan inland delta in Iran. Delft, The Netherlands: Delft Hydraulics. http://www.wldelft.nl/cons/area/rbm/wrp1/index.html.
19. Yang, Y., Z.Q. Qu, P.J. Shi, L.Y. Liu, G.M. Zhang, Y. Tang and S. Sun. 2014. Wind regime and sand transport in the corridor between the Badain Jaran and Tengger deserts, central Alxa Plateau, China. Aeolian Res. 12:143–156. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.12.006
20. Yizhaq, H., Y. Ashkenazy and H. Tsoar. 2007. Why do active and stabilized dunes coexist under the same climatic conditions? Phys. Rev. Lett. 98(18):98–101. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.98.188001.

Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 7(2): 125-138 (2022)

Strategies Approach to Control Wind Erosion in the Sistan Sand Transport Corridors

H.R. Abbasi[1, 2]

Water scarcity and wind erosion are always the two main challenges of Sistan Plain in Eastern Iran. For more than half a century, research and sand fixation programs have been done to stabilize the soil and control sand dunes in this area, but the challenge of dust and sand transport still causes many economic and social problems. Calculation of erosive wind energy based on sand drift potential (DP) using Fryberger and Dean method showed that erosive winds have very high energy environment (DP = 2513 v.u) at Zabol and Zahak climatological stations. Whereas the relationship between wind power and vegetation follows the hysteresis model, the maintenance of sediments by vegetation at high wind energies is not possible or it is difficult. In fact, vegetation can hold sand up to a wind power threshold. Accordingly, the success of stabilizing sediments is not possible into the four erosive corridors (Gorgori-Puzzak, Niyatak, Jazinak and Tasoki-Rig Chah), and no cost should be incurred in this regard. In addition, urbanization and development of infrastructure into corridors should not be done or should be removed. The stabilization approach in the Sistan plain should be centralized on land sensitive area in the Hamoun ephemeral lakes.

Key words: Erosive corridors, Erosive winds, Sand drift potential, Wind energy.

1. Corresponding author, Email: hamidabbasi9999@gmail.com
2. Assistant Professor of Research Institute of Forests and Ranglands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran.