

The role of stereographic studies on the orientation of Suran`s barchans migration risk in Baluchestan

Abdolhamid Dehviri^{1*} , Masoud Saeidi², Mahjabin Dehviri³

1. *Corresponding Author*, Assistant professor of range & watershed management, faculty of soil and water, University of Zabol, Zabol, Iran.
2. Research staff of faculty of geography & environmental planning, university of S & B, Zahedan, Iran
3. Research staff of soil science of natural resource & watershed management institute of Zahedan, Zahedan, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 28 November 2020

Revised: 30 May 2021

Accepted: 12 July 2021

Keywords:

Barchan Dynamic, Sand-Rose, Stereography, Suran, Threshold velocity.

ABSTRACT

The sand dunes of the study area are located downstream of Routack watershed, 40 km west of Saravan city (Baluchestan province, Iran) and in the northern margin of the agricultural lands of the region. Wind velocity data (direction and speed) of Saravan, Khash and Iranshahr stations (2006-2012) were used to study the dynamics of the dunes. The geometry of barkhan dunes were analyzed using the stereographic approach and their spatial and temporal mobility by Freiburger and Dean (1979) method. The results showed that the direction of Barkhan`s migration was varied temporally and spatially; from W and NW to E and SE. While the prevailing winds in terms of frequency of occurrence were mainly blown from NE (wind-rose), but in most cases the sand dunes direction did not correspond to the prevailing wind direction. The RDD were 28.9% from the NW, 17.8% from the SW, NW and no-migration, 10.7% from the SE, and 3.5% from the W and S. The results of the stereographic approach showed the instantaneous dynamics of barchans were mainly consistent with the Fryberger and Dean (1979) methods; so that the rate of sand transport was between 17 to 20 m³/yr.m and the wind intensity classified as low energy. The sands are also transported when the velocity threshold is greater than 6.78 m/s or at least equal to it. This conclusion is important due to windbreak networks design. This means that to stabilize the dunes; windbreaks must be installed perpendicular to the wind`s direction (west to the northwest) and the wind velocity should not exceed 6.78 m/s, between the windbreak rows.

Cite this article: Dehviri, Abdolhamid, Saeidi, M., & Dehviri, M. (2022). The role of stereographic studies on the orientation of Suran`s barchans migration risk in Baluchestan. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(33), 77-100. DOI: 10.22111/jneh.2021.36663.1735



© Abdolhamid Dehviri

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36663.1735

* Corresponding Author Email: dehviri@uoz.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۳، پاییز ۱۴۰۱

نقش بررسی‌های استریوگرافی در جهت‌یابی خطر مهاجرت بارخان‌های سوران در منطقه بلوچستان

عبدالحمید دهواری^{۱*}، مسعود سعیدی^۲، مه‌جبین دهواری^۳

۱. استادیار بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل (نویسنده مسئول)
 ۲. کارشناس پژوهشی دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
 ۳. کارشناس خاکشناسی اداره منابع طبیعی و آبخیزداری زاهدان

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۸</p> <p>تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱</p> <p>واژه‌های کلیدی: استریوگرافی، دینامیک بارخان، سرعت آستانه، گلماسه، سوران.</p>	<p>تپه‌های ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه در پایین‌دست حوضه آبخیز روتک و ۴۰ کیلومتری غرب شهرستان سراوان (بلوچستان) و در حاشیه شمالی اراضی زراعی منطقه واقع بوده و جهت مهاجرت و میزان حمل ماسه از نظر زمانی و مکانی از اهداف اصلی این تحقیق است. از داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه‌های سراوان، خاش و ایرانشهر (۱۳۹۱-۱۳۸۵) برای بررسی دینامیک تپه‌ها استفاده گردید. تپه‌های با مورفولوژی بارخان انتخاب و ژئومتری آنها به‌روش استریوگرافی و میزان تحرک آنها به‌روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) بررسی گردید. نتایج نشان داد که سمت پیشروی بارخانها در این دوره از نظر زمانی متنوع بوده ولی از نظر مکانی برآیند جهت پیشروی آنها از طرف غرب و شمال غرب بطرف شرق و جنوب شرق بوده است. در حالیکه بادهای غالب از نظر فراوانی وقوع عمدتاً با جهت شمال شرقی وزیده اند (گلباد)، اما گلماسه‌ها و جهت پیشروی تپه‌ها در اغلب موارد با جهت باد غالب همخوانی نداشتند. برآیند حرکت تپه ماسه‌ها در این دوره براساس درصد فراوانی وقوع از طرف شمال غرب ۲۸/۹٪، از طرف جنوب غرب و شمال غرب و بدون پیشروی ۱۷/۸٪، از طرف جنوب شرق ۱۰/۷٪، و از طرف غرب و جنوب ۳/۵٪ بوده است. نتایج روش استریوگرافی دینامیک لحظه‌ای بارخان‌ها را نیز در این دوره عمدتاً منطبق با گلماسه‌های حاصل از روش فرایبرگر و دین نشان دادند، بطوریکه میزان حمل ماسه‌ها بین ۱۷ تا ۲۰ m³/yr.m شدت بادهای کم انرژی بود. همچنین حمل ماسه‌های منطقه زمانی صورت می‌گیرد، که سرعت آستانه فرسایش بیشتر یا حداقل مساوی ۶/۷۸ m/s باشد. این نتیجه گیری از آن جهت حائز اهمیت است که می‌تواند در طراحی شبکه بادشکن‌ها مورد استفاده قرار گیرد. بدین معنی که برای تثبیت تپه‌ها شبکه‌های بادشکن باید عمود بر جهات وزش بادهای غرب تا شمال غرب تعبیه شوند، و سرعت باد در بین ردیف‌های بادشکن هم نباید از ۶/۷۸ m/s تجاوز نماید.</p>

استناد: دهواری، عبدالحمید، سعیدی، مسعود، & دهواری، مه‌جبین. (۱۴۰۱). نقش بررسی‌های استریوگرافی در جهت‌یابی خطر مهاجرت بارخان‌های

سوران در منطقه بلوچستان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۳)، ۱۰۰-۱۰۷. DOI: 10.22111/jneh.2021.36663.1735



© عبدالحمید دهواری^{۱*}، مسعود سعیدی^۲، مه‌جبین دهواری^۳.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

تپه ماسه‌های بادی و بویژه ساختارهای بارخانی شکل حوضه روتک سوران در بلوچستان در سال‌های اخیر تهدیدی جدی برای اراضی کشاورزی منطقه بوده است. این امر عمدتاً به مورفولوژی و ساختار خاص این تپه‌ها مربوط می‌شود که دائماً در جهات مختلف و با میزان گسترش متفاوتی تنها منطقه کشاورزی شهرستان سوران را در معرض تاخت و تاز خود قرار داده‌اند. برای مبارزه با حرکت تپه ماسه‌های بادی شناسایی منشأ آنها ضروری است و جهت‌یابی منشأ آنها یکی از مهمترین شیوه‌هاست که منجر به شناخت مناطق برداشت ماسه شده و نهایتاً با پیش‌بینی جهت حرکت ماسه‌ها راهکارهای کنترل آنها تسهیل خواهد شد. روش‌های جهت‌یابی منشأ تپه ماسه‌ها عبارتند از (دهواری، ۱۳۷۳):

- بررسی پرسش‌نامه‌های محلی در مورد فراوانی، سمت و سرعت بادهای فرساینده

- بررسی مورفولوژی تپه ماسه‌ها بر روی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای

- استفاده از گلماسه و گلباد (تجزیه و تحلیل بادهای با سرعت بیشتر مساوی سرعت آستانه فرسایش)

- بررسی‌های استریوگرافی^۱ بر روی بارخان‌های منطقه

- استفاده از شاخص‌های آماری اندازه ذرات

بموجب این امر و نظر به اهمیتی جهت‌یابی منشأ تپه ماسه‌ها در کنترل آنها دارد، نخستین بار مطالعه منشأ اولیه و ثانویه رسوبات این منطقه توسط دهواری (۱۳۷۳) در قالب حوضه آبخیز روتک صورت گرفت. در این مطالعه علاوه بر اینکه از روش‌های جهت‌یابی بکار رفته در تپه‌های دشت یزد-اردکان (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۲) استفاده شده بود، سه روش دیگر نیز معرفی شده بود که عبارت هستند از روش استریوگرافی، روش فرایبرگر و دین^۲ (۱۹۷۹) بر مبنای گلماسه^۳ و روش استفاده از شاخص‌های آماری اندازه ذرات. در روش استریوگرافی از شاخص‌های مرفومتری (ریخت‌سنجی) بارخانها و در روش گلماسه ابتدا با استفاده از داده‌های هواشناسی (سمت و سرعت باد) بردارهای حرکت تپه ماسه‌ها تعیین شده و سپس بر اساس بردار برآیند هم جهت‌یابی ماسه‌ها انجام می‌شود و هم دبی حمل ماسه برآورد می‌گردد. در روش آخری (استفاده از شاخص‌های آماری اندازه ذرات) از شاخص‌هایی همچون اندازه ذرات، جورشدگی و غیره در ارتباط با بادهای منطقه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. سپس فیض‌نیا و همکاران (۱۳۷۷) منشأ اولیه تپه ماسه‌های مذکور را شیل‌های سراوان و زابلی بعنوان تامین‌کننده ذرات تخریبی اولین فاز ماسه‌زایی تشخیص دادند، که با مطالعه دهواری (۱۳۷۳) مطابقت داشت، و علاوه بر آن در این مطالعات به روش‌های جهت‌یابی ماسه‌ها نیز تاکید شده بود. در سال ۱۳۸۴ دهواری و همکاران نقش بررسی‌های کانی شناسی و شاخص آماری را در شناسایی منشأ برداشت این تپه ماسه‌ها مطالعه کردند و علاوه بر تایید مطالعات قبلی، درصد اشتراک کانی‌های متشکله واحدهای سنگ‌شناسی را در تپه ماسه‌های همین منطقه مشخص نمودند و نتیجه گرفتند که در شناخت منشأ تپه ماسه‌های مذکور شاخص‌های آماری همچون میانگین و جورشدگی ذرات نیز اهمیت اساسی دارد. در تحقیقات قبلی (اختصاصی و همکاران، ۱۳۷۲؛ ۱۳۸۵) و بویژه مطالعه دهواری و همکاران، (۱۳۸۴) که جزء نخستین مطالعات بنیادین در زمینه شناخت مناطق برداشت ماسه در ایران محسوب می‌شوند، بر روی اهمیت نقش جهت‌یابی

¹ - Stereography

² - Fryberger & Dean

³ - Sand-Rose

مناطق برداشت ماسه در شناخت منشا ماسه‌ها تاکید زیادی شده است، اما متأسفانه در اکثر مطالعاتی که پس از این دو تا تحقیق صورت گرفته‌اند، این بخش در اکثر موارد نادیده گرفته شده است و یا به آن زیاد پرداخته نشده است (نگارش و لطیفی، ۱۳۸۷؛ علیپور و همکاران، ۱۳۸۹ و فرجی و همکاران، ۱۳۸۹). فقط در مطالعه دهواری (۱۳۸۴) و مرندي و فیض نیا (۱۳۸۷) در مقایسه با سایر مطالعات جهت‌یابی منشاء ماسه‌ها مورد اهمیت قرار گرفته است. بویژه چون برای تشخیص قطاع برداشت ماسه‌ها (مسیر یا مسیرهای برداشت ماسه) از شاخص‌های آماری ارگ (میانگین وجورشدگی و...) استفاده شده و این شاخص‌ها از نظر فیزیکی منعکس کننده رفتار ارگ در برابر بادهای موثر بر جابجایی آنها می‌باشد، لذا این شیوه بر واقعیت انطباق بیشتری دارد تا روش‌هایی که منحصراً به پرسش‌نامه‌های موقتی محلی و یا عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تاکید دارند. زیرا روش استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فقط نشان دهنده جهت مهاجرت تپه ماسه‌ها در یک لحظه زمانی (زمان تصویربرداری) است، در حالیکه تپه ماسه‌ها در زمان‌های مختلف و در جهات مختلفی حرکت می‌کنند. روش جهت‌یابی تپه ماسه‌ها باید به گونه‌ای باشد که منعکس کننده مهاجرت تپه ماسه‌ها در یک دوره طولانی باشد، نظیر آنچه در مطالعات دهواری (۱۳۷۳)، تسار و بلومبرگ^۱ (۲۰۰۲) و جفری و ستوت^۲ (۲۰۰۳) انجام شده و مبتنی بر داده‌های هواشناسی (اقلیم، سمت و سرعت بادهای) بوده و منعکس کننده برآیند حرکت تپه ماسه‌ها هم در دوره‌های مرطوب و هم در دوره‌های خشک می‌باشد. بنابراین برای مطالعه دقیقتر جهت حرکت ماسه‌ها باید یک دوره زمانی خاصی مد نظر باشد. در جهت‌یابی تپه ماسه‌ها تعیین یک مقطع زمانی برای مهاجرت ماسه‌ها از این جهت حائز اهمیت است، که منجر به شناخت مسیر مهاجرت تپه‌ها و پیش بینی الگوی مناسب در یک دوره زمانی طولانی شده و کسانی که به امر کنترل تپه‌ها سروکار دارند بدین ترتیب سردرگم نخواهند شد.

در زمینه پتانسیل حمل و جهت مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای مطالعات زیادی صورت گرفته است که پس از مرور تعدادی از منابع خارجی، به تعدادی دیگر از مطالعاتی که اخیراً در کشور انجام شده است، نیز پرداخته می‌شود. زیرا کشور ایران در کمربند بیابان‌های جهان (مدار ۳۰ درجه شمالی) قرار گرفته است، و با توجه به خشکسالی‌های اخیر قطعاً مطالعات زیادی در زمینه مهاجرت تپه ماسه‌ها انجام شده است. ژانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۷) برای بررسی میزان پیشروی تپه‌های با مورفولوژی عرضی در شمال غربی چین با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی و ژئومتری تپه‌ها دریافتند که نرخ انتقال ماسه بین ۰/۲ تا ۱۲۱/۲ Kg/yr.m در میان تپه‌ها متغیر است. لوآسا^۴ و همکاران (۲۰۱۸) قابلیت انتقال ماسه‌ها را در دشت هاوت^۵ واقع در غرب کشور الجزایر مورد بررسی قرار دادند و نقش داده‌های سمت و سرعت باد ایستگاه‌های مختلف را از نظر فراوانی وقوع بادهای فرساینده در میزان انتقال رسوبات ماسه‌ای و کلاس انرژی الویت‌بندی کردند. هیرهر^۶ و همکاران (۲۰۱۸) زمین-ریختشناسی و قابلیت انتقال رسوبات ماسه‌ای را در غرب و شمال صحرای سینای مصر مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که اغلب تپه‌های ماسه‌ای در این بخش از صحرای سینا با مورفولوژی طولی و عرضی هستند که توسط محیط بادی کم-انرژی شکل می‌گیرند. الگوهای نحوه انتقال و جهت

¹ - Tsoar & Blumberg

² - Jeffrey & Stout

³ - Zhang

⁴ - Louassa

⁵ - Haute

⁶ - Hereher

پیشروی این تپه‌ها گویای برون-زاد بودن منشاء این تپه‌ها می‌باشد. یانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی تپه‌ها، رژیم بادی و قابلیت انتقال آنها را در صحرای هوبک^۲ چین بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که تپه‌های منطقه با ارتفاع ۱۰ تا ۵۰۱۰ متر توسط بادهای غربی و جنوب غربی و با سرعت متوسط ۴ تا ۸ متر بر ثانیه شکل می‌گیرند و ارتفاع آنها از غرب بطرف شرق کاهش می‌یابد. ۵۱٫۸٪ تپه‌های مهاجر در غرب صحرا قرار داشته و سایر تپه‌ها نیمه فعال یا غیر فعال هستند. RDD^۳ در ایستگاه دانگ شنگ^۴ نسبتاً در راستای جهت ثابت ۳۵۰ درجه بوده که در سایر ایستگاه‌های منطقه بین ۱۲۱ تا ۱۶۹ درجه متغیر است. رابطه بین مقادیر DP^۵ و سرعت حداکثر بادهای منطقه بطور معنی‌داری از نوع نمایی می‌باشد. ژیاو-یان^۶ و همکاران (۲۰۲۰) پتانسیل حمل و توزیع زمانی و مکانی تپه ماسه‌های صحرای بزرگ تاکلاماکان^۷ در چین را مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند که با توجه به وسعت زیاد منطقه پنج کلاس RDP^۸ وجود دارد. همچنین مقدار DP جمععی در فصول بهار و تابستان بین ۸۱/۲۹ تا ۹۸/۷۹ درصد DP سالانه می‌رسد و برعکس در زمستان باستثنای فوریه قابلیت انتقال ماسه در صحرای تاکلاماکان وجود ندارد. یانگ و همکاران (۲۰۲۱) عوامل موثر بر میزان مهاجرت بارخان‌های سالونگشا^۹ را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که این تپه‌ها در اواخر بهار و تابستان خیلی سریعتر از زمستان و اوایل بهار مهاجرت می‌کنند. بطوریکه میزان مهاجرت آنها را بین ۷ تا ۹۵/۲ m/yr و با میانگین ۳۵/۶ m/yr برآورد کردند. نتایج جهت‌یابی نشان داد که تپه‌های بارخانی شکل در این منطقه نسبت به شمال با زاویه ۲۰۰٫۸ درجه مهاجرت می‌کنند.

عباسی و همکاران (۱۳۹۶) با مطالعه ویژگی‌های ریخت‌شناسی و بادهای فرساینده دشت سیستان دریافتند که بیشتر اشکال تپه‌های ماسه‌ای در سیستان در اثر باد یک‌جهته شکل گرفته‌اند که شامل بارخان، رشته‌عرضی و پهنه ماسه‌ای است. مقدار فرساینده بادهای 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 ۲۵۱۶ واحد برداری است که یکی از بالاترین ارقام در بیابان‌های داخلی جهان می‌باشد.

راهداری و همکاران (۱۳۹۸) قابلیت حمل ماسه و انرژی بادهای منطقه اطراف راه‌آهن تهران-قم را با استفاده از روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) بررسی کردند و دریافتند که حاکمیت بادهای غربی و شمال غربی که موجب حمل ماسه‌ها در راستای ۱۷۸ کیلومتری مسیر راه‌آهن می‌شوند بین ۴۰ تا ۵۷ درصد متغیر است که بیشترین قابلیت حمل ماسه در ایستگاه فرودگاه و کمترین مقدار حمل ماسه در ایستگاه قم در جنوب منطقه است.

عباسی و همکاران (۱۳۹۹) ویژگی‌های رژیم بادی و شاخص‌های قابلیت حمل ماسه (DP)، برآیند حمل ماسه (RDP)، جهت‌نهایی حرکت ماسه (RDD) و نسبت RDP/DP تپه‌های ریگ سرخ را در منطقه سرخس به روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) محاسبه کردند. نتایج نشان داد که جهت باد غالب و باد ماسه‌آور عمدتاً شمال‌غربی است.

^۱ - Yang

^۲ - Hobq

^۳ - Resultant Drift Direction

^۴ - Dong-Sheng

^۵ - Drift Potential

^۶ - Xiao-yan

^۷ - Taklimakan

^۸ - Resultant Drift Potential

^۹ - Sanlongsha

انرژی باد در منطقه سرخس براساس قابلیت حمل در کلاس کم قرار دارد که بیشترین میزان در مرداد و کمترین میزان در آذر می‌وزد. از سوی دیگر میزان حمل ماسه براساس میانگین قابلیت حمل ماسه ($DP=193^1 v.u$) برای این محدوده در حدود $13/51 m^3/yr.m$ برآورد گردید. زمانی و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از داده‌های سمت و سرعت باد ۶ ایستگاه همدیدی پتانسیل حمل تپه ماسه‌های استان کرمان را با استفاده از روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان میزان کل ماسه‌های حمل شده را از تمام جهات بین $53/4$ تا $319/1$ و میزان ماسه حمل شده را در جهت برآیند (RDD) بین $13/8$ تا $247/6 t/yr.m$ نشان داد.

راهداری و همکاران (۲۰۲۱) اثرات مهاجرت تپه ماسه‌ها را بر روی مسیر راه آهن سرخس-مشهد مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین میزان مهاجرت تپه‌ها در تابستان و کمترین میزان در پاییز صورت می‌گیرد. بطوریکه بالاترین میزان DP و RDP بترتیب ۳۳۶ و ۲۱۱ واحد برداری برای ایستگاه تربت جام برآورد گردید.

مرور منابع فوق نشان می‌دهد که در هیچکدام از مطالعات صورت گرفته از روش استریوگرافی استفاده نشده است و این نخستین بار است که در این مطالعه در کنار روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) برای ارزیابی پتانسیل حمل و تعیین جهت مهاجرت بارخان‌های سوران مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) و تسار (۲۰۰۲) میزان تحرک تپه ماسه‌ها در سال‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته و سپس از طریق نمودارهای حاصل از استریوگرافی و گلماسه هم برای جهت‌یابی تپه ماسه‌های این منطقه استفاده گردیده و هم مهاجرت آنها از نظر زمانی و مکانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. استفاده از این روش‌ها به دلایل زیر نیز با اهمیت است:

- از داده‌های هواشناسی (سمت و سرعت باد) استفاده می‌شود،
- بر روی سریعترین تپه ماسه‌ها (بارخانها) که از نظر مورفولوژی از تپه ماسه‌های شاخص در میان تپه‌های مهاجر محسوب می‌شوند صورت می‌گیرد،
- شدت مهاجرت و مقدار حمل ماسه‌ها در جهات مختلف و در زمان‌های مختلف قابل پیشگویی است،
- دوره‌های تناوب تثبیت و یا تحرک ماسه‌ها بترتیب در دوره زمانی خشک و تر قابل پیش بینی است و
- جهت منشا آنها را در قطاع‌های مختلف برداشت نشان می‌دهد.

نظر به اهمیتی که شناخت هر چه دقیق‌تر جهت یا جهاتی که ذرات ماسه از آنجا برداشت می‌شود و همچنین پیشگویی روند مهاجرتی آنها در کنترل آنها نقش اساسی بازی می‌کند، این مقاله سعی می‌کند با استفاده از داده‌های هواشناسی و شاخص‌های مورفومتری بارخان‌های منطقه سوران واقع در خروجی حوضه آبخیز روتک را مورد بررسی قرار دهد. بنابر این در این مقاله با توجه به اهدافی که مورد بحث قرار گرفت سعی می‌شود به سوالات زیر پاسخ داده شود:

۱. وضعیت فعالیت ماسه‌ها (تحرک و ثبات) در دوره‌های مختلف بویژه در روستای شندان از توابع سوران چگونه است؟
۲. برآیند حرکت تپه‌های ماسه‌ای شندان بر اساس مدل فرایبرگر و دین (۱۳۷۹) به کدام سمت (ها) صورت می‌گیرد؟
۳. آیا روند مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای با روش فرایبرگر و دین (۱۳۷۹) و روش استریوگرافی با هم انطباق دارد؟

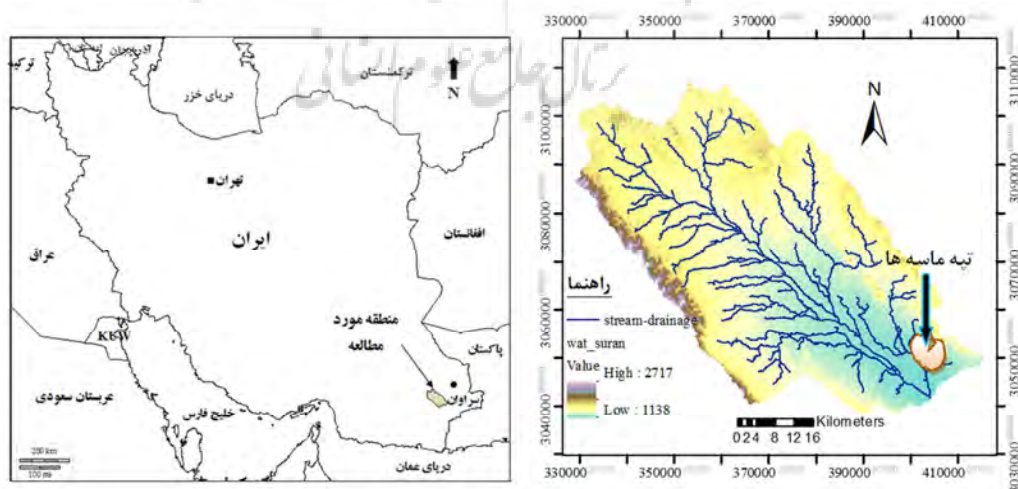
¹ -Vector Unit

۴. بیشترین زمان مهاجرت تپه ماسه‌ها در چه فصلی صورت می‌گیرد؟
۵. آیا جهت اصلی حرکت تپه‌های ماسه‌ای (گلماسه‌ها) با جهت بادهای غالب (گلباده‌ها) انطباق دارد؟
۶. مناطق برداشت ماسه‌ها احتمالاً در کدام سمت و در چه فاصله‌ای نسبت به ارگ واقع هستند؟

داده‌ها و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه تپه‌های ماسه‌ای واقع در پایین دست حوضه آبخیز روتک را شامل می‌شود که در استان سیستان و بلوچستان و در فاصله تقریبی ۴۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان سراوان قرار گرفته‌اند. این حوضه آبخیز با وسعت ۱۹۵۷/۲۸ کیلومترمربع بین مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۶۱ درجه ۵۲ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۲۷ درجه ۵۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رودخانه فصلی روتک به موازات ارتفاعات حوضه از شمال غرب بطرف جنوب شرق امتداد دارد و پیرامون غربی حوضه را ارتفاعات بلند کوهستان بیرک، شمال و شرق حوضه را نیز ارتفاعات نسبتاً بلند سیمیش تشکیل می‌دهند. میزان ارتفاع از طرف شمال غرب بطرف جنوب شرق بتدریج کاهش یافته و بهترین اراضی کشاورزی سوران بر روی دشتهای آبرفتی و کناره‌های رودخانه روتک و از مرکز حوضه تا خروجی آن با کاربری عمدتاً نخیلات گسترش دارند. با توجه مدل رقومی ارتفاع (وضوح ۳۰ متر) حداکثر ارتفاع حوضه معادل ۲۷۲۰ متر در جنوب غرب کوه بیرک و حداقل ارتفاع حوضه معادل ۱۱۳۷ متر در خروجی حوضه تعیین شده و شیب متوسط آبخیز ۶/۶ درصد می‌باشد. براساس ایستگاه سینوپتیک سراوان میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه ۲۳/۹، متوسط آن ۱۸/۹ و میانگین حداقل دمای سالانه ۱۰/۶ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است و رطوبت نسبی نیز برای یک دوره آماری ۲۰ ساله نشان می‌دهد که متوسط سالانه به حدود ۳۷ درصد می‌رسد. سایر ویژگی‌های محیطی و جغرافیایی حوضه در بخش‌های بعدی با جزئیات بیشتر ارائه شده است. بارخانه‌های مورد مطالعه در پایین دست حوضه آبخیز و در حاشیه شمالی اراضی کشاورزی گسترش دارند (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه آبخیز روتک

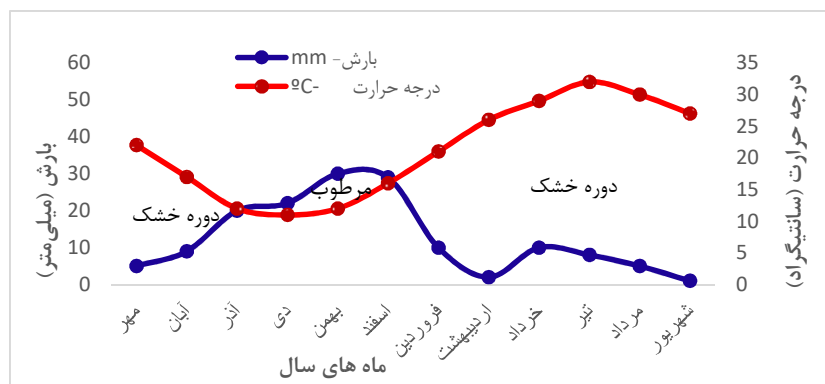
مطالعات پایه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه رودخانه‌ای ماشکید را تشکیل می‌دهد. حوضه رودخانه‌ای ماشکید دارای سه رودخانه فصلی بنام‌های سیمیش، روتک و ماشکید است، که هر سه از طرف شمال غرب بطرف جنوب شرق جریان دارند، بنحویکه رودخانه روتک سرشاخه میانی بوده و هر سه قبل از خروج از مرز درون خاک ایران بهم دیگر پیوسته و پس از ورود در خاک پاکستان درون پلایای ماشکید تخلیه و ناپدید میشوند. تپه ماسه‌های بادی در زیر حوضه روتک و در ۱۰ کیلومتری شمال شهر سوران در حاشیه اراضی کشاورزی بین روستاهای شگ بند و شندان قرار دارند. از نظر ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه دارای واحدهای کوهستان، دشت‌سر و پلایا می‌باشد، اما واحد پلایا بنام هامون ماشکید یا ماشکیل در کشور پاکستان واقع شده و محل تشکیل ارگ عظیمی بنام تلخاب و روتوک است که در این مطالعه مورد بررسی قرار نمی‌گیرد. رخساره‌های مهم واحد دشت سر عبارتند از؛ مخروط افکنه‌های فعال که در شمال شرقی تپه ماسه‌ها قرار دارند، مخروط افکنه‌های غیر فعال (تثبیت شده) که در دشت‌سر لخت واقع اند، مسیل‌های مربوط به دشت سر اپانداژ، اینسلیبرگ و در نهایت خود تپه ماسه‌ها که با مورفولوژی عرضی، طولی، بارخان و بادرفتی گیاه‌دار که در نزدیکی خروجی آبخیز روتک قرار دارند (دهواری، ۱۳۸۴).

منطقه از نظر زمین‌شناسی ساختمانی در جنوب زیر زون فلیش نهبندان-خاش قرار دارد. از ویژگی‌های سنگ چینه‌شناسی آن گسترش رخساره‌های فلیشی متنوع و با سن کرتاسه تا آئوسن است که تحت دگرگونی خفیف قرار گرفته و شامل ماسه سنگ دگرگون شده، فیلیت و اسلیت مشتق شده از رخساره‌های شیلی می‌باشند. در مطالعات دهواری (۱۳۷۳)؛ دهواری و همکاران (۱۳۸۴) سنگ منشاء اولیه این تپه ماسه‌ها بترتیب اهمیت واحدهای سنگ شناسی Es3، Es4 (سراوان) و Ez (زابلی) تعیین گردید و مشخص شد که این واحدها بیشترین نقش را در فرایند ماسه‌زایی و تغذیه آبرفت‌های متشکله دشت‌سر اپانداژ و مسیل‌های پهره و پتکن که بعداً بعنوان منشاء ثانویه و محل برداشت تپه ماسه‌ها معرفی شدند، برعهده دارند.

برای تجزیه و تحلیل میزان تحرک تپه ماسه‌ها از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک سراوان (واقع در ۴۰ کیلومتری شرق تپه ماسه‌ها)، خاش (۸۰ کیلومتری شمال غرب تپه‌ها) و ایرانشهر (۱۲۰ کیلومتری جنوب شرق تپه‌ها) استفاده شده است. بر اساس داده‌های ایستگاه سراوان که اقلیم منطقه در روش گوسن^۱ از نوع نیمه بیابانی شدید و با ضریب خشکی ۲۹۴ روز است، نشان دهنده دامنه گسترده فصل خشک بوده که بنظر می‌رسد شرایط برای فعالیت بادها برای تحرک ماسه‌ها مساعد است.

¹ - Gaussen



شکل ۲: منحنی آمبروترمیک ایستگاه سینوپتیک سراوان

براساس منحنی آمبروترمیک همانگونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، منحنی بارندگی در قسمت اعظم سال در زیر منحنی درجه حرارت قرار گرفته و دوره خشک بسیار طولانی است. بویژه با توجه به اینکه متوسط بارش سالانه کم (در حدود ۱۰۰ میلیمتر) و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه زیاد (۳۲۵۵ میلیمتر) است، می‌توان با توجه به محاسبه درصد اوقاتی که باد بیش از سرعت آستانه فرسایش ماسه‌ها می‌وزد، با استفاده از معادله لانکستر^۱ (۱۹۸۸) شاخص تحرک ماسه‌ها را در بارخان‌های منطقه محاسبه کرد. رابطه شماره ۱ معادله لانکستر (۱۹۸۸) را نشان می‌دهد.

$$M = \frac{W}{(P/PE)} \quad (1)$$

M شاخص تحرک تپه‌های ماسه‌ای، W درصد فراوانی تعداد روزهای سال که سرعت بادها بیش از سرعت آستانه فرسایش است، PE تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه (میلی‌متر) (معمولاً حاصل از روش تورنتوایت^۲)، و P میانگین بارش سالانه (میلی‌متر). M بیش از ۵۰، نشان دهنده تحرک تپه ماسه‌هاست و اگر کمتر از این مقدار باشد گویای عدم تحرک آنهاست. این عدم تحرک می‌تواند ناشی از استقرار پوشش گیاهی و یا فراوانی بسیار کم وزش بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایش باشد.

داده‌ها

الف. نمونه برداری: تعداد ۶ عدد بارخان متقارن و بارخان‌نویید (تپه‌های عرضی بارخانی شکل نامتقارن) که در قسمت‌های مختلف ارگ پراکنده شده بود انتخاب و پس از اندازه‌گیری شیب آنها (شکل ۳) در دامنه‌های واقع در جهت باد و خلاف جهت باد، جهت شیب و میل آنها نسبت به شمال جغرافیایی تعیین گردید (جدول ۲). سپس از روی راس تمامی بارخان‌ها نمونه برداری شد تا برای گرانولومتری و تعیین چگالی ماسه‌ها به منظور محاسبه سرعت آستانه فرسایش مورد استفاده قرار گیرد. دلیل انتخاب ماسه‌های واقع در راس بارخان این است که با توجه به دینامیک خاص تپه، چون ماسه‌های واقع در راس تپه بارخانی شکل در مقایسه با سایر بخشهای بارخان نه تنها بیشترین تحرک را دارند، بلکه به میزان بیشتری هم نسبت به سایر نقاط تپه حمل می‌شوند.

¹ - Lancaster

² - Thornthwaite



شکل ۳: تصویری از نحوه اندازه‌گیری شیب بارخان‌ها بوسیله کمپاس

ب. سمت و سرعت باد: نزدیکترین ایستگاه همدیدی به تپه ماسه‌ها ایستگاه سینوپتیک سراوان است که داده‌های روزانه سمت و سرعت باد این ایستگاه از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۱ همراه با آمار ایستگاه‌های خاش و ایرانشهر در این مطالعه جمع‌آوری گردیدند. برای پیشروی ماسه‌ها آمار سمت و سرعت این سه ایستگاه به روش عکس مجذور فاصله درون‌یابی شده است، تا در موقعیت خود تپه‌ها برآیند بادهای این سه ایستگاه در قالب یک ایستگاه فرضی حاصل شود. از آنجاییکه گلباده‌ها بر اساس درصد فراوانی تمام بادهای (فارغ از اندازه سرعت باد) استفاده می‌شود و جهت غالب باد در گلباد^۱ گویای جهت پیشروی ماسه‌ها نیست، بنابراین برای تحلیل جهت پیشروی ماسه‌ها از گلماسه^۲ استفاده می‌شود. چون در گلماسه‌ها فقط درصد فراوانی بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایش استفاده می‌شود. ممکن است بعد فاصله ایستگاه‌های خاش و ایرانشهر که از آنها نیز در تعیین ایستگاه فرضی در ارگ استفاده شده است سوال برانگیز باشد، این امر تا حدی درست است ولی بر اساس نتایج حاصله مشخص شد حتی با اینکه ایستگاه سراوان در فاصله نزدیکتری به تپه ماسه‌ها نسبت به دو ایستگاه دیگر واقع است، ولی جهت پیشروی ماسه‌ها با آمار بادهای ایستگاه خاش تطابق بیشتری داشت. احتمالاً دلیل این امر شاید بواسطه عدم حضور کوهستانهای عمود بر جهت بادهای فرساینده از سوی خاش باشد، در حالیکه بین تپه‌ها و دو ایستگاه دیگر ارتفاعات عمودی (بیرک در مقابل ایرانشهر و سیمیش در مقابل سراوان) حضور دارند. موازی بودن دره روتک با بادهای غالب غربی و آبخیز دالانی شکل روتک در راستای غربی-شرقی این امر را تشدید کرده است. علاوه بر آن آمار سمت و سرعت باد ایستگاه اطلس باد دهک (۱۰۰ کیلومتری شرق ماسه‌ها) که برای سالهای ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ توسط سازمان انرژی‌های نو وابسته به وزارت نیرو نیز فراهم شده بود، جمع‌آوری گردید تا در صورت نیاز مورد استفاده قرار گیرد. اطلاعات مربوط به سمت و سرعت باد نخست با توجه به راهنمای سازمان جهانی هواشناسی به کلاسهای مناسب طبقه‌بندی گردید و سپس پارامترهای فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) بر اساس روابط پیشنهادی لیتو و لیتو^۳ (۱۹۷۸) مورد محاسبه قرار گرفتند.

^۱ - Wind-Rose

^۲ - Sand-Rose

^۳ - Lattau & Lattau

بررسی روی نمونه های ماسه

دانه بندی نمونه های ماسه بادی جهت تعیین قطر ذرات به کمک الک های استاندارد و به روش خشک با قطر الک های $75\mu, 106\mu, 200\mu, 250\mu, 400, 600\mu, 800\mu$ و 1mm انجام و به کمک اطلاعات حاصل از دانه بندی ذرات، شاخص های آماری همچون مقادیر قطر میانه، میانگین اندازه ذرات، جورشدگی و کج شدگی برای آنها به روش ترسیمی تعیین شد. همچنین وزن مخصوص ذرات خشک به دو روش تعیین گردید، تا برای محاسبه سرعت آستانه فرسایش به روش بگنولد^۱ مورد استفاده قرار گیرد. معادله بگنولد (۱۹۴۱) که از آن برای محاسبه سرعت آستانه فرسایش استفاده شده است از ترکیب معادلات شماره های ۲ و ۳ برای این منطقه توسعه داده شد؛

$$U_z = 5.75A(U^*) \log\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (۲)$$

$$U^* = A \sqrt{\frac{(\gamma - \rho)g.d}{\rho}} \quad (۳)$$

$$U^* = 5.75A \sqrt{\frac{(\gamma - \rho)g.d}{\rho}} \times \log\left(\frac{1000}{Md/30}\right) \quad (۴)$$

در این معادلات؛

U^* سرعت آستانه حرکت ذرات به (m/s)، γ وزن مخصوص ذرات ماسه (gr/cm^3)، ρ وزن مخصوص هوا به gr/cm^3 ($10^3 \times 1.02$)، g شتاب ثقل زمین (cm/s^2) و d قطر ذرات ماسه (cm) است.

A به ضریب ثابت وان کارمن^۲ معروف است که بستگی به جنس ذرات خاک دارد. بگنولد مقدار آن را برای شروع حرکت ذرات برابر ۰/۱ بدست آورد که برای ذرات به قطر درشتتر از ۰/۱ میلی متر نیز معادل ۰/۱ در نظر گرفته می شود. با شروع حرکت جهشی و پیشرفت آن مقدار این ضریب برابر ۰/۰۸ عنوان گردیده است (مورگان^۳، ۲۰۰۵). Z ارتفاع اندازه گیری سرعت باد معمولاً ۱۰ متری، به (cm)، Z_0 ارتفاعی که سرعت باد پایین تر از آن ارتفاع به صفر می رسد، به (cm)، Md میانه اندازه ذرات، به (cm)، U_z سرعت باد در ارتفاع ایستگاه های سینوپتیک (ارتفاع ۱۰ متر) به (m/s). جزئیات بیشتر در مورد معادلات مربوطه توسط بگنولد (۱۹۴۱) و گودی^۴ و همکاران (۱۹۹۳) نیز تشریح شده است.

کاربرد شاخص های آماری مقدار میانگین ذرات، جورشدگی (انحراف معیار ذرات) و میزان عدم تقارن (کج شدگی) ذرات متفاوت و متنوع است. بعنوان مثال از میانگین ذرات می توان با توجه به رابطه قطر ذرات با مسافت حمل شان توسط باد استفاده نمود و طی آن منشا ماسه ها و جهت آنها را پیدا نمود (جدول ۱). جورشدگی یا انحراف معیار ذرات معیار خوبی برای نشان دادن اینکه ذرات تحرک زیادی داشته و یا اینکه فرایند حمل ذرات از نوع آبی، بادی و یا دریاچه ای و همچنین ترکیبی از این فرایندها باشد را به نمایش می گذارد.

^۱ - Bagnold

^۲ - Von Karman

^۳ - Morgan

^۴ - Goodie

جدول ۱: ارتباط قطر ذرات با مسافت حمل آنها توسط باد

فاصله جابجایی (km)	قطر ذرات (mm)
کمتر از ۱	درشت‌تر از ۱
۱-۵	۰/۵-۱
۵-۲۰	۰/۲۵-۰/۵
۲۰-۵۰	۰/۱۲۵-۰/۲۵
۵۰-۲۰۰	۰/۰۶۴-۰/۱۲۵
بیشتر از ۲۰۰	کوچکتر از ۰/۰۶۴

معادله ۴ که از آن در محاسبه سرعت آستانه سیال استفاده بعمل آمده است، نسبت به اندازه ذرات و وزن مخصوص ذرات خیلی حساس است. در معادله بگنولد وزن مخصوص ذرات معمولاً $2/65 \text{ gr/cm}^3$ در نظر گرفته می‌شود. ولی در این مطالعه وزن مخصوص ماسه‌ها به دو روش جداگانه تعیین گردید. روش اول تعیین وزن مخصوص، بصورت وزن مخصوص خشک موسوم است که از معادله ۵ به میزان $2/32 \text{ gr/cm}^3$ بدست آمد:

$$\rho_p = \frac{\rho_w(w_2 - w_0)}{(w_1 - w_0) - (w_3 - w_2)} \quad (5)$$

ρ_p وزن مخصوص ذرات (gr/cm^3)، ρ_w وزن مخصوص آب (خالص) $1 \text{ (gr/cm}^3)$ ، W_0 وزن بطری خشک (پیکنومتر)^۱، W_1 وزن بطری با آب (gr)، W_2 وزن بطری و رسوب در حالت خشک (gr)، W_3 وزن بطری همراه با رسوب و آب (gr). روش دوم تعیین وزن مخصوص ماسه‌ها با اندازه‌گیری وزن رسوب خشک و حجم ذرات رسوب بوسیله غوطه‌وری و معادله ساده $\rho_s = \frac{m}{V}$ ، به میزان 2.5 gr/cm^3 تعیین شد. در نهایت میانگین این دو روش یعنی $2/41 \text{ gr/cm}^3$ برای تعیین سرعت آستانه مورد استفاده قرار گرفت. فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) سرعت آستانه جامع برای تعیین مهاجرت ماسه‌ها را $6/12 \text{ m/s}$ در نظر گرفته‌اند، در صورتیکه این سرعت بستگی به اندازه ذرات هر منطقه دارد (گودی و همکاران، ۱۹۹۳). بعنوان مثال العجمی و خلف^۲ (۱۹۹۳) سرعت آستانه حرکت را برای ماسه‌های بادی کویت 6.5 m/s در نظر گرفتند. در این تحقیق سرعت آستانه سیال $6/80 \text{ m/s}$ تعیین شد، که از آن برای تعیین پتانسیل حمل میزان ماسه‌های روان استفاده گردید. برای محاسبه میزان پتانسیل نسبی ماسه‌های روان از معادله لیتو و لیتو (1978) که توسط فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) بصورت معادله ۶ اصلاح شده است، استفاده گردید.

$$q = V_z^2 (V_z - V_* t) T \quad (6)$$

q (6) پتانسیل نسبی ماسه‌های روان بر حسب واحد برداری V_z ، سرعت باد در ارتفاع 10 متری زمین به m/s ، $V_* t$ سرعت آستانه حرکت ماسه‌ها (یا سرعت آستانه سیال) به m/s ، و T درصد دفعاتی که باد با سرعت خاصی از هر یک از جهات وزیده است. مقادیر q برای کلیه کلاس‌های سرعت در هر کدام از جهات ۱۶ گانه محاسبه و باهم جمع گردید. ارقام حاصل از هر جهت بصورت برداری است که طول مشخصی دارد. بردار برآیند که از طریق ترسیمی

¹ - Pycnometer

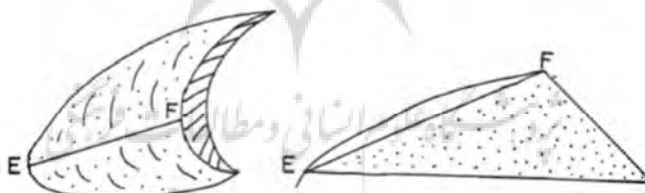
² - Al-Ajmi & Khalaf

(گلماسه) محاسبه می‌گردد، در نهایت جهت مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد. حاصل جمع مقادیر q از کلیه جهات، دبی حمل ماسه‌ها را در طی سال نشان می‌دهد.

مورفومتری بارخان‌ها

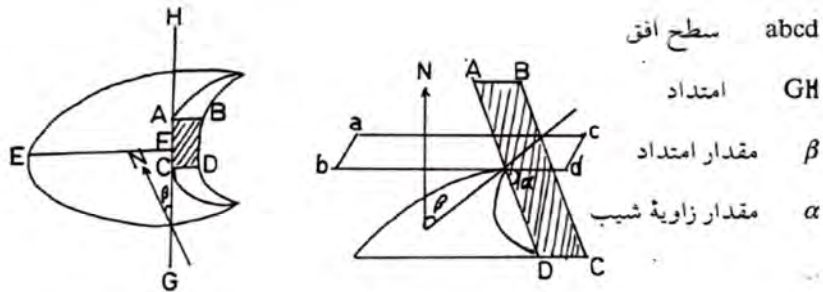
برای ترسیم مشخصات سه بعدی بارخان‌ها روی یک سطح دو بعدی از روش استریوگرافی که در کارتوگرافی معمول است، استفاده گردید. بارخان‌ها شاخص‌ترین الگوی تپه‌ای در محیط‌های بیابانی است که جهت بادهای فرساینده و مسیر مهاجرت ماسه‌ها را نشان می‌دهند. در دامنه رو به باد بارخان که از شیب ملایم‌تری نسبت به دامنه پشت به باد برخوردار است، ماسه‌ها در امتداد سطح کم شیب و بطرف قله آن حرکت نموده و پس از رسیدن به قله بر روی دامنه تند آن سرازیر شده و بدین شکل مهاجرت می‌کنند. البته دامنه رو به باد همچون مانعی بر سر راه جریان باد عمل کرده و ماسه‌هایی که به این دامنه می‌رسند، میزان رسوبگذاری و تجمع آنها بیش از دامنه مخالف صورت می‌گیرد. در این دامنه خزش سطحی بوقوع پیوسته و ماسه‌ها را بطرف بالا و قله تپه و طرف دیگر یا پشت تپه می‌راند. بدین ترتیب تپه‌های بارخانی با انتقال دانه به دانه ماسه‌ها که از یک دامنه به دامنه دیگر انجام می‌شود، مهاجرت کرده و این مکانیسم پیشروی برای سایر تپه‌های ماسه‌ای نیز صدق می‌کند. برجسته بوده و بیشترین ارتفاع را در محلی که خط الراس سطح کم شیب، سطح پر شیب را قطع می‌نماید دارا می‌باشد (شکل ۴).

میزان زاویه خط الراس سطح کم شیب با افق ۱۵ تا ۲۰ درجه است و روی آن بعضاً ریبیل‌های کوچکی عمود بر جهت باد غالب تشکیل می‌شود. شیب ملایم بارخان در جهت باد ناشی از عملکرد باد است و بصورت هلال نسبتاً پهنی است،



شکل ۴: نیمرخ یک بارخان در امتداد خط الراس سطح کم شیب (دامنه رو به باد)

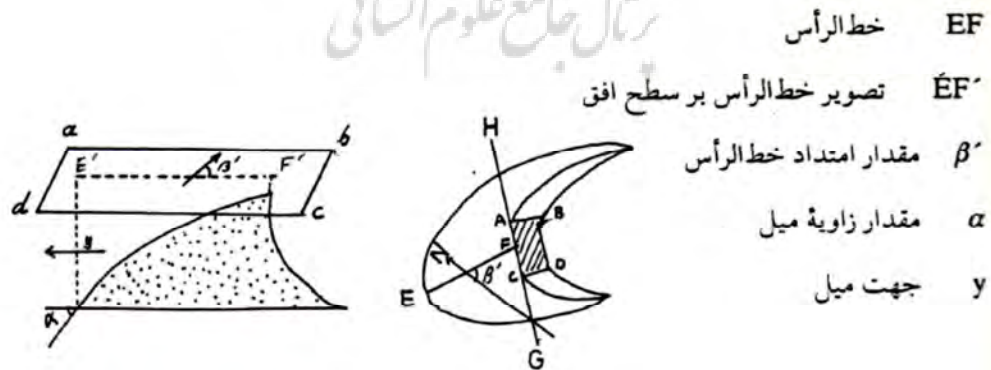
که قسمت مرکز آن دامنه یا شیب تند بارخان‌ها معمولاً عمود بر خط الراس سطح کم شیب و یا در واقع عمود بر امتداد حمل ماسه توسط باد می‌باشد. میزان شیب آن بین ۳۰ تا ۴۰ درجه بوده و در بارخان‌های مرتفع‌تر حتی به ۴۵ درجه نیز می‌رسد، بعلت شیب زیادی که این دامنه کسب می‌کند ماسه‌های واقع در قله بارخان ریزش کرده و بدین ترتیب بارخان به آرامی و به مرور زمان حرکت می‌کند متوسط حرکت بارخان‌ها بسته به اندازه و ارتفاع آنها سالانه حداکثر به ۱۵ متر می‌رسد (گودی و همکاران، ۱۹۹۳).



شکل ۵: زاویه محل برخورد خط الراس با دامنه پر شیب (خلاف جهت باد) بارخان

برای هر بارخان می‌توان صفحه‌ای مانند ABCD در نظر گرفت که دارای امتداد مشخص، زاویه شیب و جهت شیب مشخصی باشد. مشخصات این صفحه به سادگی قابل پیاده کردن در دستگاه استریونت^۱ است. همچنین برای دامنه کم شیب بارخان نیز می‌توان یک خط‌الرأس قایل شد و مختصات آنرا بر روی شبکه اشمیت^۲ نشان داد (شکل ۵). مقدار زاویه محل برخورد خط الراس با دامنه یا سطح پر شیب در بارخان‌های قرینه، ۹۰ درجه است که برای بدست آوردن جهت حمل ماسه‌ها و امتداد انتقال‌شان برای هر بارخان تصویر محل برخورد عمود صفحه (صفحه واقع در دامنه پرشیب) بر روی شبکه اشمیت پیاده گردید. در بارخان‌های نامتقارن برای بدست آوردن جهت حمل ماسه‌ها علاوه بر مشخص کردن مختصات دامنه سطح پر شیب، مختصات سطح دامنه کم شیب نیز محاسبه گردید. شکل ۶ نمونه‌ای از مختصات یک بارخان نامتقارن را نشان می‌دهد.

هنگام آماربرداری از بارخان‌های منطقه چون تعداد بارخانهای متقارن کمتر مشاهده می‌شد سعی گردید برای افزایش تعداد نمونه برداری‌ها به ناچار از بخش‌های بارخان‌های تعدادی تپه عرضی (بارخان نامتقارن) نیز آمار برداری شود. هر تپه عرضی تقریباً در جهت عمود بر باد غالب قرار می‌گیرد و در قسمت خلاف جهت باد آن دو عضو وجود دارد که به عضو زبانه‌ای شکل و بخش بارخان‌های موسوم است که همانند بارخان‌های متصل به تپه‌های عرضی باشند دیده می‌شوند.



شکل ۶: مختصات یک بارخان نامتقارن

^۱ - Stereo-net
^۲ - Schmitt

محل بارخان‌ها و بارخانوئیدهای مورد مطالعه همراه با مختصات جغرافیایی آنها در جدول ۲ ارائه شده است. این مختصات به دو بخش تقسیم شده است:

الف. مختصات مربوط به شیب تند بارخانها (دامنه در خلاف جهت باد)، ب. مختصات مربوط به شیب ملایم بارخانها (دامنه در جهت باد)؛ بعنوان مثال ترکیب [N135W/15NW] مشخصات زیر را بیان می‌کند:

مقدار امتداد دامنه کم شیب یا رو به باد را بیان می‌کند که نسبت به شمال جغرافیایی زاویه ۱۳۵ درجه می‌سازد. به بیان دیگر دامنه رو به باد این بارخان در قطاعی که بین جهات شمالی و غربی واقع می‌شود یعنی (N135W) قرار گرفته است. قسمت دوم این ترکیب یعنی 15NW مقدار شیب دامنه ملایم را نشان می‌دهد که مقدار شیب آن ۱۵ درجه و جهت شیب یا میل آن هم در قطاع چهارم یعنی همان قطاعی که بین جهات شمال و غرب واقع شده است، قرار دارد. در نهایت مختصات دامنه‌های رو به باد و دامنه‌های خلاف جهت باد کلیه بارخان‌ها با استفاده از استریونت بر روی شبکه اشمیت پیاده گردید. لازم به ذکر است که موقعیت نقاط دامنه پرشیب بارخان‌ها بصورت دوایر کوچک و مختصات دامنه کم شیب بارخانها بصورت مثلث‌های کوچکی که در شکل ۷ مشاهده می‌شوند، که انعکاسی از جهت‌گیری دامنه این بارخان‌هاست که حاصل برآیند وزش بادهای منطقه است. این جهت‌گیری بارخان‌ها که جهت حرکت آنها را نشان می‌دهد در بخش بحث و نتایج توضیح داده شده است.

جدول ۲: مشخصات مربوط به شیب تند (خلاف جهت باد) و شیب ملایم (در جهت باد) در بارخانهای منطقه

مشخصات مربوط به شیب تند (درجه)				مشخصات مربوط به شیب ملایم (درجه)			
N80E/31SE	80E 31 SE	امتداد شیب میل	شمال نورآباد	N135W/15NW	135W 15 NW	امتداد شیب میل	شمال روستای نورآباد نخستین بارخانوئید
N25E/3SE	25E 3 SE	امتداد شیب میل	شمال ارگ	N9W/5NW	9W 5 NW	امتداد شیب میل	شمال ارگ شمال شرق نورآباد
N50E/25SE	50E 25 5SE	امتداد شیب میل	شمال شندان	N95W/11NW	95W 11 NW	امتداد شیب میل	شمال روستای شندان
N35E/24SE	35E 24 SE	امتداد شیب میل	قسمت میانی	N95W/12NW	95W 12 NW	امتداد شیب میل	بارخانوئید بزرگ میانی در ارگ
N35E/33SE	35E 33 SE	امتداد شیب میل	نرسیده به انتهای ارگ	N125W/10NW	125W 10 NW	امتداد شیب میل	نرسیده به انتهای ارگ
N65E/32SE	65E 32 SE	امتداد شیب میل	انتهای ارگ	N115W/5NW	115W 5 NW	امتداد شیب میل	انتهای ارگ

نتایج و بحث

الف. شاخص‌های آماری ذرات

در مطالعه قبلی دهواری و همکاران (۱۳۸۴) محاسبه شاخص‌های آماری و تجزیه و تحلیل توزیع اندازه ذرات در ارگ سوران بدین منظور انجام شده بود تا نقشه مناطق هم اندازه برای دستیابی به اهداف زیر روشن شود:

۱. ماهیت و جهت منشاء تپه‌های ماسه‌ای را نشان دهد، و ۲. برای پیشروی و جهت گسترش تپه‌های ماسه‌ای الگوی مناسبی فراهم شود. از داده‌ها و نتایج مطالعه قبل در این تحقیق نیز استفاده می‌شود. البته اندازه شاخص‌های آماری در نمونه ماسه‌ها براساس گودی و همکاران (۱۹۸۷) ممکن است معیار حساسی برای منشاء نباشد، اما بسیاری دیگر (آلبرانت^۱، ۱۹۷۴) از این ویژگی‌ها برای شناسایی موقعیت قرارگیری منشاء نسبت محل رسوب‌گذاری استفاده کرده‌اند. با این حال دهواری و همکاران (۱۳۸۴) فرضیه ساده‌ای در مورد شاخص‌های میانگین ذرات، جورشدگی و حتی نحوه توزیع کانی‌ها طرح‌ریزی و پس از ترسیم نقشه‌های هم اندازه از شاخص‌های فوق جهت‌یابی منشاء ماسه‌های این منطقه را شناسایی کردند. در اینجا بطور خلاصه نقش این شاخص‌ها در جهت‌یابی سمت پیشروی بارخان‌ها در دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نیز تشریح می‌شود.

اندازه ذرات ماسه‌ها در بارخان‌های منطقه در حد ماسه‌های متوسط تا ریز (۰/۲۲ mm) می‌باشد که با قطر ماسه‌های بادی در سایر نقاط جهان مطابقت دارد. ریزترین ذرات (۰/۱۸ mm) در بارخان‌های واقع در شرق ارگ و درشت‌ترین آنها (۰/۳۷ mm) در شمال غرب و غرب ارگ و در ساختمان ورقه‌های ماسه‌ای و یا ریپل مارکهایی که بستر حرکتی بارخان‌ها را تشکیل می‌دهند، مشاهده می‌شود. این الگوی تغییر قطر میانگین ذرات گویای این امر است که ماسه‌های بارخان‌ها در طول مسیر مهاجرت خود از غرب یا شمال غرب بطرف شرق یا جنوب شرق در اثر اصطکاک و برخوردی که هنگام حرکت با سطح زمین و یا با همدیگر دارند، اندازه آنها کاهش می‌یابد که امری طبیعی است و مبین راستای مهاجرت آنها در خط سیری است که از طرف غرب به شرق و یا شمال غرب بطرف جنوب شرق امتداد دارد؛ لذا مناطق برداشت ماسه‌ها باید در قطاع شمال غربی و یا غربی واقع شده باشد. با توجه به رابطه قطر ذرات با مسافت حملشان توسط باد (جدول ۱) بطور تقریبی می‌توان نتیجه گرفت که مناطق برداشت ماسه‌ها باید در فاصله ۸۰ کیلومتری شمال-غربی تا غرب تپه‌ها واقع باشد. درصد سیلت و رس بارخان‌ها در جدول ۳ نیز ارائه شده است تا با مقایسه میزان رس و سیلت این تپه‌ها با چند نمونه از ارگ‌های جهان مشخص شود که تا چه حد جوان هستند. براساس گودی و همکاران (۱۹۸۷) هر چه درصد سیلت و رس تپه ماسه‌ها بیشتر باشد نشان دهنده این است که سن آنها بیشتر است.

جدول ۳: درصد سیلت و رس در تعدادی از ارگ‌های جهان

منبع	منطقه مورد مطالعه	درصد سیلت	درصد رس
وارن ^۲ ، ۱۹۷۰	سودان	۱۶/۶	۷/۷۸
وارن، ۱۹۷۶	نبراسکا ^۳ (قدیمی)	۱۱	۲
احمدی، ۱۳۷۲	الباجی اهواز	۱۴	۴
مطالعه حاضر	سوران-بلوچستان	۱۰/۸	۱/۷۴

^۱ - Ahlbrandt

^۲ - Warren

^۳ - Nebraska

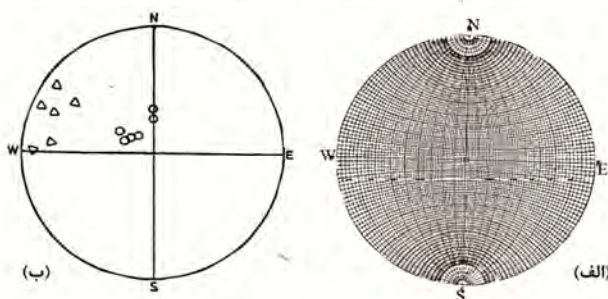
همانگونه که جدول ۳ نشان می‌دهد، میزان رس و سیلت تپه ماسه‌های منطقه مورد مطالعه با مطالعات دیگر درجهان همخوانی دارد و البته درصد بسیار کم رس، گویای جوان‌تر بودن ارگ سوران در مقایسه با سایر ارگ‌هاست. به عبارت دیگر این تپه ماسه‌ها حاصل فعالیت‌های متمرکز کشاورزی در سالهای اخیر است و مفهوم آن این است چنانچه بر روی فعالیتهای کشاورزی منطقه نظارت لازم صورت گیرد و شدت این فعالیتهای کاهش یابد، می‌توان انتظار داشت با توجه به کم وسعت بودن ارگ، آنها را در مدت کوتاهی مهار کرد.

ب. دینامیک بارخانها و پتانسیل حمل ماسه

- نتایج حاصل از استریوگرافی

برای ارزیابی و بحث در مورد نتایج استریوگرافی، اطلاعات توپوگرافی تپه‌ها (مقدار شیب و جهت آن در دامنه های رو به باد و پشت به باد) که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بر روی شبکه اشمیت پیاده گردید. نتایج حاصل بر روی شکل ۷ نشان داده شده است. در شکل ۷ (ب) نقاط دایره‌ای شکل تصویر محل برخورد عمود صفحه شیب تند بارخانها را به نمایش می‌گذارند. بنابر این نقاط مربوط به دامنه شیب تند درست مخالف جهت شیب مذکور واقع شده و در واقع نشان دهنده جهت حمل ماسه‌ها و یا بهتر بگوییم، بیانگر جهت وزش باد ایجاد کننده بارخانها می باشند.

نقاط مثلثی شکل در واقع تصویر محل برخورد خط‌الراس سطح کم شیب بارخانها (دامنه رو به باد) را بر روی شبکه اشمیت نشان می‌دهد که در همان جهت میل قرار می‌گیرند. بنابر این معرف سمت یا جهت حمل ماسه‌ها و یا جهت وزش باد ایجاد کننده بارخان می‌باشند. علت اینکه این نقاط روی هم نیفتاده‌اند، بخاطر وجود تفاوت در مقدار امتداد و شیب بارخانهاست که در واقع نشان دهنده تغییر جهت بادهای ایجاد کننده بارخانها نیز می‌باشند. بطوریکه ملاحظه می‌گردد، از یک طرف تمامی نقاط فوق در باند (ربع) شمال غرب واقع شده‌اند و از طرف دیگر جهت وزش بادهای حمل کننده ماسه‌ها غالباً در منطقه نیز در این قطاع (قسمت) متمرکز شده است، که نشان می‌دهد امتداد دامنه‌های بارخانها همراستا با جهت وزش بادهای شمال غربی تا غربی در منطقه می باشد. بنابر این از بررسی‌های استریوگرافی در این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که الگوهای تپه‌ای و بویژه بارخانها در منطقه عمدتاً توسط بادهایی که از جهت غربی تا شمال غربی می‌وزند شکل می‌گیرد، لذا جهت پیشروی آنها قاعدتاً باید به سمت شرق تا جنوب شرق باشد و منطقه منشا آنها در فاصله‌ای خاص (دهواری، ۱۳۸۴) نسبت به ارگ و در جهت غرب تا شمال غرب واقع شده باشد.



شکل ۷: (الف) شبکه اشمیت برای پیاده کردن مشخصات بارخانها، (ب) تصویر استریونت برای نمایش جهت حرکت شیب تند و ملایم بارخانهای منطقه

- جهت پیشروی و میزان حمل ماسه‌ها به روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹)

در این بخش با ایجاد گلماسه با استفاده از مشاهدات سمت و سرعت باد در هر ایستگاه سینوپتیک علاوه بر میزان حمل ماسه‌ها جهت پیشروی و جهت مناطق برداشت آنها تجزیه و تحلیل گردید. برای ایجاد گلماسه از مشاهدات باد، روش‌های مختلفی موجود است که دقت آنها به نوع معادله‌ای که توسط آن سرعت آستانه فرسایش بادی محاسبه می‌شود، بستگی دارد. بنابر این سرعت آستانه در حرکت ماسه‌ها اهمیت و نقش زیادی دارد (بگنولد، ۱۹۵۱ و بروکفیلد^۱، ۱۹۷۰). استفاده از این معادلات در نتایج کاربردی بحرانی نخواهد بود چون هنگام حمل اغلب ماسه‌های بادی در چنین سرعتی نتایج مشابه زیادی حاصل شده است. در میان تحقیقات انجام شده ویلسون^۲ (۱۹۷۲) دریافته بود که ممکن است استفاده از سرعت آستانه تا حدودی بحرانی و انتقاد آمیز باشد. وی هنگام بررسی جهت‌یابی ماسه‌های بادی مشاهده نمود که اشکال چینه‌ای و لایه بندی حاصل از ماسه‌های ریز با ماسه‌های درشت اندکی تفاوت دارد. در جدول ۴ نتایج حاصل از مهاجرت ماسه‌ها در دوره اقلیمی ۱۳۸۵ تا ۹۱ برای کلاس‌های سرعتی که بزرگتر مساوی سرعت آستانه فرسایش وزیده اند، ارائه شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، مقادیر DP و RDP این سه ایستگاه همراه با شاخص‌های منطقه تجمع تپه ماسه‌ها ارائه شده است. از آنجاییکه تپه‌های ماسه‌ای در بین این سه ایستگاه واقع شده است، نخست مشاهدات سمت و سرعت باد منطقه تجمع ماسه‌ها از میانگین سمت و سرعت باد هر کدام از این سه ایستگاه براساس فاصله‌ای که نسبت به تپه‌های ماسه‌ای دارند، بدست آمده است. بدین صورت که ابتدا سرعت و فراوانی وزش آن از هر کدام از جهت بر مبنای قاعده عکس مجذور فاصله برای منطقه تجمع ماسه‌ها (ایستگاه فرضی ارگ) برآورد گردیده و سپس مقادیر q (میزان حمل ماسه‌ها) بطور جداگانه در این منطقه محاسبه شده است.

براساس جدول ۴، تپه‌های ماسه‌ای منطقه در دوره اقلیمی مورد بررسی در سال ۱۳۸۵ بیشترین و در سال ۱۳۹۰ کمترین پیشروی را داشته‌اند. میزان متوسط پتانسیل حمل تپه ماسه‌ها در این منطقه کمتر از ۲۰۰ بوده و میانگین آن از ۱۰۱ تجاوز نمی‌کند.

¹ - Brookfield

² - Wilson

جدول ۴: پتانسیل حمل تپه‌های ماسه‌ای بادی منطقه سوران در دوره اقلیمی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۱

ایستگاه	سال	۱۳۸۵	۱۳۸۶	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	متوسط دوره
سراوان	RDP DP	۱۸۸	۱۲۶	۲۳/۱	۱۸/۸	۱۴,۹۸		۶/۶	۵۳,۹
	RDP: DP	۲۵۱/۴	۱۳۴/۵	۹۷	۱۹/۶	۱۵,۴	بدون	۶/۶	۷۴,۹
	جهت حمل از طرف	شمال شرق	شمال شرق	شمال غرب	شرق	شمال غرب	پیشروی	جنوب	شمال شرق ۰,۷۲
خاش	RDP DP	۹۱/۶	۱۴/۴	۳۸/۵	۵۲/۳	۲/۷		۸/۹	۲۹/۷۵
	RDP: DP	۱۵۴/۲	۱۵/۳	۹۰/۶	۵۲/۳	۶/۷	بدون	۸/۹	۴۶/۸
	جهت حمل از طرف	شمال غرب	شمال شرق	جنوب شرق	غرب	شمال شرق	پیشروی	جنوب شرق	شمال غرب ۰/۶۴
ایرانشهر	RDP DP	۲۸۸/۹	۵۶/۹	۵۸/۹	۴۰	۷۱/۳		۱۳۳/۶	۸۵/۴۹
	RDP: DP	۱۷۶/۹	۴۱۴/۷	۳۰۸/۴	۸۲	۱۱۰/۴	۸/۹	۱۷۲/۲	۱۸۱/۹
	جهت حمل از طرف	شمال غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	جنوب غرب	شمال شرق	جنوب غرب	جنوب غرب	شمال غرب ۰/۴۷
منطقه ارگ فرضی در ایستگاه	RDP DP	۱۱۸/۴		۹/۸		۹/۷		۰/۱۴	۵/۴
	RDP: DP	۲۶/۹	بدون	۱۰	بدون	۹/۷	بدون	۰/۱۴	۶/۷
	جهت حمل از طرف	جنوب غرب	پیشروی	شمال غرب	پیشروی	شمال غرب	پیشروی	شمال غرب	شمال غرب ۰/۸۱

حداکثر مقدار DP در این دوره در سال ۱۳۸۷ در ایستگاه ایرانشهر به میزان ۳۰۸/۴ واحد برداری ثبت شده است. بنابر این بر اساس رابطه بین مقدار DP و مقدار ماسه حمل شده که توسط روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) برآورد شده است، می‌توان نتیجه گرفت که بادهای منطقه مورد مطالعه از نوع کم انرژی بوده و حداکثر میزان ماسه‌ای که سالانه می‌تواند توسط این تپه‌ها جابجا شود، حداکثر به ۱۷ m^3/yr می‌رسد که این مقدار از عرض یک متر در نظر گرفته می‌شود.

برای درک بهتر میزان مهاجرت این تپه‌ها در مقایسه با سایر ارگ‌های جهان تعداد زیادی از این مطالعات که بر اساس همین روش مبادرت به برآورد حمل ماسه‌ها شده است در جدول ۵ ارائه گردیده است. تقریباً میزان حمل ماسه‌های کشور کویت و ارگ جفورا (عربستان) که در همسایگی ایران هستند، در آنجا بسیار نزدیک به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. انتظار می‌رود این امر بواسطه تشابه در رژیم بادهایی است که در این مناطق می‌وزد. شکل ۸ یک نمونه از گلماسه‌های هر کدام از سه ایستگاه مورد استفاده را با استفاده از روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) نشان می‌دهد، که همراه با آن گلماسه‌ی دیگری نیز ترسیم شده است. گلماسه‌ی چهارم بر اساس سمت و سرعت بادهایی ترسیم شده است، که در محل خود تپه‌ها با استفاده از روش درون‌یابی داده‌های ایستگاه‌های سه گانه و به نام ایستگاه فرضی ارگ برآورد شده بود. بنابر این گلماسه چهارم (ایستگاه فرضی در منطقه ارگ) از میانگین بادهایی که تحت تاثیر بادهای ایستگاه‌های سه‌گانه در منطقه ایجاد می‌شود حاصل شده است.

بطور خلاصه؛ طبق آمار سمت و سرعت بادهای بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی در این دوره براساس ایستگاه سراوان برآیند جهت پیشروی ماسه‌ها از طرف شمال شرق و بر اساس ایستگاه‌های خاش و ایرانشهر از طرف شمال غرب بوده است.

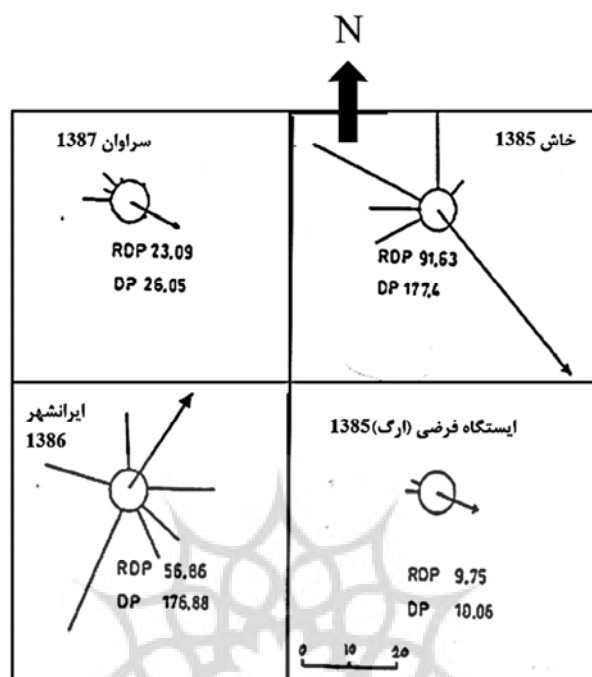
جدول ۵: میزان حمل ماسه در سایر ارگ‌های جهان

منبع	میزان حمل ماسه (m ³ /yr.m)	منطقه مورد مطالعه
فرایبرگر ودین (۱۹۷۹)	۲۳۵	پومونا ^۱ (نامیبیا)
والکر و ساریتان ^۸ (۱۹۷۹)	۱۸۶	نوادیبو ^۲ (موریتانی)
فرایبرگر ودین (۱۹۷۹)	۸۰	بیلما ^۳ (نیجریه)
فرایبرگر ودین (۱۹۷۹)	۵۵	قادامش ^۴ (لیبی)
فرایبرگر ودین (۱۹۷۹)	۳	سوچی ^۵ (چین)
هانتر ^۹ و همکاران (۱۹۸۳)	۳۴	ساحل ارگون ^۶
فرایبرگر ودین (۱۹۷۹)	۱۸	ارگ جفورا ^۷
ایلنبرگر و راست ^{۱۰} (۱۹۸۸)	۳۰	سواحل افریقای جنوبی
خلف ^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۳)	۲۰	کویت
دهواری و همکاران (۱۴۰۰)	۱۷	ارگ سوران (مطالعه فعلی)

اما طبق داده‌های ایستگاه فرضی که با استفاده از میانگین‌گیری آمار سمت و سرعت باد این سه ایستگاه و به روش عکس مجذور فاصله در محل ارگ حاصل گردید، برآیند جهت پیشروی ماسه‌ها از طرف شمال غرب برآورد گردید. نمونه گلماسه هر سه ایستگاه همراه با گلماسه ایستگاه فرضی که بردار برآیند حمل ماسه‌ها در آن با علامت پیکان نشان داده شده است، در شکل ۸ ارائه شده است. بطور کلی از نظر مقیاس سالانه، تپه‌های ماسه‌ای منطقه در سالهای ۱۳۸۷، ۸۹ و ۹۱ بطرف جنوب شرق، و در سال ۸۵ بطرف شمال شرق و در سالهای ۸۶، ۸۸ و ۹۰ بدون پیشروی بوده‌اند.

نتایج حاصله نشان می‌دهد که غیر از ایرانشهر که در فاصله دورتری نسبت به تپه‌های ماسه‌ای قرار دارد (نسبتاً وزن کمتری از نظر فاصله نیز به این ایستگاه داده شده است)، رژیم بادی دو ایستگاه دیگر (سراوان و خاش) با الگوی مهاجرت تپه ماسه‌ها به روش استریوگرافی همخوانی دارد. بنابراین در مناطقی که ایستگاه بادسنجی نسبت به تپه‌های ماسه‌ای در فاصله نسبتاً دورتری (بیش از ۱۲۰ کیلومتر) قرار دارد، باید با احتیاط از داده‌های سمت و سرعت باد آن برای ترسیم گلماسه استفاده نمود.

1 - Pomona
 2 - Nowadibu
 3 - Bilma
 4 - Ghudamis
 5 - So-che
 6 - Oregon
 7 - Jafurah
 8 - Walker & Saritan
 9 - Hunter
 10 - Illenberger & Rust
 11 - Khalaf



شکل ۸: نمونه ای از گلماسه‌های ایستگاه‌های خاش، سراوان، ایران‌شهر و ایستگاه فرضی در ارگ و برآیند حمل ماسه‌ها

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) نمی‌تواند اطلاعات مناسبی در مورد دینامیک تپه‌ها به همان اندازه‌ای که روش استریوگرافی در اختیار محقق می‌گذارد، ارائه نماید. بعنوان مثال در روش استریوگرافی چون ژئومتری و ابعاد تپه‌ها دقیقاً مورد مطالعه قرار می‌گیرد، می‌توان حتی حجم کل ماسه موجود در هر تپه را برآورد نمود و چنانچه این اندازه‌گیری‌ها در دو مقطع زمانی صورت گیرد، می‌توان میزان حمل و حجم ماسه‌ها را بدین روش نیز تعیین کرد. نتایج حاصل از این مطالعه در قسمت روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) با نتایج ژانگ و همکاران (۲۰۱۷)؛ لوآسا و همکاران (۲۰۱۸)؛ یانگ و همکاران (۲۰۱۹)؛ ژیاو-یان و همکاران (۲۰۲۰)؛ یانگ و همکاران (۲۰۲۱) که در خارج از ایران صورت گرفته همراستا با نتایج حاصل از این تحقیق بود و همچنین بسیاری از مطالعات داخل کشور مانند مطالعه راهداری و همکاران (۱۳۹۸)؛ عباسی و همکاران (۱۳۹۹)؛ زمانی و همکاران (۲۰۲۰) و راهداری و همکاران (۲۰۲۱) نیز به نتایج مشابهی همانند این مطالعه دست پیدا کرده بودند که تفاوت نتایج آنها با این مطالعه صرفاً در میزان حمل ماسه، سمت، سرعت و رژیم بادهای فرساینده مناطق مورد مطالعه می‌باشد.

در مقابل در روش استریوگرافی موقعیت نقاط در دیاگرام استریونت روش بسیار مناسبی برای پیشروی لحظه‌ای تپه ماسه‌ها محسوب می‌شود، ولی برداشت اطلاعات و اندازه‌گیری‌های هندسی بر روی تپه‌ها وقت‌گیر و بسیار خسته کننده است و در شرایطی که بصورت لحظه‌ای و یا در دو مقطع زمانی این کار انجام شود، دقت آن بسیار بیشتر از روش‌هایی همچون روش فرایبرگر و دین (۱۹۷۹) خواهد بود. زیرا در این روش در برخی از مناطق از آمار و اطلاعات

سمت و سرعت باد که در فاصله بسیار دوری از تپه ماسه‌ها ممکن است واقع باشد و بعد مسافت برای برخی موارد ممکن است سوال برانگیز باشد، استفاده نمی‌شود بلکه نتایج پیشروی ماسه‌ها مستقیماً از روی خود تپه‌ها برداشت می‌شود. اما بطور کلی نتایج روش فرایبرگر ودین (۱۹۷۹) با روش استریوگرافی در جهت‌یابی تپه ماسه‌های سوران در اکثر مواقع انطباق داشت. در مورد جهت یابی و میزان حمل تپه ماسه‌های منطقه سوران نتایج زیادی حاصل گردید که خلاصه نتایج آن بصورت زیر ارائه می‌شود:

براساس جدول شماره ۴ تپه‌های ماسه‌ای منطقه در سالهای ۸۹، ۹۱ و ۹۰ بطرف جنوب‌شرق، و در سال ۸۵ بطرف شمال‌شرق و در سالهای ۸۶، ۸۸ و ۹۰ بدون پیشروی بوده‌اند. برآیند حرکت تپه ماسه‌ها در این دوره براساس درصد فراوانی وقوع از طرف شمال غرب ۲۸/۹٪، از طرف جنوب غرب و شمال غرب و بدون پیشروی ۱۷/۸٪، از طرف جنوب شرق ۱۰/۷٪، و از طرف غرب و جنوب ۳/۵٪ بوده است.

آمار سمت و سرعت بادهای بیشترین مهاجرت را در فصول تابستان و پاییز نشان دادند. جهت حرکت تپه‌های ماسه‌ای هر چند از طریق بادهای غالب هم انجام می‌شود، اما در این منطقه بادهای غالب شمال شرقی بودند ولی عمده مهاجرت تپه‌ها از طرف شمال غرب تا غرب انجام می‌شود؛ عبارت دیگر (کلبادهای اغلب با گلماسه‌ها در اینجا همخوانی ندارند). چون در ترسیم گلبادهای درصد بادهای آرام هم لحاظ می‌شود، در حالیکه گلماسه‌ها فقط با استفاده از بادهای بیشتر- مساوی سرعت آستانه فرسایش حاصل می‌شوند. شناسایی منطقه برداشت این تپه ماسه‌ها قبلاً توسط دهوری (۱۳۷۷) بطور مفصل بررسی شده است، با این حال در این مطالعه اندازه آماری ذرات و رابطه آنها با مسافت حمل‌شان توسط باد، منطقه برداشت ماسه‌ها را در فاصله ۸۰ کیلومتری غرب تپه ماسه‌ها نشان می‌دهند (جدول ۱).

نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند در جهت جلوگیری از مهاجرت تپه‌ها و آسیب بیشتر به بهترین اراضی کشاورزی سوران مورد استفاده مسئولان اجرایی منطقه (آبخیزداری و منابع طبیعی سراوان) قرار گیرد. بعنوان پیشنهادات اجرایی با قاطعیت می‌توان از نتایج این تحقیق در طراحی شبکه بادشکن‌ها برای تثبیت تپه‌های ماسه‌ای منطقه سوران استفاده نمود. چون با توجه به اینکه مهاجرت تپه‌ها و حمل ماسه‌ها از آنها زمانی صورت می‌گیرد، که سرعت آستانه فرسایش بادی بیشتر یا حداقل مساوی $6/78 \text{ m/s}$ باشد؛ در نتیجه برای تثبیت تپه‌ها، اولاً شبکه‌های بادشکن باید عمود بر جهات وزش بادهای غرب تا شمال غرب تعبیه شوند، ثانیاً فاصله بین ردیف‌های بادشکن بر روی تپه‌ها باید به گونه‌ای تنظیم شود تا سرعت باد در بین ردیف‌های بادشکن از $6/78 \text{ m/s}$ تجاوز ننماید. در این صورت بلافاصله بعد از تثبیت تپه‌ها بوسیله بادشکن‌های غیرزنده (شاخه‌های گز و برگ خرما) و در صورتیکه بارش‌های منطقه برای رشد گیاهان مناسب باشد، از روش کشت بیولوژیکی درختچه‌های سازگار با منطقه (تاغ و گز)، تپه‌ها بصورت دائمی غیرفعال خواهند شد.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله نویسندگان این تحقیق مراتب سپاس خود را از سازمان جنگلها و مراتع و آبخیزداری کشور بخاطر حمایت مالی این تحقیق و از سازمان هواشناسی و اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان بخاطر تهیه داده‌ها که انجام این تحقیق را میسر نمودند، اعلام می‌نمایند.

منابع

- اختصاصی، محمد رضا و احمدی، حسن. (۱۳۷۲). منشا تپه های دشت یزد-اردکان با استفاده از دو روش تله های رسوبگیر و دستگاه سنجش فرسایش بادی. مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی، دانشگاه تهران. ۱۲۰ ص.
- اختصاصی، محمدرضا. احمدی، حسن؛ خلیلی، علی؛ صارمی نایینی، محمدعلی؛ رجبی، محمدرضا. (۱۳۸۵). کاربرد گلباد، گلپوفان و گلماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه های روان (مطالعه موردی، حوضه دشت یزد-اردکان)، مجله منابع طبیعی ایران. دانشگاه تهران ۵۹ (۱)، ۵۳۳-۵۴۱.
- دهواری، عبدالحمید (۱۳۷۳). منشاء رسوبات بادی در سراوان-بلوچستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۲۰۷ ص.
- دهواری، عبدالحمید، فیض نیا، سادات و احمدی، حسن. (۱۳۸۴). نقش بررسی های کانی شناسی و شاخص های آماری رسوبات در منشاء یابی تپه ماسه‌ای شندان، سراوان. مجله منابع طبیعی ایران، دانشگاه تهران، ۵۸ (۴)، ۷۵۷-۷۴۳.
- راهداری، محمدرضا؛ احمدی، حسن؛ طویلی، علی؛ جعفری، محمد؛ نظری سامانی، علی اکبر؛ خسروشاهی، محمد؛ شریفی، شهرزاد (۱۳۹۸). واکاوی و پهنه‌بندی انرژی باد بر اساس قابلیت حمل ماسه در راه‌آهن قم-تهران. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۶ (۱)، ۲۲۶-۲۴۰. doi: 10.22092/ijdr.2019.119339
- عباسی، حمید رضا؛ گوهردوست، آزاده؛ خاکساریان، فرهاد؛ گنجعلی، مجتبی (۱۳۹۶). ویژگی‌های ریخت شناسی رسوبات بادی و بادهای فرساینده دشت سیستان، مدیریت بیابان، ۱۰ (۵)، ۲۸-۴۲.
- عباسی، حمیدرضا؛ کاشکی، محمدتقی؛ راهداری، محمدرضا؛ گوهردوست، آزاده؛ لطفی نسب اصل، سکینه (۱۳۹۹). ویژگی های رژیم بادی و پتانسیل حمل ماسه در ریگ سرخس، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۷ (۲)، ۳۷۱-۳۸۴. doi:10.22092/ijdr.2020.122809.1753
- علیپور، حمید؛ حاجی هاشمی جزی، محمدرضا؛ شیرانی، کورش. و آتشگاهی، مجید. (۱۳۸۹). منشاء یابی تپه های ماسه ای مطالعه موردی: عشق آباد نیشابور، دومین همایش ملی فرسایش بادی، یزد، انجمن علمی مدیریت و کنترل مناطق بیابانی ایران.
- فرجی محمد؛ احمدی حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ جعفری، محمد؛ و فیض نیا سادات، (۱۳۹۰). تعیین سهم و اهمیت نسبی رخساره های ژئومورفولوژی در تولید رسوبات تپه های ماسه ای منطقه مارون- ملائانی استان خوزستان، نشریه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه تهران ۶۴ (۲)، ۹۹۱-۲۱۶.
- فیض نیا، سادات، دهواری، عبدالحمید؛ و احمدی، حسن. (۱۳۷۷). منشاء یابی تپه ماسه های حوضه روتک سراوان در منطقه بلوچستان. مجله منابع طبیعی ایران، دانشگاه تهران، ۵۱ (۱)، ۱۰۹-۹۹.
- حسینی مرنندی، حمید، و فیض نیا. سادات. (۱۳۸۷). بررسی نقش ویژگی‌های بافتی رسوبات در منشاء یابی رسوبات بادی. (مطالعه موردی غرب ایرانشهر). مجله منابع طبیعی ایران. دانشگاه تهران، ۷۲ (۲)، ۲۹۷-۳۰۹.
- نگارش، حسین و لطیفی، لیلان. (۱۳۸۷). تحلیل ژئومورفولوژیکی روند پیشروی تپه های ماسه ای شرق سیستان در خشکسالی های اخیر، جغرافیا و توسعه، دانشگاه سیستان و بلوچستان ۶ (۱۲)، ۴۳-۶۰. GDIJ.2008.1242/۱۰,۲۲۱۱۱ .
- Ahlbrandt, T.T. (1974). The source of sand for the Killpecker sand dune field. *Sedimentary Geology*. 11, 39-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(74\)90004-9](https://doi.org/10.1016/0037-0738(74)90004-9)
- Bagnold, R.A., (1941). The physics of blown wind and desert dunes. Methuen, London pp 265 . <https://doi.org/10.1177/030913339401800105>
- Bagnold, R.A., (1951). The sand formation of south Arabia. *Geographical journal*.117: 78-86. <https://doi.org/10.2307/1789795>
- Brookfield, M. (1970). Dune trend and wind regime in central Australia. *Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplement* 10, 121-158. <http://hdl.handle.net/102.100.100/319099?index=1>
- Fryberger, S.G., and Dean Gary, (1979). Dune forms and wind regime. In McKee, E.D. (Ed.). A study of global sand seas, USGS professional paper, vol. 1052. US Geological Survey and United States National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC., pp. 137-169. r <https://doi.org/10.3133/pp1052>

- Goudie, A.S., Cooke, R.U. and Warren, A. (1993). Desert Geomorphology. UCL Press, London. <https://doi.org/10.1002/esp.3290190311>
- Hereher, Mohamed E. (2018) Geomorphology and drift potential of major aeolian sand deposits in Egypt, Geomorphology, Volume 304, 2018, Pages 113-120, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.041>.
- Hunter RE, Richmond BM, Alpha T.R. (1983) Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast. Geological Society of American Bulletin, 94(12),1450–1465. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<1450:SODOTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<1450:SODOTO>2.0.CO;2)
- Illenberger, WK, Rust, IC (1988) A sand budget for the Alexandria coastal dune field, South Africa. Sedimentology 35, 513–521. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb01001.x>
- John E Stout, Jeffrey A Lee. (2003) Indirect evidence of wind erosion trends on the Southern High Plains of North America, Journal of Arid Environments, 55(1), 43-61. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)00266-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00266-5).
- Khalaf, F. I. and Al-Ajmi. (1993). Aeolian process and sand encroachment problem in Kuwait. Geomorphology, 6, 111-134. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90042-Z](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90042-Z)
- Lancaster, Nicholas. (1988). Development of linear dunes in the southwestern Kalahari, Southern Africa. Journal of Arid Environments 14 (3), 233-244. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-arid-environments/issues?page=2>
- Lancaster, Nicholas, (1995). Geomorphology of desert dunes. Routledge, New York, NY 290 pp. <https://www.routledge.com/Geomorphology-of-Desert-Dunes/Lancaster/p/book/9780415060943>
- Lettau, K. and Lettau H.H., (1978). Experimental and mieno-meteorological field studies on dune migration. In: Lettau, K. and Lettau H.H. (Eds.). Exploring the world's driest climate. University of Wisconsin-Madison, Institute for Environmental Studies, pp. 140-147 <https://www.worldcat.org/title/exploring-the-worlds-driest-climate/oclc/4601231>
- Louassa, Samira; Merzouk, Mustapha; Kasbadji Merzouk, Nachida (2018) Sand drift potential in western Algerian Hautes Plaines, Aeolian Research, 34, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.07.002>.
- Morgan. R. P.C. (2005). Soil conservation and erosion. Blackwell Publishing Ltd. (3rd ed.). 304 p. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>
- Rahdari, M.R., Gyasi-Agyei, Y. & Rodrigo-Comino, J. (2021) Sand drift potential impacts within desert railway corridors: a case study of the Sarakhs-Mashhad railway line. Arabian Journal of Geoscience. 14, 810 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07171-7>.
- Tsoar H, Blumberg DG. (2002). Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. Earth Surf Process Landf 27(11),1147–1161. <https://doi.org/10.1002/esp.417>
- Warren, Andrew (1970) Dune trends and their implications in the central Sudan. In: Mensching, H.G. (ed). 1970. Piedmont plains and sand-formations in arid and humid tropic and subtropic regions. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementbände 10,154-179. https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1972_num_81_445_18721_t1_0331_0000_3
- Warren, Andrew (1976) Morphology and Sediments of the Nebraska Sand Hills in Relation to Pleistocene Winds and the Development of Aeolian Bedforms. The Journal of geology, 84 (6), 685-700). <https://www.jstor.org/stable/30067915>
- Wilson, I.G. 1972. Aeolian bedforms; their development and origins. Sedimentology 19: 173-210. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1972.tb00020.x>
- Xiao-yan, Sun; Yan-Jie, Fang; Jing-Feng, Zhao; Qing, He; Jie, Zhou (2021) Spatial and temporal distribution characteristics of sand drift potential in Taklimakan desert. Arid land geography, 43(1), 38-47. <https://doi:10.12118/j>
- Yang, Hui; Cao, Jiansheng; and Hou, Xianglong (2019) Characteristics of Aeolian Dune, Wind Regime and Sand Transport in Hobq Desert, China. Applied science, 9 (5543), 1-21. <https://doi:10.3390/app9245543>
- Zamani, Samira; Mahmoodabadi, Majid; Yazdanpanah, Najme; Farpoor, Mohammad Hady. (2020) Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modeling of sand drift potential and dune morphology. Meteorological Applications, 27(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/met.1851>
- Zhang, Zhengcai; Dong, Zhibao; Wu, Guoxi (2017) Field observations of sand transport over the crest of a transverse dune in northwestern China Tengger Desert, Soil and Tillage Research, 166, 67-75 ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.10.010>.

References

References (in Persian)

- Abbasi, Hamid Reza; Gohardost, Azadeh; Khaksarian, Farhad; Ganjali, Mojtaba (2017). Morphological features of wind sediments and erosive winds in Sistan plain, Desert Management, 10 (5), 28-42. http://www.idmal.ir/article_30648.html. [In Persian].
- Abassi H, Kashki M, Rahdari M.R, Gohardoust A, Lotfi Nasab Asl, S. (2020) The features of wind's regime and sand transport potential in Sarakhs Erg. Iranian J Range Desert Res. Vol. 27. No 2, pp.371-384. doi:10.22092/ijdr.2020.122809.1753. [In Persian].
- Alipour, Hamid; Hashemi Jazi, Mohammad Reza, Jafari, Mohammad; Feiznia, Sadat. (2010). Finding the origin of Esghabad-Nishabour sand dune (a case study). 2nd National conference of wind erosion, Yazd. Scientific union of management and the control of the desert region of Iran. <https://civilica.com/doc/100945>. [In Persian].
- Ekhtesasi, Mohammad reza, and Ahmadi Hasan (1993). Yaz-Ardakan source sand dunes using sand traps and wind erosion meter, Research center of Iranian desert & sahara, Tehran university, p.120. [In Persian].
- Ekhtesasi, Mohammad reza, and Ahmadi Hasan, Khalili Ali, Saremi Naeini Mohammad Ali and Rajabi Mohammad Reza (2006). Application of wind-rose, storm-rose, and sand-rose, in wind erosion analysis and sand movement direction (Case study: Yazd-Ardakan plain), Iranian natural resource journal. 59 (1), Tehran University, 533-541. https://ijnr.ut.ac.ir/article_25431.html. [In Persian].
- Dehvari Abdolhmidi, (1994). Source study of wind sediments in Saravan-Baluchestan. Master thesis, Faculty of natural resource, University of Tehran, P.207. <https://www.sid.ir/fa/journal/JournalList.aspx?ID=4197>. [In Persian].
- Dehvari Abdolhmidi, Feiznia Sadat, Ahmadi Hasan, (2005). The role of mineralogical and statistical indexes analysis in source studies of Shandan sand dune in Saravan of Baluchistan. Iranian natural resource journal, 58 (4), Tehran University, 743-757. https://ijnr.ut.ac.ir/article_25410.html. [In Persian].
- Feiznia Sadat, Dehvari Abdolhamidi and Ahmadi Hasan (1998). The source of sand dunes of Routak watershed in Saravan of Baluchistan Iranian natural resource journal, 51 (1) Tehran University, 99-109. <https://www.sid.ir/fa/journal/JournalList.aspx?ID=4197>. [In Persian].
- Hoseini Marandi Hamid and Feiznia Sadat. (2009). The role of sediment texture characteristics on finding the sand source. (Case study: Western Iranshahr). Iranian natural resource journal, 72 (2) Tehran University, P. 297-309. https://ijnr.ut.ac.ir/browse?_action=issue. [In Persian].
- Negaresh Hosein and Latifi Laila. (2009). Geomorphological analysis of sand dune movement trend in the eastern part of Sistan in the recent drought. Geography and development, 6(12) Sistan & Baluchistan University. 43-66. Doi: 10.22111/GDIJ.2008.1242. [In Persian].
- Rahdari M, Ahmadi H, Tavili A, Jafari M, Nazari Samani A, Khosroshahi M, Sharifi S (2019) Analysis and zoning of wind energy based on sand drift potential in Qom-Tehran railway. Iranian J Range Desert Res 26(1):226-240. doi:10.22111/gdij.2008.1242. [In Persian].
- Samira Zamani, Majid Mahmoodabadi, Najme Yazdanpanah, Mohammad Hady Farpoor, (2020). Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modeling of sand drift potential and dune morphology. Meteorological Applications, 27(1), 1-16 <https://doi.org/10.1002/met.1851>. [In Persian].

References (in English)

- Ahlbrandt, T.T. (1974). The source of sand for the Killpecker sand dune field. Sedimentary Geology. 11. 39-57. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(74\)90004-9](https://doi.org/10.1016/0037-0738(74)90004-9)
- Bagnold, R.A., (1941). The physics of blown wind and desert dunes. Methuen, London pp 265 . <https://doi.org/10.1177/030913339401800105>
- Bagnold, R.A., (1951). The sand formation of south Arabia. Geographical journal. 117: 78-86. <https://doi.org/10.2307/1789795>
- Brookfield, M. (1970). Dune trend and wind regime in central Australia. Zeitschrift fur Geomorphologie, Supplement 10, 121-158. <http://hdl.handle.net/102.100.100/319099?index=1>
- Fryberger, S.G., and Dean Gary, (1979). Dune forms and wind regime. In McKee, E.D. (Ed.). A study of global sand seas, USGS professional paper, vol. 1052. US Geological Survey and United States National Aeronautics and Space Administration, Washington, DC., pp. 137-169. r

<https://doi.org/10.3133/pp1052>

Goudie, A.S., Cooke, R.U. and Warren, A. (1993). Desert Geomorphology. UCL Press, London.

<https://doi.org/10.1002/esp.3290190311>

Hereher, Mohamed E. (2018) Geomorphology and drift potential of major aeolian sand deposits in Egypt, Geomorphology, Volume 304, 2018, Pages 113-120, ISSN 0169-555X, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.041>.

Hunter RE, Richmond BM, Alpha T.R. (1983) Storm-controlled oblique dunes of the Oregon coast. Geological Society of American Bulletin, 94(12),1450–1465. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<1450:SODOTO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<1450:SODOTO>2.0.CO;2)

Illenberger, WK, Rust, IC (1988) A sand budget for the Alexandria coastal dune field, South Africa. Sedimentology 35, 513–521. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1988.tb01001.x>

John E Stout, Jeffrey A Lee. (2003) Indirect evidence of wind erosion trends on the Southern High Plains of North America, Journal of Arid Environments, 55(1), 43-61. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(02\)00266-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(02)00266-5).

Khalaf, F. I. and Al-Ajmi. (1993). Aeolian process and sand encroachment problem in Kuwait. Geomorphology, 6, 111-134. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(93\)90042-Z](https://doi.org/10.1016/0169-555X(93)90042-Z)

Lancaster, Nicholas. (1988). Development of linear dunes in the southwestern Kalahari, Southern Africa. Journal of Arid Environments 14 (3), 233-244. <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-arid-environments/issues?page=2>

Lancaster, Nicholas, (1995). Geomorphology of desert dunes. Routledge, New York, NY 290 pp.

<https://www.routledge.com/Geomorphology-of-Desert-Dunes/Lancaster/p/book/9780415060943>

Lettau, K. and Lettau H.H., (1978). Experimental and mieno-meteorological field studies on dune migration. In: Lettau, K. and Lettau H.H. (Eds.). Exploring the world's driest climate. University of Wisconsin-Madison, Institute for Environmental Studies, pp. 140-147

<https://www.worldcat.org/title/exploring-the-worlds-driest-climate/oclc/4601231>

Louassa, Samira; Merzouk, Mustapha; Kasbadji Merzouk, Nachida (2018) Sand drift potential in western Algerian Hautes Plaines, Aeolian Research, 34, 27-34. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2018.07.002>.

Morgan. R. P.C. (2005). Soil conservation and erosion. Blackwell Publishing Ltd. (3rd ed.). 304 p.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>

Rahdari, M.R., Gyasi-Agyei, Y. & Rodrigo-Comino, J. (2021) Sand drift potential impacts within desert railway corridors: a case study of the Sarakhs-Mashhad railway line. Arabian Journal of Geoscience. 14, 810 <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07171-7>.

Tsoar H, Blumberg DG. (2002). Formation of parabolic dunes from barchan and transverse dunes along Israel's Mediterranean coast. Earth Surf Process Landf 27(11),1147–1161. <https://doi.org/10.1002/esp.417>

Warren, Andrew (1970) Dune trends and their implications in the central Sudan. In: Mensching, H.G. (ed). 1970. Piedmont plains and sand-formations in arid and humid tropic and subtropic regions. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementbände 10,154-179.

https://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1972_num_81_445_18721_t1_0331_0000_3

Warren, Andrew (1976) Morphology and Sediments of the Nebraska Sand Hills in Relation to Pleistocene Winds and the Development of Aeolian Bedforms. The Journal of geology, 84 (6), 685-700). <https://www.jstor.org/stable/30067915>

Wilson, I.G. 1972. Aeolian bedforms; their development and origins. Sedimentology 19: 173-210.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1972.tb00020.x>

Xiao-yan, Sun; Yan-Jie, Fang; Jing-Feng, Zhao; Qing, He; Jie, Zhou (2021) Spatial and temporal distribution characteristics of sand drift potential in Taklimakan desert. Arid land geography, 43(1), 38-47. <https://doi.org/10.12118/j.1000-0534.2021.01.003>

Yang, Hui; Cao, Jiansheng; and Hou, Xianglong (2019) Characteristics of Aeolian Dune, Wind Regime and Sand Transport in Hobq Desert, China. Applied science, 9 (5543), 1-21. <https://doi.org/10.3390/app9245543>

Zamani, Samira; Mahmoodabadi, Majid; Yazdanpanah, Najme; Farpoor, Mohammad Hady. (2020) Meteorological application of wind speed and direction linked to remote sensing images for the modeling of sand drift potential and dune morphology. Meteorological Applications, 27(1), 1-16. <https://doi.org/10.1002/met.1851>

Zhang, Zhengcai; Dong, Zhibao; Wu, Guoxi (2017) Field observations of sand transport over the crest of a transverse dune in northwestern China Tengger Desert, Soil and Tillage Research, 166, 67-75 ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.10.010>.