

سیکلون حرارتی لوت و تأثیر آن در لندفرم‌های بادی (ایده‌ای درحوزه دانش ژئومورفولوژی ایران)

مجتبی یمانی: استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، تهران، ایران*

وصول: ۱۳۹۱/۱۲/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰، صص ۱۴۰-۱۲۱

چکیده

پهنه وسیعی از بخش‌های مرکزی ایران در قلمرو شرایط اقلیمی خشک و بیابانی قرار دارد. توپوگرافی نسبتاً هموار و پست، خشکی محیط و استمرار و طول تونل باد در این ناحیه موجب غلبه فرایند فرسایش بادی در این مناطق شده است. مشخص‌ترین لندفرم حاصل از این فرایند، تمرکز توده‌های بزرگی از ماسه‌های بادی (ارگ‌ها) است. تاکنون علل تشکیل و تمرکز این توده‌های ماسه‌ای را توپوگرافی سطحی، جهت وزش باد و وجود موانع و شرایط بادپناهی می‌دانستند. بررسی‌ها و مطالعات اخیر نشان می‌دهد که برخلاف تصور رایج توجیه بوجد آمدن چنین پدیده گسترده و کم نظیری نیاز مند یک بازنگری و طرح مدلی اقلیمی در مقیاس منطقه ایست و اثبات تطبیق مورفولوژی بادی و مکان‌گزینی ارگ لوت در موقعیت کنونی با تمسک به چنین دلایلی تبیین پذیر نیست. ضرورت چنین اصلی سبب بررسی‌های دقیق تری بر مبنای مطالعات ژئومرفیک شامل باز شناسی پدیده‌ها توسط عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و تحلیل مورفومتری و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای و سایر لندفرم‌های بادی به عنوان شاخصی برای تعیین ویژگی‌های باد غالب در منطقه گردید. حاصل این بررسی‌ها که گستره وسیعی از دشت لوت ایران را شامل گردید نشان داد که ایجاد چنین پدیده‌ای مستلزم وجود یک سیستم اقلیمی محلی در مقیاس منطقه‌ای ایست و تسلط یک سلول کم فشار حرارتی تابستانی در چاله لوت بوجود آمدن ارگ را امکان پذیر ساخته است. فرم اشکال ارضی دشت لوت به عنوان گرم‌ترین نقطه کره زمین بیشتر تحت تأثیر یک سیستم اقلیمی خودساخته محلی است زیرا تحذب برخان‌ها و مورفولوژی سایر اشکال فرسایش بادی و تفسیر داده‌ها، نشانگر راستای وزش باد غالب در هر نقطه است و نتایج حاصل از بررسی‌ها نشان می‌دهد که تصویر فضایی مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای لوت ایران به عنوان بزرگ‌ترین توده ماسه‌ای در پهنه ایران، الگویی را ارائه می‌کند که از طریق آن می‌توان موقعیت یک سامانه کم فشار حرارتی و همرفتی محلی حاکم بر چاله لوت را به خوبی شناسایی نمود. وجود این سامانه و نقش آن در تکوین لندفرم‌های فرسایش بادی لوت می‌تواند به سایر ریگ‌های موجود در ایران مرکزی تعمیم یافته و دیدگاه‌های پیشین را بازنگری نماید. به عبارت دیگر نظریه جدید ثابت می‌کند عواملی را که تا این زمان به عنوان عوامل موثر در مکان‌گزینی توده‌های ریگ ایران بر شمرده‌اند عوامل اصلی نبوده بلکه نقش اصلی را موقعیت سامانه کم فشار حرارتی ایفا می‌کند که در طول دوره گرم سال بر منطقه لوت تسلط دارد.

واژه‌های کلیدی: چاله لوت، سامانه کم فشار همرفتی، کم فشار حرارتی، توده ماسه‌ای، فرسایش بادی

- شرح واژگان و مفاهیم ابداعی که نظریه بر پایه آن استوار شده است

چاله لوت: چاله لوت پست‌ترین، خشک‌ترین و گرم‌ترین منطقه ایران بوده و یک چاله ساختمانی گرانبی است.

سامانه کم فشار حرارتی محلی در لوت: در تابستان‌ها که شرایط گرم و خشک در دشت‌های بیابانی حاکمیت پیدا می‌کند، در نتیجه فراهم شدن صعود بی دررو در هوای گرم یک سلول سیکلونی در گرم‌ترین بخش هر دشت تشکیل می‌شود. مرکز این سلول سیکلونی همرفتی درست با پست‌ترین نقطه دشت که گرم‌ترین نقطه نیز هست انطباق پیدا می‌کند. جریان هوا (باد) در این سیکلون برخلاف عقربه‌های ساعت بوده و در عین حال حرکت همگرا به سمت مرکز دارد. علاوه بر این جریان هوا در این سیکلون حرکت حلزونی داشته و ابتدای چرخش که معمولاً از شمال غرب است حرکت باد مماس با سطح زمین بوده و به تدریج در حین چرخش در پیرامون سلول از زمین فاصله می‌گیرد. این فرآیند موجب می‌شود که در بخش غربی سلول که مماس با سطح زمین می‌وزد برداشت ماسه انجام دهد و به تدریج در بخش شرقی سلول که با حرکت حلزونی از زمین فاصله می‌گیرد رسوب گذاری انجام داده و ماسه‌ها را رها کرده و ارگ را تشکیل دهد. تشکیل و تمرکز توده‌های ماسه‌ای بزرگ در بخش‌های معینی از دشت‌های پهناور ایران که هیچ مانعی در پیرامون آنها وجود ندارد تنها نتیجه انطباق با موقعیت این سامانه‌های ناپایدار محلی است.

توده ماسه‌ای: توده ماسه‌ای یا ارگ در واقع حوزة انتهایی نقل و انتقال ماسه بادی در یک دشت و محل

تمرکز و انباشت آن است. تشکیل ارگ‌ها مربوط به دوره کواترنری است. در ایران ارگ‌های متعددی وجود دارد که نام‌های محلی دارند. پراکندگی این توده‌های ماسه‌ای ایران در شکل شماره یک نشان داده شده است.

فرسایش بادی: نیروی آئرو دینامیک بادی تنها قادر است ذرات رسوبی ماسه و ریزتر از آن را جابجا نماید. ذرات رس رفت و روب شده توسط باد به صورت معلق مسافت‌های بسیار زیادی را طی کرده و شکل تراکمی خاصی را در مناطق خشک ایجاد نمی‌کنند. اما ذرات درشت‌تر مانند سیلت و ماسه منجر به تشکیل انواع تپه‌های ماسه‌ای می‌شوند. آنچه مهم است اینکه نیمرخ تمام تپه‌های ماسه‌ای فعال نامتقارن بوده و می‌تواند جهت وزش باد غالب را در هر منطقه نشان دهد به عبارتی مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند الگوی وزش بادهای غالب یک دشت را بازسازی کنند.

- فرایند تکوین و تطور نظریه

سرزمین ایران در کمربند خشک و نیمه خشک نیمکره شمالی قرار گرفته است و تحت تأثیر حاکمیت پرفشار مجاور حاره و از طرفی همواری نسبی بخش‌های مرکزی آن، همواره در معرض فرایندهای فرسایش بادی قرار دارد. سایر متغیرها و عوامل اقلیمی از جمله کم ارتفاع بودن و همواری نسبی منطقه، دور بودن از منابع رطوبتی و دریاها و نیز محصور بودن در میان ارتفاعات حاشیه‌ای، فرسایش بادی را در نواحی مرکزی ایران تشدید نموده است.

در پهنه مناطق خشک مرکزی ایران، توده‌های بزرگی از ماسه‌های بادی در نقاط مختلفی متراکم شده‌اند. این

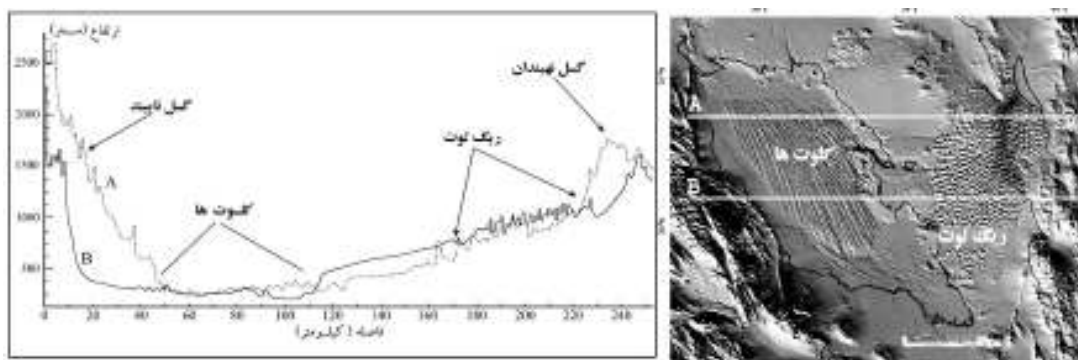
مطالعه موردی است. جهات وزش باد در حاشیه غربی دشت لوت و در محل کلوتهای لوت امتداد شمال غربی - جنوب شرقی دارند و مورفولوژی کلوتهای این موضوع را به خوبی نشان می‌دهند. لیکن در حاشیه شرقی که توده ریگ لوت متمرکز شده است، جهت باد بر اساس مورفولوژی و نیمرخ عرضی تپه‌های ماسه‌ای امتدادی غربی و سپس جنوبی و سرانجام امتداد جنوب شرقی را نشان می‌دهند و این موضوع مسئله اصلی تحقیق را تشکیل داده است. به دنبال این مسئله سؤالات زیر قابل طرح است:

۱- آیا چرخش دایره‌ای شکل وزش باد در نیمه جنوبی لوت با عرض بیش از ۱۸۰ کیلومتر می‌تواند تحت تأثیر توپوگرافی کوهستانی حاشیه لوت کانالیزه شود؟

۲- چرا کلوتهای نیمه‌غربی (منطقه برداشت) و ریگ لوت نیمه شرقی (منطقه انباشت) این چاله را پوشش داده‌اند (شکل ۱)؟ در حالیکه وزش باد در هر دو منطقه تقریباً به شکل چرخشی وجود دارد؟

توده‌های ماسه‌ای (Ergs) در اصطلاح محلی « ریگ » نامیده می‌شوند (یمانی، ۱۳۷۹). مطالعاتی که تا این زمان توسط برخی از محققین انجام شده است دو عامل اصلی، یکی جهت وزش باد غالب منطقه و دیگری وجود موانع توپوگرافی را به عنوان عوامل تعیین کننده یا عامل اصلی استقرار این توده‌های ماسه‌ای ذکر نموده‌اند (محمودی، ۱۳۸۱ ص ۴۵).

آنچه مشخص است، این توده‌های ریگ عموماً در پست‌ترین نقاط چاله‌های مرکزی استقرار یافته‌اند. اگر نگاهی کلی به موقعیت و مورفولوژی آن‌ها بیفکنیم، تفاوت‌های زیادی از نظر شکل، وسعت، ارتفاع و موقعیت در آن‌ها دیده می‌شود. از آنجا که باد عامل اصلی نقل و انتقال ماسه می‌باشد، بنابراین بر اساس مبانی نظری جهت، امتداد و شکل توده ماسه‌ای باید متأثر از راستای وزش بادهای غالب و مورفولوژی زیر بنای آن باشد. لیکن این ویژگی‌ها در تمامی ماسه‌های بادی یکسان نبوده و به نظر می‌رسد عوامل دیگری در شکل‌گیری و مکان‌گزینی این توده‌های ریگ تأثیر گذار باشند (یمانی، ۱۳۸۱). در این پژوهش، ریگ لوت



شکل (۱) نیمرخ‌های عرضی لوت. موقعیت این نیمرخ‌ها در تصویر سمت راست نشان داده شده است.

نقل و انتقال مواد بادی است. ناگفته نماند که معدودی از این پژوهشگران به‌تأثیر سیکلون‌های مهاجر در تغییر سرعت‌ها و جهات باد در مناطق خشک پژوهش‌هایی را به انجام رسانده‌اند لیکن هیچ‌کدام از ایشان در مورد استقرار سیکلون‌های حرارتی محلی و تمرکز توده‌های ماسه‌ای در نقطه‌ای خاص اشاره نکرده‌اند.

مطالعات در مورد دشت لوت و دشت‌های مرکزی ایران نیز بسیار طولانی و با سابقه است. اولین نوشته‌ها مربوط به ماجراجویان و جهانگردانی می‌شود که از دشت لوت عبور کرده و ویژگی‌های آن را توصیف کرده‌اند. این نوشته‌ها عمدتاً در اوایل قرن ۱۹ به بعد منتشر شده است. مقدسی در قرن چهارم هجری، اسکندر مقدونی برای دست‌یابی به خراسان، ناصر خسرو قبادیانی در راه بازگشت از سفر حج از نائین و خور عبور نموده است. اولین ماجراجوی اروپایی مارکوپولوی ونیزی بود که از لوت شمالی عبور نموده است. در اواسط قرن ۱۹ کنسول انگلیسی آبتون^۱ (۱۸۵۵) ضمن سفر به حاشیه لوت، حاصل مشاهدات خود را طی مقاله‌ای در مجله انجمن جغرافیایی انگلیس به چاپ رسانیده است. سپس سیاحانی چون توماشک و خانیکوف (۱۸۵۸) از روسیه، پوتین جر و کریستی، گلداسمیت (۱۸۷۲)، ماک گرگور (۱۸۷۵)، گالیندوی، سایکس (۱۹۰۱) از انگلستان، سون هدین سوئدی (۱۹۰۶)، استراتیل زاور (۱۹۳۳) و شاید مهم‌ترین‌ها نوشته‌های گابریل باشد که در سال‌های ۱۹۲۸، ۱۹۳۳ و ۱۹۳۷ در مورد مناطق بیابانی ایران به

۳- چرا در مرکز چاله جنوبی لوت و بین دو قلمرو کلوت‌ها و ریگ لوت در مساحت کوچک‌تری تقریباً فرسایش بادی وجود ندارد؟

۴- چنانچه چاله جنوبی لوت را تقریباً به شکل یک دایره تصور کنیم، چرا در حاشیه خارجی این دایره برخان‌ها قرار گرفته‌اند در حالی که در بخش مرکزی و حاشیه مرکزی این دایره صرفاً تپه‌های بسیار مرتفع هرمی شکل یا ستاره‌ای شکل استقرار یافته‌اند؟

۵- چه ارتباطی بین مورفولوژی اشکال فرسایش بادی لوت اعم از کلوت‌ها و انواع تپه‌های ماسه‌ای و جهات وزش باد غالب در لوت وجود دارد؟

۶- چرا در بخش شمالی چاله جنوبی لوت انباشت ماسه‌های بادی وجود ندارد؟

۷- علت اختلاف زیاد بافت مواد رسوبی در غرب لوت (محدوده کلوت‌ها با بافت ریگ و شن) با شرق لوت (ریگ لوت با بافت سیلت و ماسه). این سؤالات و سؤالات قابل طرح دیگری وجود دارد که نیازمند تطبیق لندفرم‌های موجود در لوت با مبانی نظری ژئومورفولوژی دینامیک در موضوع فرسایش بادی از یک سو و بازسازی شرایط سیستمی وزش باد است.

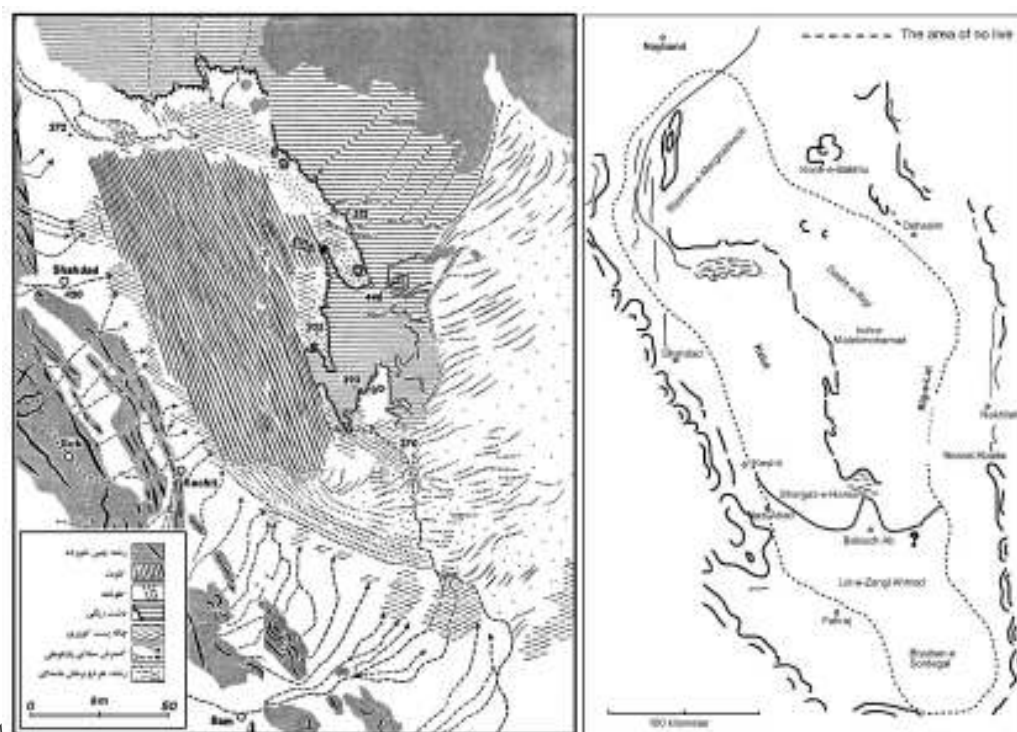
- بحث و شرح نظریه

در سایر کشورها محققین زیادی بر روی فرسایش بادی کار کرده‌اند، و تحقیقات ایشان اغلب روی دو محور اصلی متمرکز شده است، یکی ارتباط ویژگی‌های باد و شکل‌گیری انواع تپه‌های ماسه‌ای و دوم منشأ ماسه‌های بادی و تأثیر شرایط محیطی در حجم

شده است. همچنین گزارش‌هایی از جمله لوط زنگی احمد، نمونه خاک‌هایی از بخش شهداد، شبکه آب-های دشت لوت، جانداران لوت و مسائل زمین شناسی لوت است که به ترتیب توسط مستوفی (۱۳۴۸)، کردوانی (۱۳۵۰)، محمودی (۱۳۵۴)، بلوچ (۱۳۵۵) و معتمد (۱۳۶۷) در قالب گزارش‌های تحقیقاتی موسسه جغرافیا در سال‌های مورد اشاره چاپ و منتشر شده است.

غالب این مطالعات از دیدگاه توصیفی و صرفاً بر روی مورفولوژی و ویژگی‌های عمومی چاله لوت انجام پذیرفته است. از آنجا که شرایط اقلیمی و جهات وزش بادها در چاله لوت نقش اساسی را در هدایت جریان ماسه به عهده دارند، و اشکال فرسایش بادی موجود در لوت جهات وزش مشخصی را برای باد ترسیم می‌کنند. بنابراین طرح کلی این لندفرم‌ها به گونه‌ای است که حاکمیت یک سامانه کم فشار را در چاله لوت به عنوان گرم‌ترین نقطه سطح زمین تداعی می‌کند. این سامانه جریان بادی را در محدوده چاله لوت بر خلاف عقربه‌های ساعت ایجاد می‌کند و این موضوع فرضیه اصلی پژوهش را تشکیل داده است. این پژوهش تلاش دارد با استناد به مطالعات پیشین و با استفاده از داده‌ها و ابزارهای کنونی، چگونگی تکوین مورفولوژی فرسایش بادی در دشت لوت و سرانجام علت استقرار و مکان‌گزینی خاص توده ماسه‌ای ریگ لوت را به عنوان بزرگ‌ترین توده ماسه‌ای ایران از دیدگاهی نو و در قالب یک نظریه باز شناخته و به سایر ارگ‌های ایران تعمیم دهد.

ویژه در مورد لوت نگاشته شده است (مستوفی، ۱۳۴۸، صص ۲۵-۲۷). آنچه مهم است، تحقیقات جدید مربوط به زمانی است که عکس‌های هوایی پوشش سراسری کشور در سال ۱۳۳۴ تهیه شده و بر اساس آن نقشه‌های توپوگرافی ترسیم شده است. در این بین مهم‌ترین آثار موجود در مورد کویرهای ایران از جمله دشت کویر و مسیله مربوط به هانس بوبک فرانسوی است که در سال‌های ۱۹۳۴، ۱۹۳۶ و ۱۹۵۶ سفرهای پژوهشی به ایران انجام داده است و بسیار ارزشمند است و منجر به ارائه نظریاتی از سوی وی شده است که هنوز مطرح است (Bobek, 1959, p4). پس از آن هیأتی فرانسوی با همکاری گروه جغرافیای دانشگاه تهران به سرپرستی احمد مستوفی تحقیقاتی را در مورد لوت انجام دادند که می‌توان گفت اولین کارهای تحقیقاتی منسجم در مورد این منطقه است (مستوفی، ۱۳۴۸). گزارش‌های این مأموریت‌ها توسط موسسه جغرافیا طی سال‌های ۱۳۴۵ تا ۱۳۵۵ به چاپ رسیده است. نمونه آن‌ها گزارشی تحت عنوان بررسی اجمالی علوم طبیعی لوت توسط تئودور مونو است. گزارشی نیز تحت عنوان شناسایی در لوت توسط ژان درش نوشته شده است. شکل ۵ نقشه‌های تهیه شده در قالب این دو گزارش را نشان می‌دهد. در نقشه تهیه شده توسط مونو ضمن تقسیم بندی چاله لوت به ۳ واحد اصلی، مرز منطقه فاقد رویشگاه طبیعی را نیز در آن ترسیم نموده است. علاوه بر این گزارش زمین شناسی لوت است که توسط ژرژ کنراد و ژاکلین کنراد نوشته شده است. این گزارش توسط محمودی ترجمه و منتشر

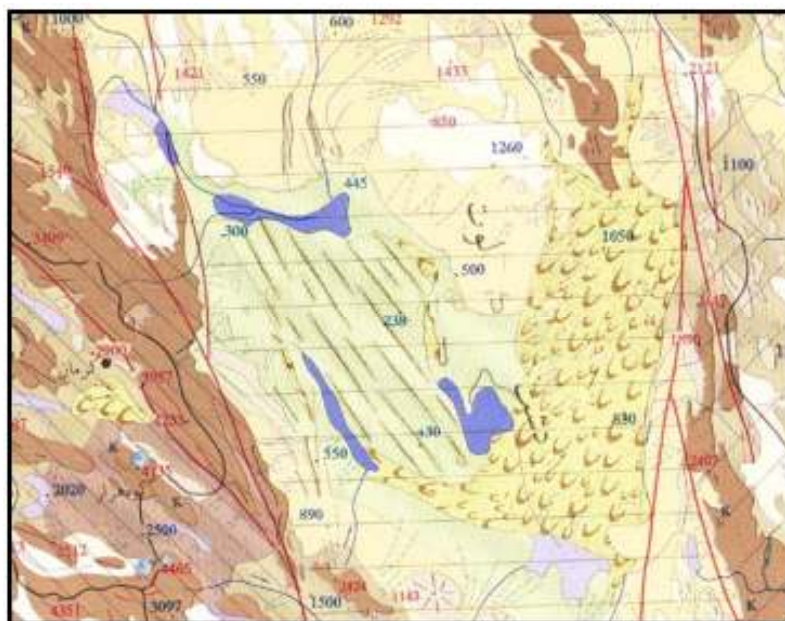


شکل (۳) سمت راست نقشه تقسیم بندی لوت توسط تئودور مونو در سال ۱۹۶۹ و سمت چپ نقشه ترسیم شده توسط ژان درش در قالب گزارشی تحت عنوان شناسایی در لوت (مستوفی، ۱۳۴۸)

شرقی ریگ بزرگ لوت را تشکیل می‌دهند. این ریگ در مشرق دشت لوت مرکزی قرار گرفته است و پهنه‌ای را تحت قلمرو خود دارد که عرض متوسط آن حدود ۵۲ کیلومتر بوده و وسعتی معادل ۱۵۲/۵ کیلومتر مربع را پوشش داده و بزرگ‌ترین توده ماسه‌ای ایران به حساب می‌آید (محمودی، ۱۳۴۵) (شکل ۶).

کلوت‌ها نیز پهنه‌ای حدود ۱۲۰ کیلومتر طول و حدود ۸۰ کیلومتر عرض را در نیمه غربی دشت لوت پوشش داده و ترکیبی از تپه‌های موازی از جنس رس، ماسه و نمک هستند که در اثر کاوش بادی شکل کنونی را به وجود آورده‌اند (مشهدی و همکاران، ۱۳۸۱).

دشت لوت چاله‌ای است نامتقارن با جهت شمالی-جنوبی و در داخل آن به طور پراکنده چاله‌های مستقل کوچک‌تری وجود دارد که حوضه انتهایی آب‌های روان هستند. در شمال لوت حداکثر ارتفاع بین رود شور بیرجند و بصیران به طور متوسط ۱۰۰۰ متر و در مغرب ۴۴۰ متر (شهداد) و در مشرق ۸۴۰ تا ۱۰۰۰ متر (به ترتیب در ده سلم و نخيله) و در جنوب یعنی لوت زنگی احمد ۷۲۰ متر است (محمودی، ۱۳۸۱). دشت لوت در حدود ۵۴۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. به دنبال شبکه آبراهه‌هایی که از کوه‌های شرقی ایران منشأ گرفته است، مخروط افکنه‌های وسیعی در بخش شرقی لوت تشکیل شده است که قاعده آن‌ها حاشیه



شکل (۳) ژئومورفولوژی و لندفرم‌های چاله لوت (اطلس ملی ایران، سازمان نقشه برداری کشور).

داده شده است. سپس نیمرخ‌های تعیین شده به صورت عرضی برداشت و ترسیم شده‌اند (Abdolahi & Yamani, 2009).

برای بررسی اشکال ژئومورفولوژی لوت و لندفرم‌های فرسایش بادی از طریق اندازه گیری روی تصاویر دیجیتالی با دید ارتفاعی انجام شده است. بررسی تغییرات دوره‌ای، جابجایی‌ها و تحول توده‌های ماسه‌ای و لندفرم‌ها از طریق مقایسه دوره‌ای عکس-های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با فاصله زمانی حدود ۵۰ ساله (۱۳۳۴-۱۳۸۲) اندازه‌گیری شده است. بسیاری از اندازه گیری‌ها بر روی تصاویر DEM ماهواره لندست سنجنده IRS و در قالب نرم افزار ENVI برای ترسیم نیمرخ‌ها و اندازه‌گیری و تحلیل انجام شده است. از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر رقومی برای ثبت و اندازه گیری موقعیت‌ها و

به طور کلی این پژوهش بر پایه یک روش مقایسه‌ای و تحلیلی استوار است. مطالعات قبلی و پیشینه تحقیق از طریق کارهای کتابخانه‌ای گردآوری و مورد بررسی قرار گرفته و عمدتاً بر روی نظریه‌ها تاکید شده است. همچنین روش‌ها و تکنیک‌های به کار رفته در تحقیق بخشی مستند به این سوابق بوده است. داده‌ها نیز قسمتی از کارهای انجام شده توسط دیگران و بخشی نیز از سازمان‌های مرتبط تهیه یا از وبگاه‌های اینترنتی اخذ شده است. بخش عمده‌ای از اطلاعات نیز از طریق مشاهده، اندازه گیری، ثبت و برداشت از روی عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای Aster و IRS و تجزیه و تحلیل آن‌ها با استفاده از نرم افزارها بوده است. موقعیت عوارض در قالب نرم افزارهای مختلف بر روی نقشه‌های رقومی ثبت شده و با عوارض موجود در محدوده مورد مطالعه انطباق

و جهات مذکور بازه‌های وزش باد بر روی ریگ ترسیم و برازش داده شده است. در نهایت الگوهای فشار با ریگ لوت انطباق داده شده و جهات وزش باد و جهات جریان و حرکت ماسه‌های بادی در محدوده ریگ لوت بازسازی شده است.

فرایند فرسایش بادی، برآیند میزان انرژی و جهت وزش باد است. این فرایند به صورت کاوش، حمل و نقل و سرانجام تراکم بادی انجام می‌پذیرد. بدیهی است، قدرت مستقیم فرسایش باد، آستانه معینی را در رابطه با قطر ذرات نشان می‌دهد. این آستانه، شامل ذرات رسوبی به قطر حداکثر ۲ میلیمتر و بادی با سرعت ۶۰ گره در ساعت است (موسوی حرمی، ۱۳۸۰). ذرات بسیار ریزدانه در حد رس و سیلت دانه ریز به صورت معلق جابجا می‌شوند و قادرند مسافت‌های طولانی را طی کنند؛ اما آن دسته از ذرات که تحت تأثیر نیروی باد به صورت جهشی و غلطان حرکت می‌کنند، اشکال تراکمی تپه‌های ماسه‌ای را می‌سازند. این تپه‌ها در راستای باد غالب هر منطقه حرکت می‌کنند. انباشته شدن تپه‌های ماسه‌ای در حوزه انتهایی وزش باد و توقف نسبی آن‌ها، موجب تشکیل توده‌های بزرگ ماسه‌ای یا ارگ می‌گردد (یمانی، ۱۳۸۳).

- تعیین جهات وزش باد از طریق مورفولوژی

لندفرم‌های بادی

تقریباً تمامی ریگ‌های ایران در نقاط پست‌چاله‌های مرکزی و منطبق با گرم‌ترین نقاط این چاله‌ها استقرار

برداشت پروفیل‌ها با مشاهده و اندازه‌گیری‌های غیر-مستقیم استفاده شده است. علاوه بر این طی یک مرحله کار میدانی در آذر ماه ۹۱ در بخش غربی کلوت‌ها برای مشاهده مستقیم تأثیرات کاوشی باد و تطبیق نتایج استفاده شده است. نرم‌افزارهای گرافیکی نظیر Freehand و Photoshop نیز برای پاک‌نویس، تلفیق و ترسیم نهایی نقشه‌ها و شکل‌های مرتبط به‌کار گرفته شده‌اند.

برای تحلیل مکان‌گزینی توده ریگ لوت، ابتدا شواهد جهت وزش بادهای قالب از طریق مورفولوژی کلوت‌ها و تپه‌های ماسه‌ای سطح ریگ و پیرامون آن تعیین شده است. برای این منظور از طریق مشاهده بصری عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالا نیمرخ عرضی و رو به باد تپه‌های ماسه‌ای مذکور ترسیم شده است. با توجه به اینکه دامنه کم شیب تپه‌های ماسه‌ای رو به باد و دامنه پرشیب آن‌ها پشت به باد غالب است و این ویژگی تقریباً در تمام تپه‌های ماسه‌ای صادق است، بنابراین از طریق این ویژگی جهت باد قالب در مجموعه ریگ لوت تعیین شده است. در این میان برخانه‌ها که در لوت و حواشی آن از گستردگی بسیار زیادی برخوردار می‌باشند، نمونه‌های شاخص و متمایزی برای تعیین جهات باد غالب در هر نقطه از ریگ به شمار می‌روند. برای کنترل راستای وزش باد غالب بر اساس مورفولوژی و نیمرخ موجود تصاویر با فواصل زمانی مختلف و در فصول متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و جهات باد غالب بر روی آن‌ها کنترل مجدد شده است. سپس بر اساس تیپ قالب اشکال ماسه‌ای

با استناد به مبانی نظری و شاخص‌های موثر در فرسایش بادی از آنجا که جهت حرکت ماسه برآیند راستای وزش باد است، بنابراین برقراری ارتباط لندفرم‌های در معرض فرسایش بادی در محدوده چاله لوت و پیرامون آن از جمله امتداد کلوت‌ها و نیمرخ نامتقارن تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند به خوبی راستای وزش باد غالب را نشان دهد. باد ذرات ماسه را از مناطق منشأ رفت و روب کرده و به سوی توده‌های ماسه‌ای منتقل می‌نماید (شکل ۴). مناطق منشأ را عموماً سازندهای کواترنری از جمله سطوح کلوت‌ها، دشت‌های آبرفتی، پادگانه‌ها و مخروط‌افکنه‌های پای-کوهی تشکیل می‌دهند.

یافته‌اند. در چنین شرایطی گرادیان دما می‌تواند موجب وزش همرفتی باد در این مناطق شده و در سرعت‌های بالا موجب نقل و انتقال و سرانجام تمرکز ماسه‌های بادی در مناطق خاصی شود. بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که در اکثر مناطق بیابانی ایران، حداکثر وزش بادها در دوره گرم سال که گرادیان حرارتی بیشتری بین این مناطق و مناطق عمدتاً کوهستانی اطراف وجود دارد روی می‌دهد. از آنجا که ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق مرکزی ایران از پراکندگی مناسبی برخوردار نیست از این‌رو نمی‌توان راستای وزش بادها را در آن مناطق از طریق ترسیم گل‌بادها بررسی و مشاهده نمود. بنابراین مورفولوژی لندفرم‌های بادی بهترین شاخص برای تعیین جهت باد غالب هر منطقه به شمار می‌رود (یمانی، ۱۳۸۱).

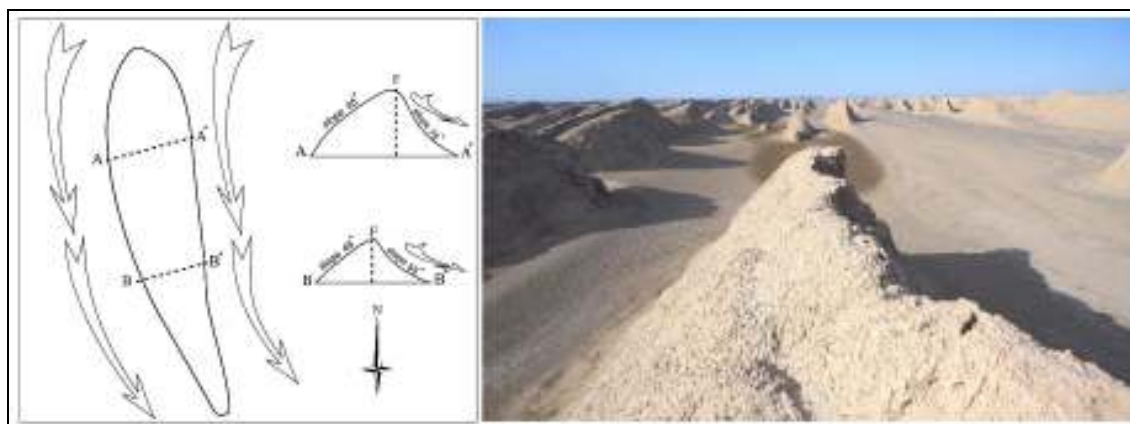


شکل (۴) جور شده‌گی ذرات درشت ریگ با قطر بیش از ۵ میلیمتر در کف کانال‌های بادی حد فاصل کلوت‌ها نشانگر قدرت کاوشی باد در قلمرو کلوت‌ها می‌باشد (بر اساس شاخص آزمایشگاهی در شکل ۲ سرعتی بیش از ۱۰۰ کیلومتر می‌تواند چنین ذراتی را منتقل نماید). بدیهی است ذرات ریزتر مانند سیلت و ماسه جدا شده و در نهایت توسط باد به ریگ بزرگ لوت منتقل می‌شوند و ذرات ریگ درشت‌دانه‌تر صرفاً به صورت غلطان جایجا شده و نمی‌توانند مسافت‌های زیادی را طی نمایند (عکس از حدود ۱۵ کیلومتری شرق شهداد گرفته شده است، آذر ماه ۱۳۹۱).

- مورفولوژی کلوت‌ها

مشخص‌ترین شکل کاوشی باد در دشت لوت، تپه‌های موازی و کشیده‌ای هستند که در اثر فرسایش باد و کانالیزه شده آن در راستای شمال‌غربی به جنوب‌غربی تشکیل شده و نیمه غربی چاله لوت را پوشش داده‌اند. مورفولوژی عمومی این لندفرم به گونه‌ای منظم و زیباست که آن را در سطح جهان بی‌نظیر ساخته است. داده‌های رسوب‌شناسی نشان می‌دهد که کلوت‌ها منشأ پلایا دارند. از لحاظ سنگ‌شناسی جنس آن‌ها از رس، ژئیس و نمک با تناوبی از لایه‌های سیلت و ماسه با چین‌بندی افقی است. پلایای مذکور پس از خشک شدن طی کواترنری تحت‌تاثیر کاوش بادی

قرار گرفته و مورفولوژی کنونی را به وجود آورده است. نکته مهم آن است که نیمرخ عرضی کلوت‌ها نامتقارن و غالباً تحدب اندکی را به سمت غرب نشان می‌دهند (شکل ۵). به نظر می‌رسد عدم تقارن کلوت‌ها نتیجه وزش چرخشی بادها با تحدب غربی است. این چرخش قوسی شکل، باعث شده است که دامنه شرقی هر یک از کلوت‌ها تحت تأثیر کاوش بادی بیش از دامنه غربی آن‌ها فرسایش یافته و شیب بیشتری پیدا کند. عدم تقارن شیب دامنه‌ها کلوت‌ها می‌تواند وزش هم‌گرای بادها را در راستای یک سامانه کم فشار توجیه نماید.



شکل ۵: راستای عمومی وزش بادهای سطح زمین با تمایل شرقی در قلمرو کلوت‌های دشت لوت موجب عدم تقارن شیب دامنه‌های غربی و شرقی کلوت‌ها شده است (مانند برش عرضی بال هواپیما).

- مورفومتری پهنه‌های ماسه‌ای در ریگ لوت

اگر توده ماسه‌ای بزرگ لوت را به عنوان یک واحد لندفرمی قلمداد نمایم، مجموعه ریگ لوت به ۸ پهنه از نظر تنوع مورفولوژیکی اشکال ماسه‌ای قابل تفکیک

است. شکل ۹ این پهنه‌ها را از شمال به جنوب به شرح زیر نشان می‌دهد.
A: رشته‌های طولی و موازی که بسیار کم ارتفاع و باریک بوده و نظم زیادی را در راستای وزش باد نشان

می‌دهند.

اختصاص دارد.

- رشته‌های طولی هلالی شکل حجیم در سطح ریگ لوت که چرخش جهت باد را به ترتیب از جنوب شرق و سپس از سوی مشرق و سرانجام از سمت شمال شرق نشان می‌دهند. تنها بخشی از ریگ لوت است که مورفومتری این تپه‌های ماسه‌ای هلالی شکل چرخش جریان باد را در یک محدوده نسبتاً کوچک به نمایش گذاشته‌اند.

H: این پهنه تحت پوشش نمونه‌های متفاوتی از تپه‌های شبه برخان و برخان‌های کم ارتفاع است. وزش بادهای جنوبی و به همراه بادهای غربی که از بخش جنوبی کلوت‌ها وزیده و تحت شرایط همگرایی بخش مرکزی لوت به سمت شرق متمایل می‌گردند، موجب بی‌نظمی در مورفولوژی این تپه‌های ماسه‌ای می‌شوند.

C: رشته‌های موازی حجیم که جهت جنوب شرقی را برای وزش باد تعیین می‌کنند.

همان‌گونه که در شکل (۶) دیده می‌شود در توده ماسه‌ای لوت و پهنه‌های پیرامون آن انواع گوناگونی از تپه‌های ماسه‌ای تشکیل شده است که از تنوع زیادی برخوردار هستند. نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای ذکر شده و پراکندگی و موقعیت آن‌ها در سطح ریگ، می‌تواند مشخص‌کننده ویژگی‌های دینامیکی باد و فرایندهای تشکیل‌دهنده آن باشد. این ویژگی مهم‌ترین موضوعی است که می‌تواند در دستیابی به اهداف این پژوهش نتیجه بخش باشد.

D: رشته‌های طولی مرتفع در بخش مرکزی ریگ که طول آن‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها زیاد بوده و از جنوب به سمت شمال با یک تحدب جنوب شرقی، چرخشی را به سمت چاله مرکزی نشان می‌دهند.

E: برخان‌های مرکب حاشیه شرقی ریگ لوت که با توجه به تراکم زیاد آن‌ها نمونه بسیار زیبایی از برخان‌های فعال را به نمایش گذاشته‌اند. شکل کلی این تپه‌ها به گونه‌ای است که پرواز دسته جمعی پرندگان را تداعی می‌کند.

- تعیین جهات باد غالب در ریگ لوت

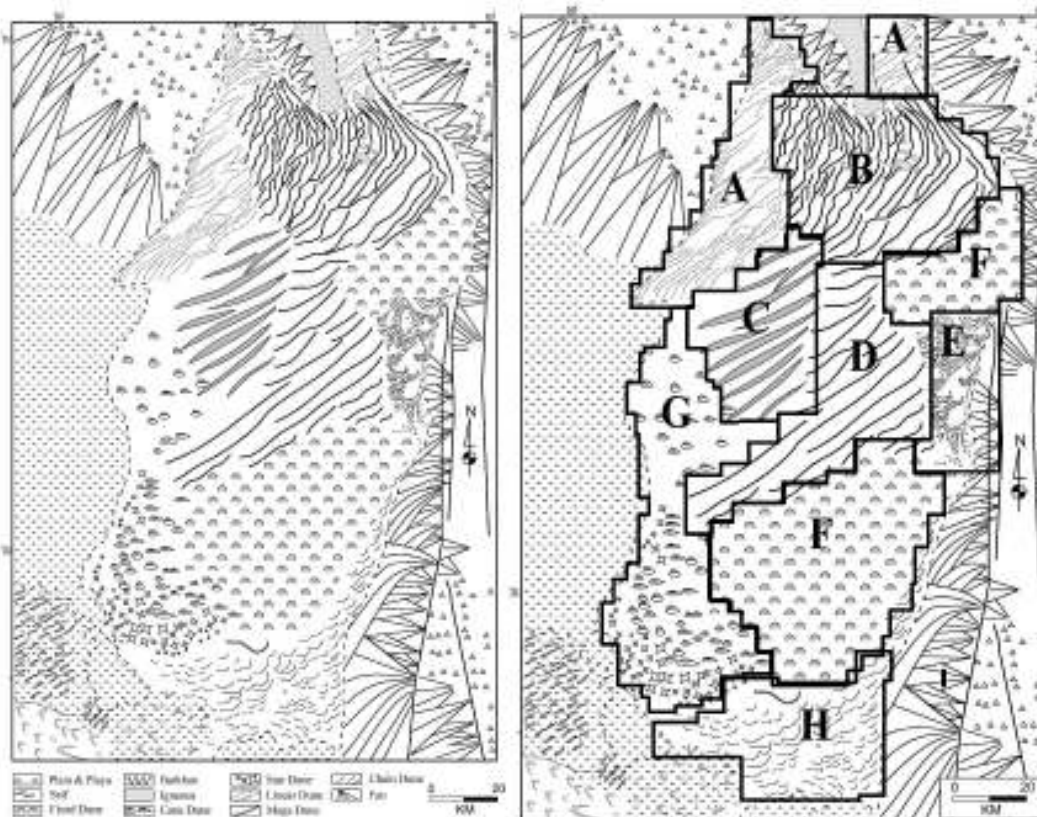
F: تپه‌های شلجمی شکل مرتفع که همانند تپه‌های ماسه‌ای گروه D رشته‌هایی موازی با تحدب جنوب شرقی را تشکیل داده‌اند. آنچه مسلم است این تپه‌ها وزش بادی منظم و پایدار را نشان می‌دهند که از سرعت‌های با آستانه بسیار بالا برخوردار است.

مسلم است که تغییر شکل و مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در درجه اول تابع جهات وزش باد است و برخان‌ها تحت تأثیر یک باد غالب و پایدار تشکیل می‌شوند و در راستای آن حرکت دارند. سیف‌ها یا تپه‌های موازی تحت تأثیر بادهایی با دو راستای مشخص تشکیل می‌شوند، با این تفاوت، بادی که عمود یا بر سیف است از سرعت و فراوانی بالاتری برخوردار بوده و باد درجه دوم بادی است که با زاویه بسته‌ای نسبت به امتداد طولی آن می‌وزد. همچنین

G: پهنه تحت پوشش تپه‌های ستاره‌ای شکل و تپه‌های قیفی یا دوکی شکل که موید حکمت همگرا و صعودی باد در این بخش می‌باشند. بلندترین نمونه تپه‌های ماسه‌ای منفرد در محدوده ریگ لوت به این دو نمونه

مبانی نظری است، می‌توان الگوی وزش بادهای را در این توده ماسه‌ای تعیین و بازسازی نمود.

تپه‌های ستاره‌ای یا قیفی شکل در نقاطی استقرار می‌یابند که بادهای وزش نسبتاً همگرا و صعودی داشته باشند. بنابراین با استناد به این واقعیت‌ها که مبتنی بر



شکل (۶) مورفولوژی عمومی پهنه ریگ لوت و پهنه بندی لندفرمی اشکال تپه‌های ماسه‌ای سطح آن

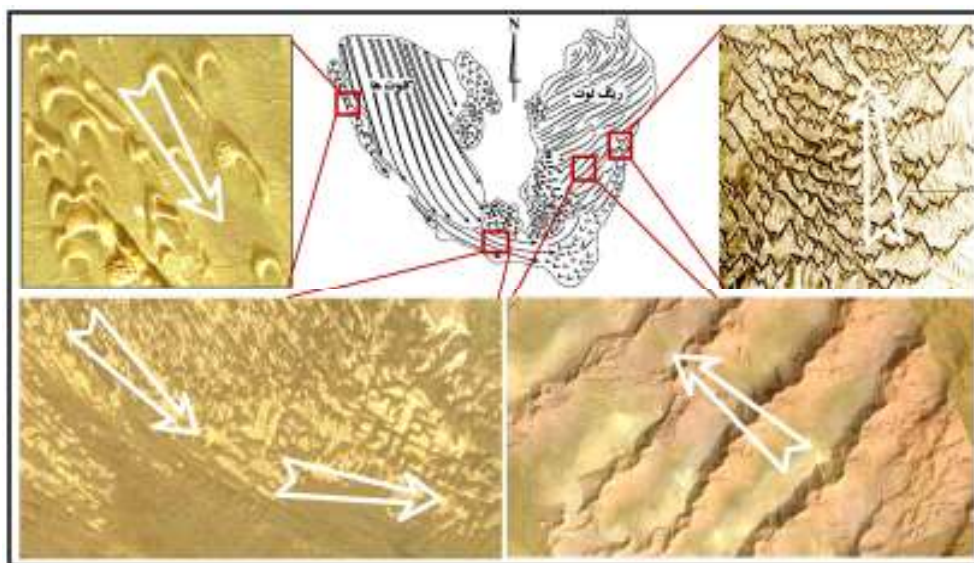
چاله جنوبی دشت لوت نیز تحذب برخانها جهت وزش باد غربی را نشان می‌دهند. در امتداد جنوب غربی نیز گروهی از تپه‌های ماسه‌ای طولی و نیز برخانهای متوالی وجود دارد که راستای وزش جنوب غربی را نشان می‌دهند. در نیمه جنوب شرقی ریگ نیز گروهی از برخانها راستای وزش باد جنوبی را نشان می‌دهند و بالاخره در توده ریگ اصلی چرخش جهت وزش از جنوب شرقی به شمال غربی به خوبی دیده می‌شود (شکل ۱۰).

- جهت باد غالب در حاشیه لوت

بر اساس مشاهدات غیرمستقیم از طریق عکس‌های هوایی مقیاس بزرگ و نیز تصاویر ماهواره‌ای، جهات وزش بادهای غالب در سرتاسر دشت لوت به دست آمده است. در بخش شرقی و جنوبی کلوت‌ها برخانهایی با تحذب شمال غربی قرار گرفته‌اند. این برخانها به طور کاملاً مشخصی وزش باد غالب را از راستای شمال غرب نشان می‌دهند (شکل ۸). در فاصله اندکی در جنوب این کلوت‌ها یعنی در بخش شمالی

سمت نقطه‌ای در چاله مرکزی و حد فاصل ریگ و کلوت‌های لوت بسته می‌شوند. در این نقطه به یکباره شیب رو به باد تپه‌های ماسه‌ای معکوس می‌گردد. شکل ۷ وزش بادهای غالب منطقه را با استناد به مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای موجود در پیرامون ریگ لوت به وسیله علامت فلش نشان می‌دهد.

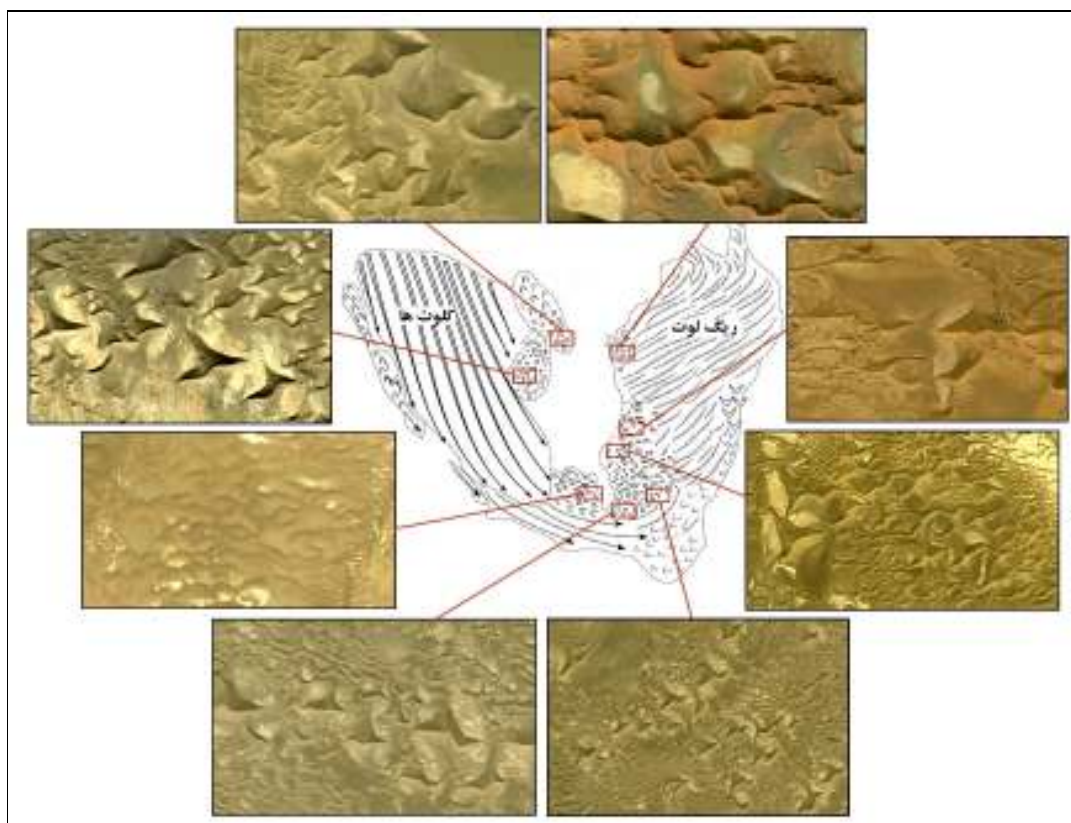
حتی در بخش شمالی توده ریگ لوت از راستا و مورفولوژی تپه‌های سطح ریگ که امتداد طولی مشخصی را عمود بر جهت وزش بادهای غالب نشان می‌دهند، می‌توان وزش بادهای شرقی و شمال شرقی را بازسازی نمود. نکته جالب توجه آن است که این امتدادهای وزش تا بلندای ریگ لوت و درست به



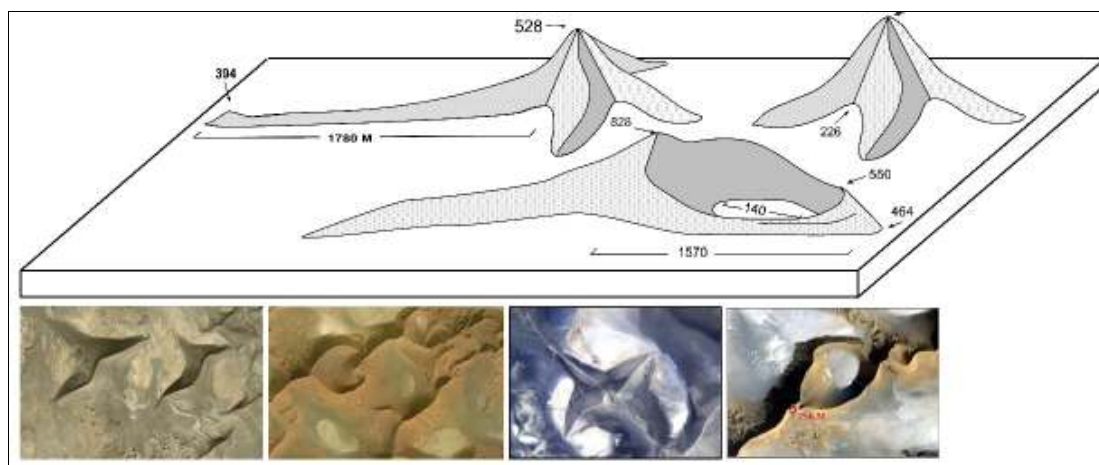
شکل (۷) برخانها و تپه‌های موازی در حاشیه پیرامونی کلوت‌ها و ریگ لوت که چرخش دایره‌ای شکل باد غالب را در حاشیه دشت لوت نشان می‌دهند.

بودن باد و حالت چرخشی و گردبادی آن منجر به تشکیل تپه‌های قیفی شکل می‌شود. چنانچه موقعیت این نوع تپه‌های ماسه‌ای را در مجموعه ریگ لوت و حاشیه غربی کلوت‌ها بررسی کنیم صرفاً در بخش مرکزی استقرار یافته‌اند. شکل ۸ نیز مورفومتری نمونه‌های شاخص این نوع تپه‌های ماسه‌ای را نشان می‌دهد.

– جهت وزش بادها در بخش مرکزی لوت
شکل ۱۱ انواع تپه‌های ستاره‌ای شکل و نمونه‌های قیفی شکل را که در محیط داخلی و متمایل به مرکز دشت لوت قرار دارند نشان می‌دهد. همان گونه که قبلاً گفته شد، هرم‌های ماسه‌ای، تپه‌های ستاره‌ای شکل و نمونه‌های قیفی شکل در مکان‌هایی تشکیل می‌شوند که بادها راستای همگرا و تا حدی صعودی داشته و از جهات متفاوتی می‌وزند. ویژگی همگرا



شکل (۸) موقعیت انواع تپه‌های ماسه‌ای در بخش مرکزی منطقه فرسایش بادی دیده می‌شود. در محدوده‌های مشخص شده در بخش مرکزی لوت، صرفاً تپه‌های ماسه‌ای مرتفع و تقریباً پایداری نظیر تپه‌های ستاره‌ای شکل، مخروطی شکل و هرم‌های ماسه‌ای که حجیم و مرتفع بوده و در نتیجه جریان همگرا و صعودی باد تکوین می‌یابند استقرار یافته‌اند.

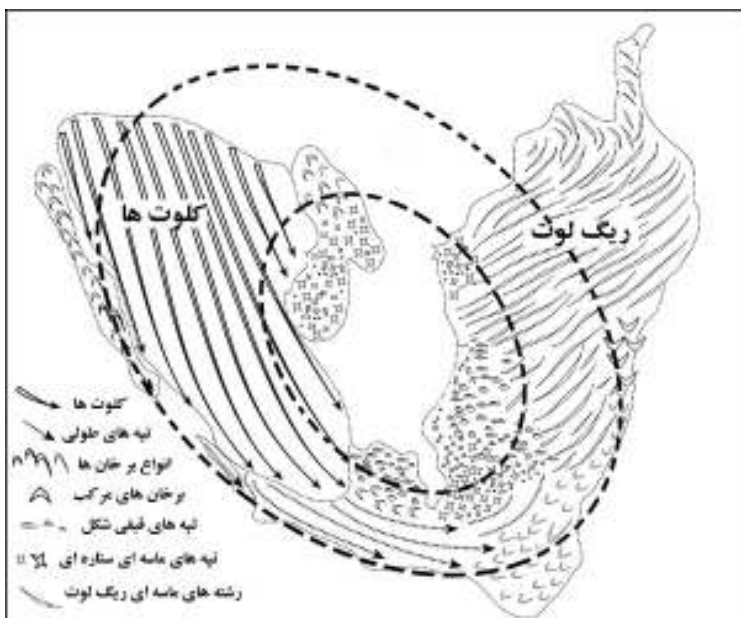


شکل (۹) مورفومتری دو نمونه شاخص از بلندترین تپه‌های ماسه‌ای موجود در بخش مرکزی لوت (برحسب متر)

- نتیجه گیری

در مناطق خشک مرکزی ایران گرادیان فشار علاوه بر خشکی محیط عمدتاً تابع ارتفاع است. به عبارتی پست‌ترین نقاط چاله‌های مرکزی از دمای بالاتری نسبت به پیرامون خود برخوردارند. بنابراین صعود بی‌دررو هوا در این نقاط روی داده و گرادیان فشار بین این نقاط و مناطق کوهستانی و مرتفع پیرامون آن‌ها موجب تشکیل یک سلول کم فشار همرفتی می‌گردد. در اثر این ناپایداری محلی و تحت تأثیر شرایط فصلی، حداکثر گرادیان حرارتی در دوره گرم سال که از شرایط دمایی بالاتری برخوردار است روی می‌دهد. از این رو بادها در این فصول قوی‌تر بوده و ماسه‌های بادی نیز با حجم بیشتری منتقل می‌گردند. همان‌گونه که در بخش تجزیه و تحلیل اشاره شد، ریگ لوت، درست در راستای باد غالب شمال غربی در سطح زمین پس از رفت و روب سطح دشت لوت

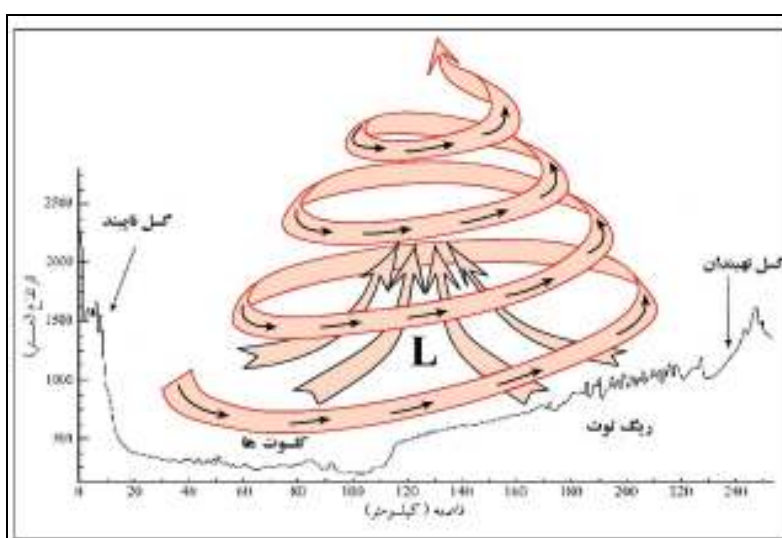
و تخریب و کاوش کلوت‌ها، ذرات ماسه را به صورت اشکال ماسه‌ای در امتداد وزش باد به سمت جنوب منتقل می‌کند. این ذرات قبل از رسیدن به حوضه انتهایی دشت لوت، تحت تأثیر باد غالبی که از جنوب غربی می‌وزد به سمت شمال شرقی تغییر مسیر داده، در محل کنونی ریگ در جنوب شرقی چاله لوت انباشته می‌گردند. علت اصلی تراکم ماسه در این بخش، همگرایی وزش بادها به سوی این نقطه می‌باشد. همان‌گونه که قبلاً تشریح گردید، الگوی تپه‌های ماسه‌ای و مورفولوژی آن‌ها، استقرار یک سامانه کم فشار همرفتی را به خوبی نشان می‌دهد. اگر طبق شکل ۱۰ دوایر متحدالمرکزی بر روی قلمرو فرسایش بادی لوت ترسیم نماییم، سه قلمرو مشخص و متحدالمرکزی می‌توان بر روی این محدوده قرار داده و الگوی ویژه‌ای را بازسازی نمود.



شکل (۱۰) ترسیم دوایر منطبق با پهنه‌های اشکال فرسایش بادی در محدوده چاله لوت

زمین به شکل همگرا و در جهت عکس عقربه‌ای ساعت به وضوح قابل بازسازی است. اگر نیم‌رخ از این سامانه ناپایدار ترسیم نمایم حرکت همگرای باد به سمت بخش میانی جریان و صعود آن در مرکز با فرایند تشکیل تپه‌های ماسه‌ای محدوده ریگ لوت انطباق کاملی پیدا می‌نماید (شکل ۱۴).

مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در محدوده سه بخشی که در شکل ۱۱۳ و پیرامون دوایر ترسیم شده نشان داده شده است، با شرایط وزش بادهای غالب و فرایند تشکیل هر یک از نمونه‌های تپه‌های ماسه‌ای انطباق دارد. اگر این دوایر را با یک الگوی کم فشار حرارتی مانند شکل ۱۴ مطابقت دهیم نتایج حاصله بسیار معنی‌دار خواهد بود. در این الگو، حرکت باد در سطح



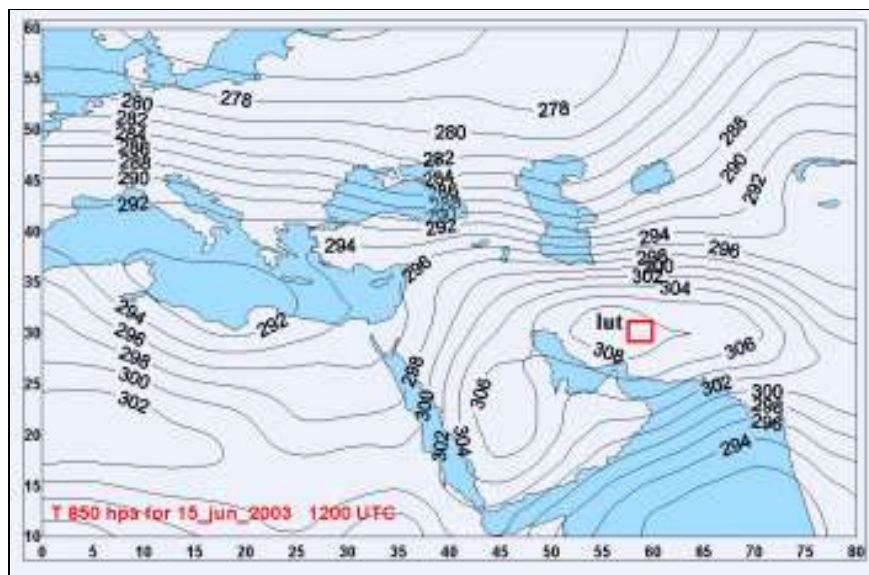
شکل (۱۱) موقعیت کم فشار همرفتی در روی چاله لوت را نشان می‌دهد. چرخش دورانی باد در قالب این جریان همرفتی به سوی شرق و در حاشیه لوت موجب می‌شود که در غرب لوت یعنی محل کلوت‌ها برداشت و کاوش بادی انجام گرفته و با ارتفاع گرفتن جریان از سطح زمین، ماسه‌ها را در شرق و در محل ریگ لوت روی هم انباشته نماید. این جریان چرخشی در بخش مرکزی خود جریان همگرایی را ایجاد می‌کند که در حرکت خود به سمت مرکز و در نتیجه ناپایداری و صعود باعث تشکیل هرم‌ها و تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای شکل در بخش مرکزی می‌گردد.

بخش مرکزی می‌باشد. در حالی که جریان دوم به صورت وزش همگرا و همزمان چرخش دورانی آن موجب ناپایداری شدید در بخش مرکزی این سامانه می‌شود. این جریان در حین چرخش همگرا به سوی مرکز به تدریج صعود کرده و تپه‌های قیفی شکل و هرم‌های ماسه‌ای را که بسیار هم مرتفع هستند در بخش مرکزی لوت شکل می‌دهند. اگر مجدداً شکل

آنچه مهم است در این سامانه همرفتی دو جریان باد قابل تفکیک است. یکی جریان بادی است که در پیرامون این سامانه حرکت افقی و همگرا داشته و نتیجه آن حرکت ماسه‌ها در سطح زمین و در حاشیه لوت، بزرگ‌ترین محیط این سامانه را طی می‌کند. بنابراین ارتفاع تپه‌های ماسه‌ای به ویژه ریخان‌ها در حاشیه این سامانه به مراتب کم ارتفاع تر از تپه‌های

بنابراین با توجه به گرمای شدید در این قلمرو به ویژه در تابستان‌ها این سامانه محلی حرارتی تابستانی در مرکز لوت حاکمیت یافته و تحت تأثیر آن سرعت باد در دوره گرم سال از شرایط استثنایی برخوردار می‌شود. این سامانه همرفتی ناپایدار که حرکتی برخلاف عقربه‌های ساعت دارد، موجب می‌شود که جریان بادهای به شکل حلزونی و به حالت ناپایدار از سطح زمین فاصله گرفته و با رسیدن به بخش شرقی لوت یعنی در محل ریگ لوت ماسه‌های حمل شده را به تدریج رها کرده و در بخش شمالی ریگ باقی‌گذارد. از طرفی ناپایداری جریان همگرای مرکزی نیز که بر روی بخش میانی لوت استقرار دارد به اوج خود رسیده و با حرکت تقریباً صعودی خود حمل افقی ماسه را کاهش داده و به صورت تپه‌های ماسه‌ای مرتفع متمرکز می‌کند.

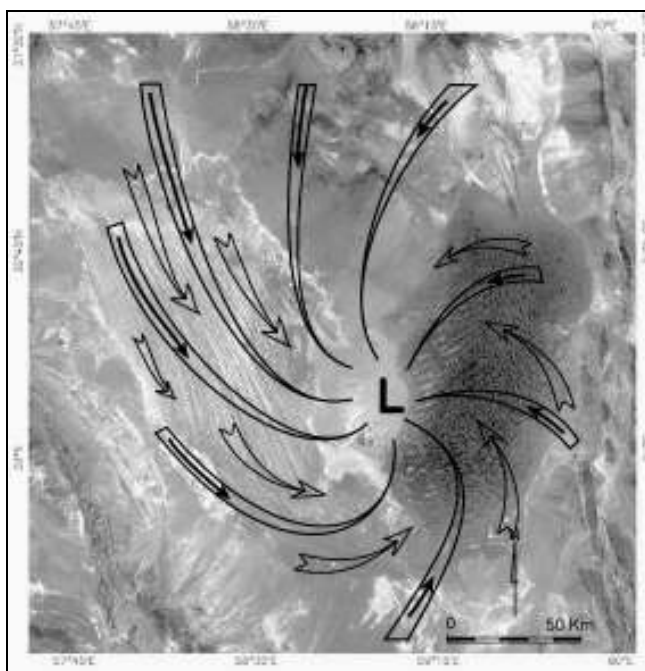
۱۳ را نظاره کنیم، تقریباً تمام هرم‌های ماسه‌ای، تپه‌های مرتفع قیفی شکل و تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای شکل در دایره مرکزی یعنی جایی که حرکت باد حالت همگرا و صعودی دارد تشکیل شده‌اند. شکل ۱۵ هر چند کوچک مقیاس است، لیکن موقعیت محدوده چاله لوت را بر روی نقشه فشار ۸۵۰ هکتوپاسکال منطقه خاورمیانه نشان می‌دهد. همان گونه که در شکل ۱۲ دیده می‌شود، انطباق مرکز کم فشار بر روی لوت در تابستان‌ها می‌تواند سامانه کم فشار حرارتی زیر خود را که بر روی چاله لوت استقرار دارد تقویت نموده و بر ناپایداری آن افزوده و سرعت بادهای را بسیار افزایش دهد. گذشته از سیستم‌های کم فشار عمومی، از آنجا که چاله لوت پست‌ترین نقطه مرکزی ایران بوده و طبق گزارش‌ها (علوی پناه، ۱۳۸۱) گرم‌ترین نقطه زمین نیز می‌باشد.



شکل (۱۲) نقشه هم فشار ۸۵۰ هکتوپاسکالی که مرکز آن بر روی چاله لوت قرار گرفته است. به نظر می‌رسد قرار گرفتن این سامانه‌ها بر روی لوت می‌تواند، سامانه همرفتی تابستانی را در زیر خود تقویت نموده و فرسایش بادی را در دوره گرم سال شدت بخشد.

مرکزی دشت لوت و تقریباً حدفاصل حاشیه غربی ریگ و مشرق کلوت‌های لوت استنباط نمود. شکل ۱۳ موقعیت تقریبی این مرکز را بر روی چاله لوت نشان می‌دهد. بدیهی است امتداد ناهمواری‌های حاشیه چاله لوت در هدایت، شکل‌گیری و انسجام این سامانه بی تأثیر نیست.

در مجموع ریگ لوت در مقیاس ایران شاخص‌ترین نمونه از نظر تنوع مورفومتری تپه‌های ماسه‌ای است. این تنوع مورفومتری یک به خوبی چرخش باد را در مجموعه لوت به نمایش گذاشته است. بنابراین با یک دید کلی و با توجه به جهات وزش باد و نیز جهات نقل و انتقال ماسه در سطح دشت لوت می‌توان وجود یک همگرایی را در وزش بادها به سوی نقطه



شکل (۱۳) الگوی فضایی سامانه کم فشار همرفتی استقرار یافته بر روی لوت با استناد به مورفولوژی ماسه‌های بادی و امتداد طولی کلوت‌ها

علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۱)، مطالعه پدیده‌های سطحی حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره، نشریه بیابان، شماره ۲، صص ۶۷ - ۷۹.

علوی پناه، سید کاظم (۱۳۸۳)، بررسی منابع آب سطح‌الارضی کلوت‌های بیابان لوت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۷، صص ۶۹-۴۷.

منابع

رفاهی، حسینقلی (۱۳۸۰)، فرسایش بادی و کنترل آن، چاپ دوم، دانشگاه تهران، ۳۲۰ ص.

سازمان نقشه برداری کشور (۱۳۷۶)، اطلس ملی ایران، برگ نقشه ژئومورفولوژی مقیاس ۱:۲۰۰۰/۰۰۰.

سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۴)، نقشه زمین شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ‌های کرمان و رفسنجان.

یمانی، مجتبی و سمیه ذهاب، (۱۳۹۰)، بررسی مورفومتری و علل استقرار ریگ کرمان از طریق تحلیل ویژگی های باد و دانه سنجی ذرات ماسه، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۴.

یمانی، مجتبی و فریبا کرمی (۱۳۹۰)، فرآیند های غالب در تشکیل و تحول مورفولوژی توده‌های ماسه‌ای جلگه خوزستان (مطالعه موردی: ریگ شمال اهواز)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۲.

یمانی، مجتبی (۱۳۷۹)، ارتباط قطر ذرات ماسه و فراوانی سرعت های آستانه باد در منطقه بند ریگ کاشان، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸، صص ۱۱۵-۱۳۲.

یمانی، مجتبی (۱۳۸۱)، نقش سلول‌های کم فشار محلی در استقرار مجموعه‌های ماسه‌ای ایران (بندریگ کاشان)، مدرس، دوره ۶، شماره ۴.

یمانی، مجتبی، (۱۳۸۳)، شواهد ژئومورفولوژیکی تحولات اقلیمی در چاله مسیله، طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران.

Bagnold, R. A. 1941. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes London, Chapman and Hall.

Bagnold, R. A. 1941: The physics of blown sand and desert dunes London: Methuen.

Berberian 1977. Against the rigidity of the lut block. Geol.Surv.Iran 203-227.1977

Blumberg, D. G., and Greeley, R. (1993), Field studies of aerodynamic roughness. J. Arid Environ. 25:39-48.

Bolten, A., Bubenzer, O., 2006. New elevation data (SRTM/ASTER) for Geomorphological and geoarchaeological research in arid regions. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband 142, 265-279.

Breed, C. S., and Grow, T. (1979), Morphology and distribution of dunes in sand seas observed by remote sensing. In A study of Global Sand Seas (E. D. McKee, Ed.), USGS, United States Department of Interior, Washington,

کردوانی، پرویز (۱۳۵۰)، نمونه‌هایی از خاک های بخش شهداد، گزارش های جغرافیایی، موسسه جغرافیا، دانشگاه تهران، شماره ۶، ص ۹۱.

محمودی، فرج الله (۱۳۸۱)، پراکنندگی جغرافیایی ریگزارهای مهم ایران، چاپ اول، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۸۷ ص.

محمودی، فرج اله (۱۳۵۴)، شبکه آب های روان دشت لوت، گزارش های جغرافیایی، موسسه جغرافیا، دانشگاه تهران.

محمودی، فرج اله (۱۳۶۷)، تحول ناهمواری های ایران در کواترن، پژوهش‌های جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۲۳، صص ۷-۴۸.

معتمد، احمد، (۱۳۶۷)، بررسی منشأ و نحوه انتشار ماسه در حوضه شمال کاشان، طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران.

مشهدی ناصر، سید کاظم علوی پناه، حسن احمدی (۱۳۸۱)، مطالعه ژئومورفولوژی یار دانگ های لوت، بیابان، جلد ۷، شماره ۲.

معماریان خلیل آباد، هادی (۱۳۸۳)، منشأ یابی رخساره‌های فرسایش بادی و روش‌های کنترل آن (مطالعه موردی: منطقه رفسنجان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

مستوفی، احمد ۱۳۴۸، لوت زنگی احمد، گزارش های جغرافیایی، موسسه جغرافیا، دانشگاه تهران، صص ۲۵-۲۷.

مقصودی، مهران (۱۳۸۵)، شناخت فرایندهای موثر بر توسعه و تحول عوارض ماسه‌ای (مطالعه موردی عوارض ماسه‌ای چاله جازموریان)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۶، صص ۱۶۰-۱۴۹.

موسوی حرمی، رضا (۱۳۸۰)، رسوب شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ هفتم، ۴۷۴ ص.

- quantification of Pleistocene megadunes (draa) in the eastern Sahara and the southern Namib, Press, Beijing, pp. 121–146. Sun, W., Zeng, Q., 1997. A study of environment change in area of Heihe River. *Journal of Desert Research* 7 (2), 149–153.
- Stocklin, J., Eftekhari-Nezhad, J., Hushmandzadeh, A. 1972. Central Lut reconnaissance, East Iran. *GeosURV.Rep.No.22*
- Sun, P., Sun, Q., 1964. The hydrological geology of the western Inner Mongolia. *Research of Desert Control, Series 6. Science*
- Tan, J., 1964. The types of deserts in the Alashan Plateau, Inner Mongolia. *Geographical Collections, Series 8. Science Press, Beijing*, pp. 43–52.
- Thomas, D. S. G. (1989), *Arid Zone Geomorphology*, Halsted and Belhaven Press, London, pp. 232–261.
- Tsoar, H., Blumberg, D.G., Stoler, Y., 2004. Elongation and migration of sand dunes. *Geomorphology* 57, 293–302.
- Walker, A. S. (1986). Chapter 8: Plate E-19. In M. Nicholas, S. Short, J. Robert, & W. Blair (Eds.), *Geomorphology from Space: NASA*
<http://daac.gsfc.nasa.gov/geomorphology/index.shtml> 3293 A.H. Ehsani, F. Quiel / *Remote Sensing of Environment* 112 (2008) 3284–3294
- Wells, S.G., McFadden, L.D., Schulz, J.D., 1990. Eolian landscape evolution and soil formation in the Chaco Dune field southern Colorado Plateau, New Mexico, *Geomorphology* 517–546
- Xunming Wang, Zhibao Dong, Jiawu Zhang, Guangting Chen 2001. *Geomorphology of sand dunes in the Northeast Taklimakan Desert. Geomorphology* 42 (2002) 183–195
- Zhu, Z., Hofmann, J., Jakel, D., 1992. The Map of Aeolian Landform in Badain Jaran Desert (1:500,000). Xian Cartographic Publishing House, Xian.
- Zhu, Z.D., Wu, Z., Liu, S., Di, X.M., 1980. *Deserts in China. Science Press, Beijing*, pp 107 pp .
- Chawla, S., Dhir, R.P. & Singhvi, A.K. (1992). Thermoluminescence chronology of sand profiles in the Thar desert and their implications. *Quaternary Science Reviews*, 11: 25–32.
- Gabriel, A. (1938). The southern Lut and Iranian Baluchistan. *Geographical Journal*, 92, 193–208.
- Greeley, R., and Iversen, J. (1985), *Wind as a Geological Process*, Cambridge University Press, New York, 333 pp .
- Guo, H., Liu, H., Wang, X., 2000. Subsurface old drainage detection and palaeoenvironment analysis using spaceborne radar images in Alashan Plateau. *Science in China (D)* 43, 439–448.
- Ian Livingstone, Giles F.S. Wiggs, Corinne M. Weaver, *Geomorphology of desert sand dunes: A review of recent progress Earth-Science Reviews* 80 (2007) 239–257
- Lancaster, N., 1995, *Geomorphology of Desert Dunes*, Routledge, London, 290 pp.
- Lancaster, N., Gaddis, L., and Greeley, R., 1992, *New airborne imaging radar observations of sand dunes: Kelso Dunes, California. Remote Sens. Environ.* 39:233–238.
- Lou, T., 1962. The formation and utilization of the desert between Minqing and Badain Monastery. *Research of Desert Control, Series 3. Science Press, Beijing*, pp. 90–95.
- Matthew W. Becker, Ashish Daw 2005. Influence of lake morphology and clarity on water surface temperature as measured by EOS ASTER. *Remote sensing of Environment* pages 288–294
- McKee, Edwin. 1979. An introduction to the study of global sand seas. In *A Study of Global Sand Seas*, E. McKee, ed., pp. 1–20. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1052.
- McKee, Edwin. 1979. An introduction to the study of global sand seas. In *A Study of Global Sand Seas*, E. McKee, ed., pp. 1–20. Washington, U. S. Geological Survey Paper 1052.
- Olaf Bubenzer, Andreas Bolten. 2008, *The use of new elevation data (SRTM/ASTER) for the detection and morphometric*