اشکال و فرایندهای بادی در نواحی بیابانی

ترجمه: سیاوش شایان

قسمت اول

عمل فرایندهای بادی محتاج شرایط خاصی است. نخستین شرط لازم وجود آتمسفر (جو) است. بدون وجود آتمسفر، عمل باد وجود نخواهد داشت. به عنوان مثال در ماه آتمسفر وجود ندارد و اشکال بادی در آن ناشناخته‌اند. ولی در مریخ که فشار جوی آن فقط ۱ تا ۲ درصد فشار جوی زمین است، تپه‌های ماسه‌ای شناسایی شده‌اند و در حقیقت براساس چگونگی جهت‌گیری این تپه‌های ماسه‌ای درمورد گردش آتمسفر در مریخ می‌توان برخی نتیجه‌گیریهایی انجام داد. آتمسفر مریخ عمدتاً" از دی‌اکسید کربن تشکیل شده که گازی متراکم است و این گاز می‌تواند در جابجایی ذرات در سطح مریخ موثر باشد.

درحقیقت هنگامی که مارینر ۹ به مریخ رسید، طوفان ماسه‌ای شدیدی سیاره مذکور را در برگرفته و آنرا غباری زردرنگ پوشانیده بود و برای مدتی حداقل یک ماهه، رویت سطح مریخ امکان‌پذیر نبود.

دومین شرط لازم برای عمل فرایندهای بادی آنست که رویش‌های گیاهی منطقه خشک باشند. باد نمی‌تواند عامل موثری باشد مگر آنکه به سطح زمین حمله کند و اگر این سطح پوشیده از رویش‌های گیاهی باشد، این گیاهان با ریشه‌های خود خاک را نگهداشته و بخشی از گیاه که در بالای سطح زمین قرار دارد، ناهمواری ایجاد کرده و سرعت باد را تقلیل می‌دهد.

۱ـ محیط‌های بادی

حدود ۳۶ درصد از سطح خشکی‌های جهان درگروه سوانهای خشک، مناطق نیمه کم‌آب و کم‌آب قرارگرفته‌اند. ۱۹ درصد از سطح خشکی‌های جهان، مناطق کم‌آب (خشک) بوده و عمدتاً" عاری از رویش‌های گیاهی است و از این میزان، بین $\frac{1}{6}$ تا $\frac{1}{4}$ پوشیده از ماسه‌های روان است (کوک و وارن[1]، ۱۹۷۳). ویلسن[2] (۱۹۷۰) نشان داده‌اند که تمام این ماسه‌های روان بالقوه، شامل "دریاهای ماسه‌ای" منفرد یا "ارگ‌ها" هستند (ارگ در زبان عربی به معنای "منطقه تغییر مکان ماسه" است) که این دریاهای ماسه‌ای بزرگتر از ۱۲۵ کیلومتر مربع مساحت داشته و ۸۵ درصد این ماسه‌های روان مساحتی بیش از ۳۲،۰۰۰ کیلومترمربع را پوشانیده‌اند. بزرگترین ارگ "ربع الخالی" در عربستان است (با مساحت ۵۶۰،۰۰۰ کیلومترمربع) و ابعاد ارگ مودال حدود ۱۸۸،۰۰۰ کیلومترمربع است[3].

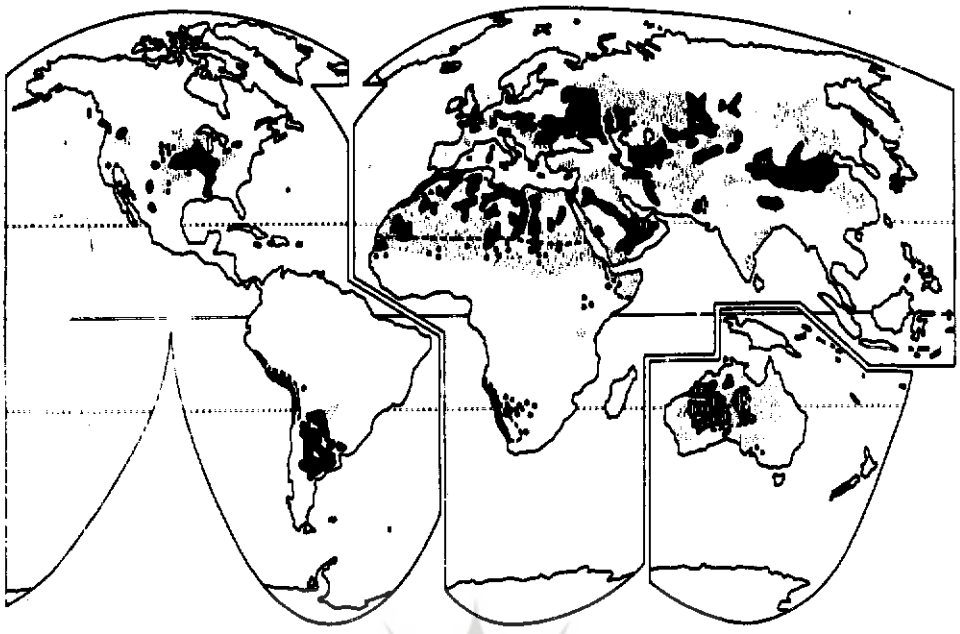
غالب بیابان‌های ماسه‌ای، با سلولهای فشار زیاد جنب حاره‌ای منطبق‌اند و در بین عرض‌های جغرافیایی ۱۰ درجه و ۳۳ درجه قرار دارند. از آن میان مناطق داخلی آسیایی ترکستان و گوبی استثناء می‌باشند که دور از تأثیر شرایط دریایی قرار داشته و در زمستان تحت تأثیر مراکز فشار زیاد قرار می‌گیرند. برخی بیابان‌های ماسه‌ای در ارتفاعات زیاد واقعند (مثل بخش‌هایی از شیلی و ترکستان شوروی) و در زمستان ممکن است بسیار سرد شوند[4]. مناطقی که امروزه تحت سلطه ماسه‌های روان می‌باشند عمدتاً" بر خط هم باران ۱۵۰ میلی‌متر منطبق بوده و در محیط‌های زمین‌ساختی متفاوتی قرار دارند از جمله این محیط‌های زمین‌ساختی، سپر مقاوم صحرا و یا حوضه‌های گسلی جنوب غربی ایالات متحده می‌باشد. در مناطق مرطوب رویش‌های گیاهی وجود دارد و آثار تپه‌های ماسه‌ای تثبیت شده را در آنها می‌توان دید. این امر حاکی از تغییرات اقلیمی است (مثل تپه‌های ماسه‌ای نبراسکا، کمربند وسیعی در جنوب صحرا و بوتسوانا). (رجوع کنید به نقشه پراکندگی جهان تپه‌های ماسه‌ای فعال).

منشاء بیابان‌های ماسه‌ای عبارتند از: مجاری آبهای موقتی و سایر نهشته‌های رودخانه‌ای، نهشته‌های ساحلی، تپه‌های ماسه‌ای قدیمی‌تر، هوازدگی درماسه‌سنگها و دیگر سنگهای دانه‌ای سیلیس‌دار.

فرایندهای بادی با حمل و نقل رسوبات سروکار دارند که این حمل و نقل ممکن است از طریق فرسایش و یا نهشته‌گذاری انجام پذیرد. رویهمرفته ماسه عموماً" رسوبی بادی ـ حمل و نقلی می‌باشد ولی مواد دیگری نیز می‌توانند بوسیله آتمسفر جابجا شوند مثل سیلت، رس، دانه‌های گرده گیاهان، ذرات نمک، برف، یخ، خاکستر آتش و همچنین خاکستر آتشفشانی. برآورد شده است که هر ساله حدود ۵۰۰ میلیون تن گرد و غبار بر اثر فرسایش خاک تولید می‌گردد.

۲ـ جابجایی ماسه بوسیله باد

قبل از آنکه اشکال ناشی از عمل باد مورد بحث قرار گیرند لازم است فرسایش بادی و حمل و نقل ذرات تفهیم گردد. در این زمینه کارهای زیادی بوسیله ماژور رالف بنگولد[5] (۱۹۴۱-۱۹۵۳) انجام شده است. وی در سال‌های دهه ۱۹۳۰ یک افسر مهندس انگلیسی مستقر در مصر بود. در آن هنگام وی برای اکتشافات بیابانی، محل اقامت خود را به سوی غرب رود نیل ترک گفت و یک



شکل ۱: نقشهٔ پراکندگی جهانی تپه‌های ماسه‌ای فعال (بجز ساحلی) ، غیرفعال (فسیل‌شده) ، بارندگی کنونی (بجز اوراسیا) ولس‌ها . منبع : اسنید[6] (۱۹۷۲) کوک ووارن (۱۹۷۳)

اتومبیل فورد و چند حلقه سیم مشبک با خود به همراه داشت تا وی را در طی‌طریق از مناطق ماسه‌ای سست کمک کند . بنگولد وسیما"در بیابان مسافرت کرده و حرکت ماسه‌ها و مهاجرت تپه‌های ماسه‌ای را مطالعه نمود . مطالعات بنگولد در بارهٔ شرایط بیابانی ، در جریان جنگ دوم جهانی برای متفقین بسیار ارزشمند بود .

موادی که به‌وسیلهٔ باد در سطح زمین جابجا می‌شوند دارای ابعاد تقریبی حدود ۰/۱ میلی‌متر تا ۱ میلی‌متر می‌باشند (ماسه‌های بسیار ریز و ماسه‌های درشت) . برای از جای برداشته شدن ذرات با ابعاد بزرگتر از ۱ میلی‌متر ، بادهای شدیدی لازم است و موادی که ابعادی کمتر از ۰/۱ میلی‌متر داشته‌باشند شامل رس‌های چسبنده‌اند که حرکت آنها سخت است و یا سیلت‌های کوارتزی هستند که معمولا" درمسافات وسیع به‌آسانی حمل می‌شوند . لس‌ها در ارتفاعات بالاتر به حرکت درمی‌آیند (جدول ۱) .

حرکت ماسه تحت تأثیر باد ، به‌صورت دو فرایند بسیار نزدیک به هم صورت می‌گیرد : ۱/ جَهِش[7] (از کلمهٔ لاتین Saltar به معنای جهش و پرش) و خزش سطحی[8] از دو صورت حرکتی فوق ، جهش حدود $\frac{4}{5}$ کل عمل حمل‌ونقل را بر عهده دارد و خزش سطحی $\frac{1}{5}$ بقیه را انجام می‌دهد (بنگولد ۱۹۴۱ ، وارن ۱۹۷۹) . به‌وسیلهٔ حرکت جهشی ، دانه‌ها تحت تأثیر حرکت هوای سطحی در روی زمین به جلو سوق داده می‌شوند و در این حرکت ترکیبی از بلند شدن آفرودینامیکی (بر اثر افزایش سرعت با ارتفاع) وضربهٔ سایر دانه‌هایی که به زمین بازمی‌گردند انجام می‌گیرد . خط سیر جهش معمولا"نسبت به سطح عمودی بوده و در زاویه‌ای بین ۶ تا ۱۲ درجه و در ارتفاعی کمتر از یک متر در بالای سطح زمین صورت می‌گیرد .

عمل خزش در دانه‌هایی انجام می‌شود که دانه‌های درشت‌تری دارند و برای جهش به‌وسیلهٔ باد مناسب نیستند . شکل ۲A نتیجهٔ مطالعات تجربی بنگولد است . وی در این شکل برای باد "سرعت‌های بحرانی" را در نظر گرفته است که شامل سرعتی است که باد باید داشته باشد تا ذرات با ابعاد مختلف را بتواند به حرکت درآورد . در این شکل دو منحنی وجود دارد که روی یکی از آنها نوشته شده آستانهٔ روانی[9] و روی دیگری "آستانهٔ ضربه[10]" نامگذاری شده است . بنگولد دریافت که با افزایش سرعت باد ذرات به حرکت درنمی‌آیند

جدول ۱: مدت حرکت، دامنه و ارتفاع حرکت ذرات به وسیلهٔ بادهای نسبتاً قوی (۱۵ متر در ثانیه)

قطر دانه (میلی‌متر)	نام دانه	سرعت سقوط (سانتیمتر در ثانیه)	زمان حرکت (پرواز) (حداکثر)	دامنه (حداکثر مسافت حمل)	ارتفاع حداکثر	ارتفاع متوسط	درصدی که به صورت جهیش جابجا شده است
۰/۰۰۱	رس	۰/۰۰۰۸۲۴	۹۰ – ۹ سال	$۲-۲۰\times۱۰^{۶}$ کیلومتر	۶/۱–۶۱ کیلومتر		۰
۰/۰۱	سیلت	۰/۸۲۴	۸۰ – ۸ سال	$۴-۴۰\times۱۰^{۲}$ کیلومتر	۶۱۰–۶۱ کیلومتر		۰
۰/۱	ماسهٔ بسیار ریز	۸۲/۴	ثانیه ۳–۰/۳	۴۶۰–۴۶ متر	۶/۱–۰/۶۱ متر		؟
۰/۲۵–۰/۱۵	ماسهٔ ریز	۱۵۶–۱۰۹/۰	بسیار سنگین		۴ متر در ریگ‌ها	۶۳ سانتیمتر در ریگ‌ها (۴۹۰ < ۸۷ < ۲۹۰)	۸۴
۰/۸۳–۰/۲۵	ماسه با قطر متوسط تا درشت	۲۱۸–۱۵۶	بسیار سنگین		۹ سانتیمتر در ماسه	۹۰۵ < ۳۱۵ در ماسه‌ها	۷۵

منبع: کوک و وارن ۱۹۷۳.

۱) برای اطلاع از طبقه بندی‌های مختلف ذرات رجوع کنید به صفحه ۳۶۰ از منبع ذکر شده در یادداشت ۶/۲ م.

تا هنگامی که سرعت کشش باد به حد بحرانی برسد و در آن هنگام است که ذرات به حرکت در می‌آیند وی این حد بحرانی را، آستانهٔ روانی خواند که نشانهٔ شروع حرکت ذرات تحت تأثیر فقط عامل باد می‌باشد. بهرحال وقتی که ذرات به حرکت درآمدند، ضربهٔ ناشی از دانه‌های در حال حرکت، باعث شروع حرکت دانه‌های بزرگتر می‌شود. بنابراین واضح است که نسبت به حرکت جهشی، باد باید به‌تنهایی میل‌روانی و سرعت بیشتری داشته‌باشد تا بتواند ماسه‌هایی با ابعاد معین را به حرکت درآورد. بعد از عبور از آستانهٔ روانی و انجام عمل حمل و نقل بادی و قبل از توقف حرکت ذرات به‌وسیلهٔ باد، سرعت باد کاهش یافته و به خطی می‌رسد که "آستانهٔ ضربه" نامگذاری شده است. در شکل ۲ B اطلاعات پایهٔ جدیدی در مورد آستانه‌ها با سرعت حقیقی باد ارتباط داده شده و اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در ۲ متری بالای سطح زمین نشان دهندهٔ آن است که در اغلب ماسه‌های بیابانی سرعت آستانه‌ای در سطح ۲ متری تقریباً برابر ۱۶ کیلومتر در ساعت (۴/۴۴ متر در ثانیه) است.

عامل اساسی در حرکت ذرات به‌وسیلهٔ باد، همانند آب، نیروی کشش است که در بستر رود به وسیلهٔ آب و در سطح زمین توسط باد اعمال می‌گردد. نیروی کشش برای آب به صورت زیر بیان می‌شود:

$$T = \gamma ds$$

و یا به صورت:

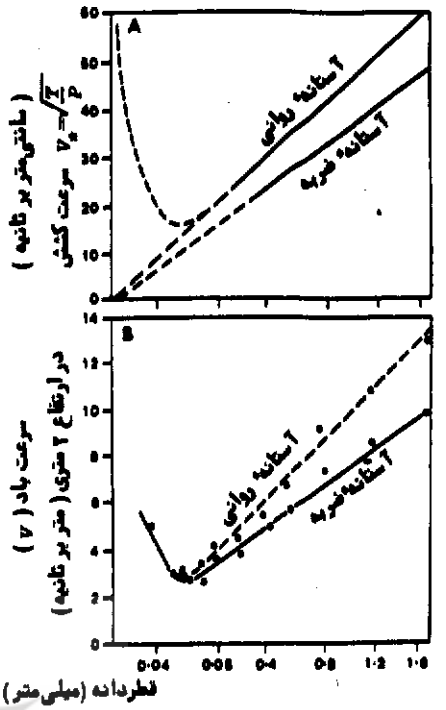
$$T = \gamma V^{2}$$

از آنجا که در معادله جزی[11] یا دوبویز[12] ایجاد عمق و دامنه نسبتی از V^{2} است بنابراین معادلهٔ نیروی کشش برای هوا بدین صورت درمی‌آید:

$$T = \rho V_{*}^{2} \quad \text{و یا} \quad V_{*} = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

که در این معادله: V_{*} = سرعت کشش (به سانتی‌متر برثانیه)، T کشش متوسط در هر واحد مسطح و ρ جگالی هواست. همچنین V_{*} با میزان تغییر در سرعت باد، در بالای سطح زمین ارتباط دارد.

سرعت باد درنزدیکی زمین به‌میزان هموار سطح زمین بستگی دارد و در سطح زمین تاحدود صفر تقلیل پیدا می‌کند (شکل ۳ A). ناهمواری زمین حتی اگر بر اثر رویش گیاهی و یا بی‌قاعدگی خود سطح زمین باشد دارای اثرات بارز برسرعت باد است. نقاط لگاریتمی بر روی شکل ۳ B محور y ها را در ارزش‌های یکسان و بزرگتر از صفر قطع کرده‌اند که این امر نشان‌دهندهٔ آن است که درحقیقت سرعت باد در ارتفاع نزدیک به سطح زمین حدود صفر است. این ارتفاع تقریباً "برابر $\frac{1}{30}$ قطر متوسط دانه‌ها در روی سطح زمین است. مثلاً" اگر قطر متوسط ذرات روی سطح زمین برابر ۳۰ میلی‌متر باشد، آنگاه سرعت باد در یک میلی‌متری بالای سطح زمین برابر با صفر خواهد بود. این امر از آن جهت دارای اهمیت است که ذرات بزرگتر از ذرات ریزتر در مقابل باد محافظت‌کرده و ازجابجایی آنها جلوگیری می‌کنند. بنابراین ناهمواری و یا وجود یک سطح زره‌دار و پوشیده از ریگ یا قلوه‌سنگ در کاهش فرسایش بادی بسیار موثر است. شکل ۴ حمل ذرات را به وسیلهٔ باد در ارتفاع بالای سطح زمین نشان می‌دهد. اطلاعات مربوط به این شکل با نمونه‌گیری از ماسه‌ها در ارتفاعات مختلف در درهٔ کواچلای[13] کالیفرنیا در یک دورهٔ ۱۴۶ روزهٔ منتهی به ۱۱ دسامبر ۱۹۵۳ فراهم شده است (شارپ[14] ۱۹۶۴). این شکل نشان می‌دهد که دامنه تغییرات قطر دانه‌هایی که حرکت داده شده‌اند کم می‌باشد و همچنین تفوق ماسه‌های با قطر متوسط و ریز را در آن می‌توان دید. اغلب ذرات حمل شده، در ارتفاع نزدیک به سطح زمین حرکت می‌کنند. مقدار ماسه‌ای که باد حمل می‌کند عموماً" نسبتی از توان سوم سرعت باد بعد از گذشتن از مقدار آستانه‌ای V_{t} است.



شکل ۲: A ارتباط بین سرعت کشش و قطر دانه نشان‌دهندهٔ آستانه‌های روانی و فریه است. B ارتباط بین اندازهٔ دانه کوارتز و سرعت آستانه‌ای برای حرکت در ارتفاع ۲ متری. این دیاگرام با استفاده از اطلاعات چپیل وهو ترسیم شده است. برای ذرات ریزتر ازقطر ۰/۰ میلی‌متر، سرعت آستانه‌ای حرکت با کاهش قطر افزایش پیدا می‌کند.

منبع: بنگولد ۱۹۴۱، وارن ۱۹۷۹

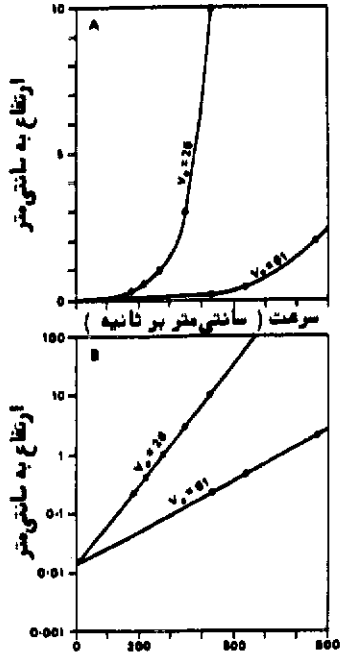
در شکل ۵ وارن (۱۹۷۹) ارتباط تئوریک بین فراوانی فرضی پراکندگی سالانهٔ سرعت باد v و تخلیهٔ ماسه (Q) را (به‌تن در هر متر سطح در هر سال) نشان داده است. z ارتفاع به متر است که درآن ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد انجام گرفته است. این امر این نقطه نظر را تقویت می‌کند که حرکت اغلب ماسه‌ها به وسیلهٔ بادهای تند (نه شدید) صورت می‌گیرد.

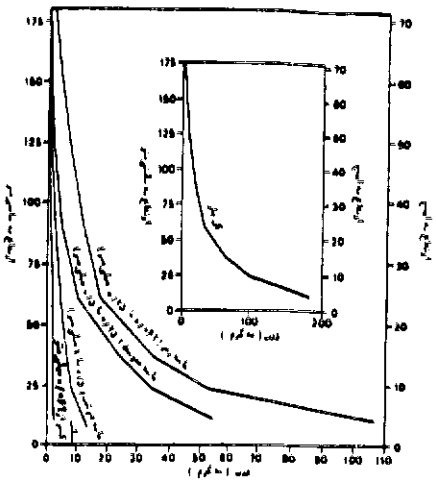
۳ـ سایش بادی

تأثیر عمل هوای توأم با ذرات به‌عنوان عامل فرسایش در چشم‌انداز بیابان، مدت‌های مدید یک سرفصل بحث‌آمیز بوده‌است. نهایت آنکه اعلام شد که دره‌های ساختمانی بزرگ یا حوضه‌های فرعی ایالات متحده بر اثر فعالیت باد یا سایش بادی ایجاد شده‌اند. گفته مذکور با دلیل توأم نبود ولی وجود پرتگاههای تند، مدور و سوراخ‌دار را به فرسایش بادی نسبت داده‌اند. امروزه توافق بر آن است که عمل باد در تشکیل اشکال فرسایشی اهمیت نسبتاً کمی دارد، در سایش سطح زمین به آن اهمیت محدودی می‌دهند.

منحنی‌های اشکال ۳ و ۴ اطلاعات کافی برای ارزشیابی بادی فراهم آورده‌اند. شکل ۳ نشان داد که سرعت باد در بالای سطح زمین به شدت افزایش پیدا می‌کند و در ارتفاعات بالاتر بادهای قوی می‌توانند بر نیروی سایش ذرات بیافزایند. شکل ۴ نیز نشان داد که بیشترین میزان ذرات حمل‌شده در نزدیکی سطح زمین حرکت می‌کنند و مقدار مواد حمل‌شده به‌وضوح در تعیین گسترهٔ سایش اهمیت دارد. به‌هرصورت در نزدیکی سطح زمین سرعت باد و ذرات حمل شده توسط آن کم است و یک سرعت آستانه‌ای وجود دارد که از آن به بعد سایش آغاز می‌گردد. گردش ملایم دانه‌های ماسه بر روی سطح یک سنگ احتمالاً برای سایش آن کافی نیست. بنابراین لازم است تا منحنی‌های اشکال ۳ و ۴ را ترکیب کنیم تا معین شود در کدام ارتفاع در بالای سطح زمین سایش بیشترین تأثیر را داراست. با در نظر گرفتن ترکیبی از دو شکل مذکور گمان می‌رود که سایش بادی در مسافت کوتاهی در بالای سطح زمین که در آن سرعت باد و حرکت دانه‌ها در حد متوسطی می‌باشد به حداکثر خویش می‌رسد. در روی

شکل ۳: تغییرات سرعت باد (با ارتفاع) برای دو سرعت کشش متفاوت: A حسابی B لگاریتمی. منبع: بنگولد ۱۹۴۱.





شکل ۴: وزن دسته‌جات مختلف اندازه‌ای که در ارتفاعات متفاوت تا ۱۷۵ سانتی‌متری به‌وسیله‌ٔ باد در درهٔ کواچلای کالیفرنیا طی یک دورهٔ ۱۴۷ روزهٔ منتهی به ۱۱ دسامبر ۱۹۵۳ حمل شده‌اند
منبع: شارپ ۱۹۵۳.

سطح زمین حمل دانه‌ها زیاد ولی سرعت آنها کم است و در ارتفاع بالاتر سرعت زیاد و مقدار ماسهٔ مورد نیاز برای عمل سایش کم می‌باشد.

روبرت شارپ (۱۹۸۰ – ۱۹۶۴) طی یک دورهٔ یازده ساله (۱۹۶۳ – ۱۹۵۲) دربارهٔ سایش باد در بیابان موهاو[15] مطالعاتی انجام داد. وی میله‌های براقی نصب کرد و مقدار سایش را در قسمت رو به باد میله‌ها اندازه‌گیری نمود. حداکثر میزان سایش در ارتفاع ۲۳ سانتی‌متری سطح زمین رخ داد (شکل ۶) که این امر ارتباط تئوریک را به‌خوبی تأیید نمود. جمع‌آوری اطلاعات ۵ ساله‌ٔ دیگری (۶۹ – ۱۹۶۴) نشان داد که حداکثر فرسودگی (سایش) در ارتفاع ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری سطح زمین رخ داده است که این امر را به افزایش تولید ذرات درشت‌دانه توسط یک سیلاب نسبت داده‌اند.

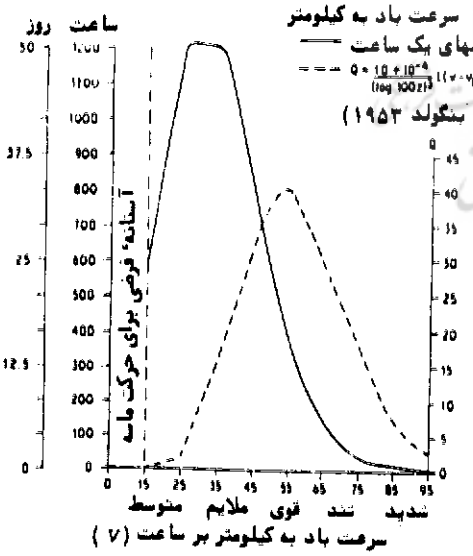
یکی از اشکال جالب نوأم با فرسایش بادی "سطوح صیقل‌خورده سنگی[16]" می‌باشند. سطح خارجی سنگ‌ها بر اثر عمل سایشی باد به‌مرور زمان صیقل می‌خورد. شارپ بخشی از مطالعهٔ سایش بادی را در نواحی بیابانی انجام داد و در سطح بیابان و در جهتی که گمان می‌رفت در آن جهت سایش باد انجام می‌گیرد تعدادی از اشیاء را قرار داد. در طول ۱۶ سال مطالعه، شارپ دریافت که مواد نرم‌تر به‌وسیلهٔ عمل باد تراش می‌خورند. وجود سطوح تراش‌خوردهٔ متعدد در روی اشیاء قرارداده‌شده بر سطح بیابان از عوامل فریبنده در این مطالعه به‌شمار می‌رفت. در قسمت بالا و پهلوهای قطعات، سایش زیاد بود به‌طوری که این قسمت‌ها تحلیل رفته و در جهت رو به باد سوهان خورده بودند. در برخی قسمت‌های قطعات تراش‌خوردگی‌های متعدد وجود داشت و چرخش ذرات به‌وسیلهٔ باد، تراش‌های جدیدی را به وجود آورده بود. برای اینکه بادنتواند اشیاء و قطعات اندازه‌گیری را جابجا کند، مسلما" باید از قطعات بزرگ استفاده گردد.

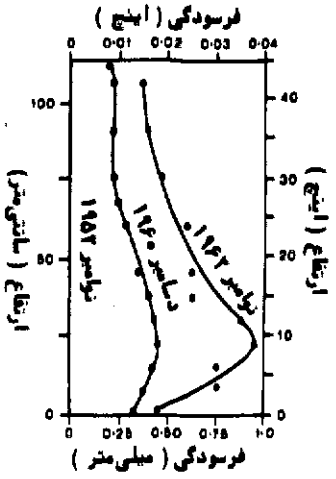
درصورتی‌که سطح بیابان از ذرات با ابعاد مختلف پوشیده‌شده باشد، باد ذرات ریز را حرکت می‌دهد و سطح غیرمتحرک و زره‌داری را برجای می‌گذارد. اینگونه سطوح تک‌دانه را اصطلاحا" "دشت‌ریگی" گویند. وجود پوششی از ریگ مانع مؤثری در مقابل فرسایش باد به شمار می‌رود.

علاوه بر سطوح صیقل‌خوردهٔ سنگی، درصورتی‌که دشت‌ریگی محافظ شکسته‌شود و یا پوشش گیاهی درمنطقه از بین‌برود، فرسایش بادی این امکان را پیدا می‌کند که رسوبات و ذرات زیرین را ازجای بردارد و یک چاله را به‌وجود آورد. اینگونه چاله‌های بادی در جلگه‌های مرکزی ایالات متحده فراوانند و به غلط آنها را ناشی از غلتیدن گاوهای وحشی می‌دانند.

تپه‌های با مقیاس بزرگ و طویل در نواحی بیابانی از اشکال شناخته‌شده می‌باشند و به "پاردانگ[17]" موسومند، پاردانگ ممکن

شکل ۵: ارتباط بین سرعت باد و حرکت ماسه: اطلاعات در مورد باد فرضی بوده ولی بر واقعیت استوار است. پراکندگی در طول یک سیکل یکساله: Q مربوط به میزان حرکت ماسه به تن در متر واحد سطح در سال، t دورهٔ زمانی که باد با سرعت V در طول سال می‌وزد، V_t آستانهٔ حرکت، نه بادهای متوسط و نه تندبادها به اندازهٔ بادهای قوی که ۳۰ روز در سال بوزند، دانه‌ها را حمل نمی‌کنند. منبع: وارن ۱۹۷۹.





شکل ۶: فرسودگی (سایش) بر اثر برخورد دانه‌های ماسه بر یک میله‌ٔ براق که با بتون محکم شده و ارتفاع آن ۴ پا (۱/۲ متر) و قطر آن ۱/۱۲۵ اینچ (۲۹ میلی‌متر) بود. سختی میله ۲/۵ در مقیاس موه اندازه‌گیری‌ها در جهت رو به باد در فاصله‌ٔ نوامبر ۱۹۵۲ و نوامبر ۱۹۶۲ در بیابان موهاو.
منبع: شارپ ۱۹۶۴.

است دارای ابعاد متفاوتی از یک‌متر تا چند کیلومتر باشد (مک‌کالی[18] و دیگران ۱۹۷۷). یاردانگ‌های با ابعاد مختلف را می‌توان حالت موازی آنها و شباهتشان به پوست پشت وروشده‌ٔ گوسفندان بازشناخت. این گونه تپه‌ها در مقابل باد حداقل مقاومت را دارند. یاردانگ‌ها بیشتر به وسیله‌ٔ عمل برداشتن باد (برداشتن مواد ریز توسط باد) به وجود می‌آیند تا سایش و حمل مواد (سایش سنگ بستر و حمل مواد حاصل توسط باد). مواد هوازده توسط باد ازجای برداشته می‌شوند و سنگ‌های با مقاومت ضعیف فرسوده می‌گردند. به‌علاوه ذرات منفصل ممکن است به سایش، حمل و نقل عمیق‌تر شدن چاله‌های مجاور کمک کنند.

به علت آنکه اخیراً در سطح مریخ اشکالی شبیه به یاردانگ مشاهده شده، توجه بیشتری به مطالعه‌ٔ یاردانگ‌ها شده است.

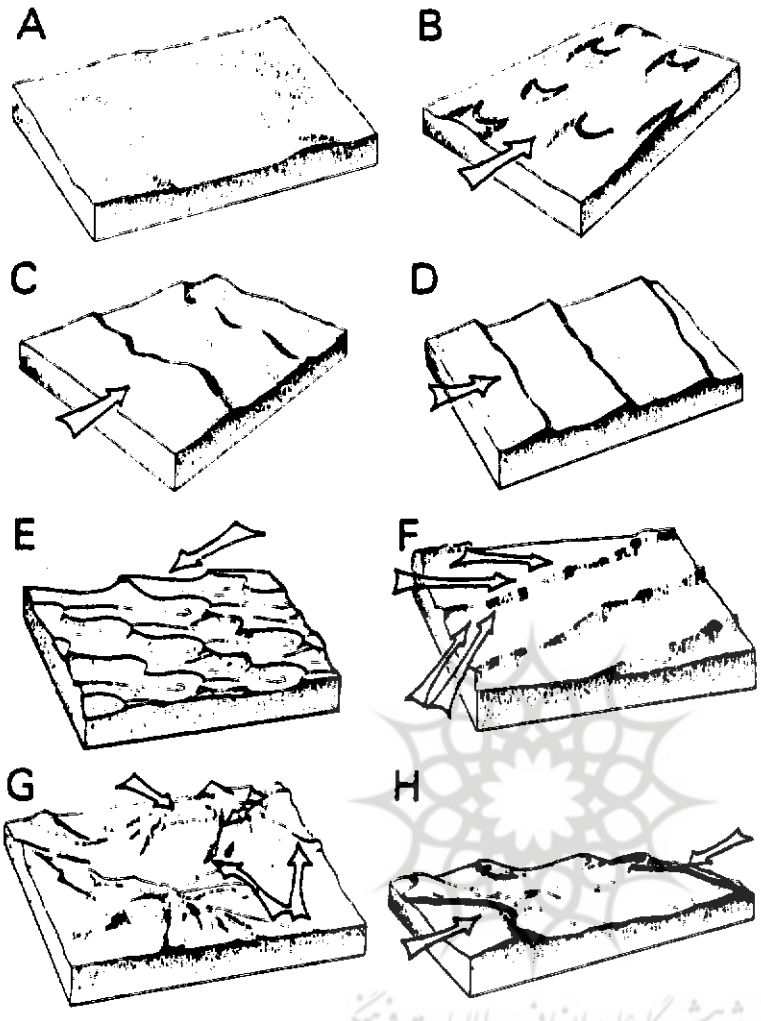
۴ـ اشکال بادی

بر اساس نظر بنگولد تپه‌ٔ ماسه‌ای در جایی به‌وجود می‌آید که گیه‌ای از ماسه انباشته شده باشد، شاید این گیه‌ٔ ماسه‌ای در دامنه‌ٔ رو به باد یک‌ناهمواری (سنگ، گیاه) قرار داشته‌باشد. گیه‌ٔ ماسه‌ای همانند یک تله برای سایر دانه‌های در حال جهش عمل می‌کند زیرا ضربه‌ٔ وارده از سوی ذرات ماسه دیگر جهش نکرده و بنابراین گیه شروع به رشد کرده و یک تپه‌ٔ ماسه‌ای را ایجاد می‌کند.

مک‌کی[19] (۱۹۷۹) در نتیجه‌ٔ تحقیقات وسیع خود بر روی دریاهای ماسه، از تپه‌های ماسه‌ای تقسیم‌بندی‌ای به عمل آورده که در آن نه‌تنها به مورفولوژی و شکل تپه‌ها توجه نموده بلکه ساختمان درونی تپه‌های ماسه‌ای را از لحاظ لایه‌بندی آنها مد نظر قرار داده است (جدول ۲ و اشکال ۷ و ۸). لایه‌بندی‌های موجود در تپه‌های ماسه‌ای شامل لایه‌های پرشیب بر روی دامنه‌های رو به باد است که معمولاً" زاویه‌ٔ قرار گرفتن ماسه‌ٔ خشک را نشان می‌دهد (با زاویه‌ای درحدود ۳۰ تا ۳۴ درجه). یک‌لایه‌بندی‌ساده‌شامل مجموعه‌ای از لایه‌های پرشیب در یک جهت، به سوی باد است و لایه‌بندی دوگانه، در نتیجه‌ٔ وجود دو جهت باد غالب در منطقه ایجاد می‌شود و باعث به‌وجود آمدن یک تپه‌ٔ ماسه‌ای با ساختمان درونی چینه‌ای مرکب می‌شود.

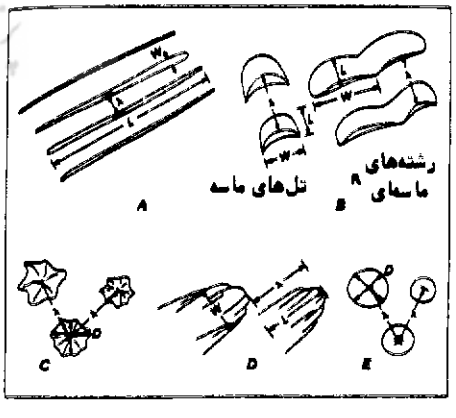
اگرچه تعداد اشکال ناهمواریهای بادی محدود است ولی‌ممکن است ترکیبی از انواع مختلف نیز به وجود آید. به‌عنوان مثال تپه‌های ماسه‌ای مرکب از درهم آمیختن دو یا چند تپه‌ٔ ماسه‌ای هم‌شکل ایجاد می‌شود و تپه‌های ماسه‌ای درهم تنیده از ترکیب دو یا چند تپه‌ٔ ماسه‌ای متفاوت ایجاد می‌شود.

دیگر تقسیم‌بندیهای عمومی را از اشکال ناهمواریهای بادی، افرادی چون ویلسون (۱۹۷۱-۲) کوک‌ووارن (۱۹۷۳و۶) و دیگران بانجام رسانیده‌اند و تقسیم‌بندی آنها براساس سلسله‌مراتب ابعاد و گوناگونی اشکالی است که بر اثر قدرت و جهت باد، دینامیک جریان هوا، اندازه‌ٔ ماسه و عوامل ایجاد آنها، به وجود آمده‌اند. وجود چنین سلسله‌مراتبی به‌وسیله‌ٔ گسیختگی در توزیع فراوانی‌طول موجها (فضاگیری) یا شیارها (اندازه‌گیری‌شده در عملیات صحرائی در الجزایر) و برای تپه‌های ماسه‌ای درا (در شمال آفریقا، درا[20] به‌معنای تپه‌ٔ ماسه‌ای بزرگ) نشان داده شده است (اندازه‌گیری‌شده از عکس‌های هوایی الجزایر، عربستان، استرالیا، مالی، نیجر، موریتانی، چاد و ایالات متحده آمریکا). سلسله مراتب فوق چهار نوع طول موج مجزا را برای شیارهای موجود در تپه‌های ماسه‌ای و دراها نشان می‌دهد که هریک با اشکال عرضی و طول نمایش داده شده‌اند (شکل ۹ و جدول ۳). اندازه‌ٔ دانه‌ها مربوط به مواد سطحی است و به نظر می‌رسد که اگرچه ممکن است طول موجهای مشترک قابل ملاحظه‌ای بین ریپل‌های بزرگ و تپه‌های ماسه‌ای کوچک و بزرگ وجود داشته باشد، اما اندازه‌ٔ دانه‌ها بر طول موج اشکال ناهمواری‌های ماسه‌ای در تمامی مقیاس‌ها کنترل مستقیم اعمال می‌کند. سلسله‌مراتب موجود بین اشکال بیابانی دارای همبستگی‌های معین و زیادی است که از اندازه‌گیری مورفولوژیکی در انواع تپه‌های ماسه‌ای در جدول ۲ حاصل شده است (مراجعه کنید به جدول ۲) در شکل ۸ و ۹ دقت کنید که ارقام ذکر شده دارای حدود معینی هستند که با تفسیر مجدد تصاویر لندست (LANDSAT) و مقایسه‌ٔ آنها با اشکال موجود در عکس‌های هوایی این ارقام حاصل شده‌اند. به‌عنوان مثال در شکل



شکل ۷: انواع تپه‌های ماسه‌ای، پیکانها جهت وزش بادهای غالب و یا مؤثر را نشان می‌دهند. A: تپه‌های ماسه‌ای گنبدی. B: تپه‌های ماسه‌ای برخان C: رشته‌های برخان‌مانند D: تپه های ماسه‌ای عرضی E: تپه‌های ماسه‌ای پیچ و خم‌دار F: تپه‌های ماسه‌ای طولی G: تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای H: تپه ماسه‌ای معکوس. منبع: کوک و وارن (۱۹۷۳) مک‌کی (۱۹۷۹).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۸: اندازه‌گیری‌های انجام شده برای بیان شکل تپه‌های ماسه‌ای ازطریق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های‌هوایی: طول L، عرض W، قطر D و طول موج با λ نشان داده شده است. A: تپه‌های ماسه‌ای خطی. B: تپه‌های ماسه‌ای هلالی؛ تل‌های ماسه‌ای ممکن است یک برخان ساده و یا برخان مرکبی باشد که شکل ساده‌ای‌دارد. رشته‌های ماسه‌ای به صورت برخان مانند بوده و یا تپه‌های ماسه‌ای پیچ و خم‌دار را ایجاد می‌کنند. C: تپه‌های ماسه‌ای ستاره‌ای. D تپه‌های ماسه‌ای حلقوی ترکیبی. E: تپه‌های ماسه‌ای گنبدمانند. منبع: بریدوگراو[21] (۱۹۷۹).

جدول ۲: انواع اصلی تپه‌های ماسه‌ای، ساختمان و مورفولوژی.

نام*	شکل	تعداد لایه‌بندی	مورفومتری: معدل و دامنه تغییرات (به کیلومتر) طول معدل ($\bar{E}$)	بهای معدل ($\bar{E}$)	طول موج (λ) طرح معدل ($\bar{E}$)	انواع عمده
مفصلی	مفصلی‌باشند بطوریکه سطح وسیع و مسطح شکل تپهٔ ماسه‌ای را نشان نمی‌دهند	هیچ				هنوز بامعماری پیچیده‌ترکیب است که نمی‌توان آن را تپهٔ ماسه‌ای نامید.
بارخانی	نوار باریک و نازک در روی سنگ بستر.	هیچ				
گنبدی	برجستگی دارهای با بیضوی	هیچ یا یک برخان	۲/۲۸ (۰/۸–۵/۲)	۰/۶۸ (۰/۱۱–۱/۱)	۱/۲۸ (۰/۶–۲/۰)	برخان‌های خمیر یا عدسی‌شکل (۴)
برخان	شکل عمومی بصورت هلالی	۱	۰/۵۶ (۰/۰۲–۱/۵)	۰/۹۰ (۰/۱۱–۱/۶۶)	۱/۲۷ (۰/۲–۲/۲)	(کوچک) ↓ تراکم‌پایه بادغالب یک جهت
برخان‌مانند	شکل عمومی بصورت ردیف منع بیوشکل‌ها از طولها	۱		۲/۱۱ (۰/۵–۵/۶)	۱/۹۰ (۰/۳–۵/۵)	↓ (بزرگ) ماسوار
مرضی	رشته‌ناظران	۱				
چالهای	دیواره دور با چاله	۱ یا بیشتر				کوچک شدن تپه‌های ماسه‌ای بوسیله گیاهان
سفره‌ای	شکل عمومی به شکل ۵	۱ یا بیشتر				
طولی یا طولی (سیف)	رشته ناظران	۲	۱۸/۱۲ (۲/۶۵–۳۴/۰)	۰/۲۲ (۰/۰۲–۰/۲۸)	۰/۸۱ (۰/۱۵–۱/۲۱)	جهت بادهای غالب درتشکل (بزرگ) تپه‌های ماسه‌ای نسبی (۴) که در اینجا نامیده می‌شوند.
سکون	رشته‌ناظران	۲				حد واسط بین تپه‌های ماسه‌ای سازمان‌یافته و رشته‌های عرضی.
سطرهای	دارای یک قله برگی با ۲ بازو یا بیشتر	۲ یا بیشتر	۱/۲۶ (۰/۱–۶/۲)	۰/۸۶ (۰/۲–۲/۰)		تشابل به رشته‌عمودی (انواع بزرگ آن دور نامیده می‌شوند).

(a) به توضیحات اشکال ۷ و ۱۱ توجه کنید.
(ms) در میلیمتر، ماسه‌ای که به وسیله سنجش از دور بررسی شده‌اند (به شکل ۸ رجوع کنید).
منابع: مکگی (۱۹۷۹) و مک‌کوئرو (۱۹۷۹)

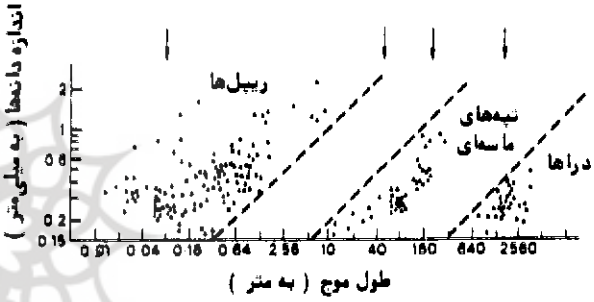
۸ و ۹ بین اندازه‌گیری‌های انجام شده از طریق سنجش از دور و طول متوسط $\bar{E}$، عرض $\bar{W}$ و طول موج در مورد اشکال برخان‌مانند و تپه‌های ماسه‌ای عرضی و پیچ و خم دار همبستگی مثبت خوبی مشاهده می‌گردد.

ریپل‌ها اشکال بادی متوسط المقیاسی هستند (رجوع کنید به شکل ۹ وجدول ۲) که عمدتاً "بوسیله" ضربات ناشی از جهش دانه‌های ماسه به وجود می‌آیند و طول موجهای آنها با طول زمان پروازدانه و سیر جهش و ناپایداری آفرودینامیکی آنها مربوط است. ریپل‌های ضربه‌ای به‌صورت تپه‌های ماسه‌ای عرضی درمی‌آیند حال آنکه سایر ناهمواری‌ها شکلی طولی دارند. ریپل‌ها روی اشکال تپه‌شده‌های بادی را می‌پوشانند.

جدول ۳: آستانه‌های اشکال ناهمواری‌های بادی

نام	مقدار مدلی طول موج	دامنهٔ تغییر طول موج	دامنهٔ تغییر ارتفاع
ریپل‌ها[۲۲]	۸ Cm	۱–۳۰۰Cm	۰/۰۰۱–۲۰ Cm
تپه‌های ماسه‌ای (۱)	۴۰ Cm	۲۰–۳۰۰Cm	۱–۳۰Cm
تپه‌های ماسه‌ای (۲)	۲۰۰m	۱–۳ Km	۲۰–۲۰۰m و بیشتر
دراها	۱۵۰۰m		

علاوه بر آنکه ریپل‌ها دارای سطح پوشش با سایر ناهمواری‌های ماسه‌ای بوده و در گذشته به این مطلب اشاره کرده‌ایم، یک پریدگی مقیاس مشخص عموماً بین ریپل‌ها (با طول موج متوسط ۱ تا ۳۰۰ سانتی‌متر) و تپه‌های ماسه‌ای حقیقی (با طول موجهای بیش از ۲۰ متر) وجود دارد.



شکل ۹: ارتباط بین اندازهٔ دانه‌ها و طول موج اشکال بادی. پیکان‌ها نشان‌دهندهٔ نمای توزیع فراوانی ریپل‌ها (۸ سانتی‌متر)، تپه‌های ماسه‌ای (۴۰ متر و تقریباً ۲۰۰ متر) و دراها (تقریباً ۱۵۰۰ متر) می‌باشند. منبع ویلسون ۱۹۷۲

ادامه دارد

یادداشتها

1- Cook and Warren.

2- Wilson.

۳– برای اطلاع بیشتر در مورد ارگ‌ها رجوع کنید به: مبانی ژئومورفولوژی، اشکال ناهمواریهای زمین، ماکس دریو. ترجمه دکتر مقصود خیام، انتشارات نیما، تبریز (۱۳۶۶) چاپ دوم. صفحات ۳۱۵–۳۰۹. (م)

۴– برای اطلاع بیشتر در مورد شرایط اقلیمی حاکم برنواحی بیابانی رجوع کنید به مقالهٔ بیابان‌های ایران از آقای دکترفرجا... محمودی در همین شماره از مجلهٔ رشد آموزش جغرافیا. (م).

5- Major Ralph Bangold.

6- Snead.

۶/۲– برخی ژئومورفولوگ‌ها برای حرکت ماسه‌ها توسط باد حالت معلق را نیز در نظر می‌گیرند. برای اطلاع بیشتر رجوع کنید به ژئومورفولوژی کاربردی تألیف دکتر حسن احمدی، انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۶۷)، صفحات ۵ – ۳۰۴. (م)

7- Saltation.

8- Surface Creep.

9- Fluid Thershold.

10- Inpact Thershold.

11- Chezy.

12- Duboys.

13- Coachella.

14- Sharp.

15- Mohave Desert.

16- Ventifacts.

17- Yardang

اصطلاح یاردانگ از آسیای مرکزی منشاء گرفته است و در ایران به اینگونه تپه‌های ماسه‌ای گلوت گفته می‌شود. از دیگر اسامی یاردانگ "بر" (Bor) را می‌توان خاطرنشان ساخت. برای اطلاع بیشتر رجوع کنید به مقالهٔ: تولد و مرگ یک نبکا، از دکترفرجا... محمودی، مجلهٔ دانشکدهٔ ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، شمارهٔ پیاپی ۹۸ – ۹۷، بهار و تابستان ۱۳۵۶، صفحات ۳۱۳–۲۹۹. (م).

18- Mc Cauley.

19- Mc Kee.

20- Draa.

21- Breed & Grow.

22- Ripples.