مسایل مربوط به جابجایی شن و ماسه و ذرات ریز (گرد و خاک) بوسیله باد در سرزمین‌های خشک وکم آب

دکترمحمد رضا ثروتی

دانشیا ر دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی تهران

محمدرضا یوسفی روشن

دانشجوی دکترای جغرافیای طبیعی گرایش ژئومورفولوژی واحدعلوم وتحقیقات تهران

چکیده

جابجایی شن وماسه وذرات ریز (گردوخاک) بوسیله باد در بسیاری از محیط‌های زیستی رخ می‌دهد، اما این پدیده بصورت پرقدرت‌تر و در مقیاس وسیع‌تری در سرزمین‌های خشک و کم آب رخ می‌دهد و مهم‌ترین مسائلی که سرزمین‌های خشک با آن درگیر هستند، به همین پدیده برمی‌گردد. به منظور در امان ماندن ساختمان‌ها، زمین‌های زراعی، خطوط لوله و شبکه‌های حمل ونقل از خطر طوفان شن و دفن شدن در میان ذرات ریز خاک و شن، ایجاد و توسعه‌ی ابزارهای کنترل و مقابله با این پدیده‌ی طبیعی ضروری می‌نماید. نواحی شهری در سرزمین‌های خشک می توانند بخودی خود موانعی بر سر راه انواع جابجایی ذرات شن وماسه وگرد وخاک معلق در باد باشند. در یک توجه مساوی می‌توان دریافت که تمرکزگرایی در مناطق خشک و صحرایی وابسته به منابع آب زیرزمینی، زمین‌های قابل کشت محدود می‌باشد که همین خصوصیات باعث تحت فشار قرارگرفتن زمین براثر تمرگزگرایی و جذب جمعیت در پیرامون سکونت‌گاه‌ها می‌شود. از این رو، اکوسیستم صحرا در نواحی نزدیک به نواحی شهری بیشتر در معرض آسیب قرار می‌گیرند. در نتیجه زندگی نباتی در معرض نابودی قرار گرفته، ساختار خاک آسیب می‌بیند. بنابراین حجم جابجایی ماسه و ذرات ریز خاک افزایش پیدا کرده و مشکلات ومسائل ناشی از باد در حجم و مقیاس بزرگتری خود را نشان می‌دهند. در این حیطه عواملی که باعث بوجود آمدن مسائل مربوط به شن وماسه و ذرات ریز خاک وتبعات آنها می شوند، بسیار وابسته به عواملی هستند که موجبات بیابان زایی را فراهم می‌کنند که بیشترین درصد توجه را اخیراً به خود جلب کرده‌اند. ***(ای جی پیلور و هانی ۱۹۷۶ سازمان ملل متحد۱۹۷۷)***

کاهش و یا بهبود نتایج ناخوشایند مربوط به جابجایی شن وماسه و ذرات ریز خاک، نیازمند کسب اطلاعات کافی درمورد خصوصیات طبیعی این گونه جابجایی‌ها، و شناسایی عوامل شتاب دهنده‌ی این فرایند و تلاش برای کاهش کمیت وکیفیت این رخدادهای طبیعی می‌باشد. بنابراین هدف این مقاله شناسایی خصوصیات طبیعی، شدت و پراکندگی جابجایی شن و ماسه و ذرات ریز خاک بوسیله‌ی باد در سرزمین‌های خشک و همچنین مشکلاتی که تحت تأثیر فرایندهای بادی بوجود می‌آیند می‌باشد، و تمام این اعمال درجهت ابداع مدلی برای شناسایی و مشاهده‌ی جابجایی شن و ذرات ریز خاک است و اینکه چگونه این امکان را بوجود آورد که با تکیه بر اطلاعات بدست آمده، جابجایی ذرات ریز شن و ماسه و خاک و نیز صدمات وخطرات ناشی از فرسایش بادی را به نحو احسن برآورد کرد، وهمچنین بتوان از این طریق با اندازه‌گیری دقیق این جابجایی‌ها را به کنترل درآورد.

واژه‌های کلیدی: شن و ماسه – سرزمین‌های خشک – ذرات معلق – گردوخاک

فرآیند جابجایی شن وماسه و گردوخاک توسط باد

جابجایی شن وماسه و گردوخاک توسط باد به عنوان یک فرایند ژئومورفولوژیکی نتیجه‌ی فعل و انفعالات پنج عامل اصلی است: سرعت و قدرت تخریب باد از یک طرف، قدرت تخریب بالقوه‌ی ذرات، جاذبه ی مولکولی آنها، و اندازه‌ی قطر ذرات در روی سطح زمین نیز در یک سمت دیگر.بنابراین واکنش‌های انجام شده بین این فرسایش بادی و قابلیت فرسایش سطحی است که مشخص کننده‌ی حرکت یا عدم حرکت و جابجایی ذرات شن وگردوغبار بر روی آن می‌باشند. پوشش گیاهی نیز بخودی خود عاملی مهم در این جریان می‌باشد و تأثیر خود را از طریق کاهش سرعت باد در نزدیکی سطح زمین می‌گذارد. شن و ذرات ریز خاک (گردوغبار)از همدیگر متمایزند و مشکلات ناشی از حرکت هرکدام نیز با هم تفاوت دارند. ماسه در اندازه‌هایی بین ۰/۰۸ میلیمتر تا ۲ میلیمتردر قطر یافت می‌شوند. در حالیکه که بیشترین طول قطرذرات ریز گردوغبار از ۰/۰۸ میلیمتر، بزرگ‌تر نمی‌باشد. ***(بگنولد،۱۹۴۱)*** ذرات ریزگردوغبارنسبت به شن سنگینی (جاذبه‌ی مخصوصی) کمتری دارند. (کوارتزشن جرم مخصوص ۲,٦٥ واحد برسانتیمتر مربع). ذرات ریز گردوغبار دارای اشکال بی‌قاعده‌ای هستند (اغلب پهن) و همین باعث افزایش جاذبه‌ی مولکولی بین آنها می‌شود. از سوی دیگر، شن عملاً چسبندگی ویژه‌ای ندارد. ذرات ریز برای خود به صورت معلق در هوا بحرکت درمی‌آیند با شدت باد نیز شاید به ارتفاعات بالاتری نیز برده شوند. در مقابل شن‌ها به صورت غلتان حرکت می‌کنند و در این حالت آنها در نزدیکی سطح زمین در حرکت غلتان تمرکز می‌یابند. شن‌ها در جهش‌های خود حالتی را نشان می‌دهند که حاصل برخورد آنها با سطح زمین می‌باشد که درآن شن یا به هوا برمی‌گردد یا اینکه به صورت رسوبات در دهانه‌ی آتش‌فشان‌ها و... ته‌نشین می‌شوند. هر دو حالت به این بستگی دارند که ذرات شن بیشتری در جریان هوا وارد شود یا نه؟ نیروی رگبار ذرات جهنده نیز نقش دیگری دارد وآن برخورد با ذراتی است که برروی سطح زمین به علت قطر زیادشان می‌خزند و یا می‌غلتند.

جابجایی شن‌ها بر روی زمین‌های خشک با خاک سست واقع در سطح شن برروی آستانه‌های سیال روی می‌دهد و حرکت آنها کمترین برخورد را با ذرات دیگر بوجود می‌آورد. (نگاره ۱) ذرات ریز در مقابل با یک جریان

بادی بر روی سطح صاف هر قسمت، با جاذبه‌ی مولکولی بالا حرکت می‌کند، ذراتی که باد توانایی به همراه خود بردن آنها را ندارد. اما در نمایش شن ذرات ممکن است توسط ضربات پرتاب کننده‌ی عواملی نظیر باد به حرکت درآیند. نتیجه‌ی آزمایشات طبقه‌بندی آن شد که تمایز بین شن و ماسه در عملکرد بوجود بیاید، ساختار بادهای سطحی نیز وسیعاً از ذراتی به اندازه ی شن ساخته شده‌اند.*(کوک و وارن ۱۹۷۳)*

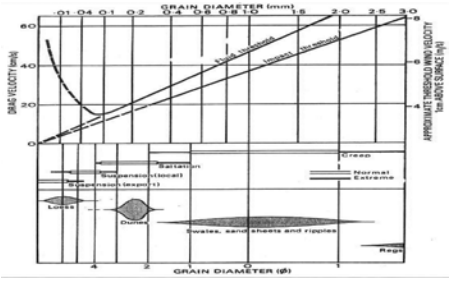
ساختار دقیق ذرات شن و گردوخاک زمانی که در جای دیگر به طور مختصر تعریف شده‌اند دیگر اینجا مورد بازنگری قرار نمی‌گیرند. که به این موضوع نیز در تحقیق کلاسیک بگنولد (۱۹٤۱) چپیل و وودرف (۱۹٦۳) اشاره شده است وهمچنین درتحقیقات فرسایش بادی و در سنجش‌های اخیر ژئومورفولوژیکی آمده است. *(کوک و وارن ۱۹۷۳ و مابوت ۱۹۷۷)*

مشکلات و مسائل جابجایی شن و ذرات ریز خاک

مشکلات مربوط به جابجایی شن وذرات ریز می‌تواند در معیارهای سه فرآیند بادی بنیادی طبقه‌بندی شود و مورد آزمایش قرار بگیرد: تقلیل ارتفاع ذرات، حمل ونقل و رسوب‌گذاری.

۱- مشکلات مربوط به برداشت ذرات

برداشت، از جاکندن ذرات شن وخاک بوسیله‌ی باد از سطوح بیابانی، به این علت مشکل است که باعث تهی شدن واز بین رفتن برخی از مهم‌ترین اجزای سازنده‌ی خاک می‌شود. مانند لای وخاک رس و سایر عناصر اصلی موجود در ساختار خاک‌ها که بعد از فعالیت آنها سطح زمختی از سطوح فرسایش یافته، کاهش سطح باروری خاک، و کم شدن ظرفیت نگهداری آب رخ می‌نمایاند. به علاوه ساختار زمین در سطوح بیابانی به گونه‌ای است که بطور سریع تجدید نمی‌شود و همین باعث می‌شود که برداشت ذرات در این نواحی همیشگی باشد. از طرف دیگر مشکلاتی نظیر سستی و روانی خاک مشکلاتی در برپاکردن تیرهای تلگراف، برق و خطوط لوله‌ی زیرسطحی راه‌آهن وحتی جاده‌ها... را نیز موجب می‌شود که این‌ها می‌تواند باعث نابودی زیرساخت‌ها بشود. برداشت یک فرایند طبیعی است اما ایجاد یک ناحیه‌ی صاف با بادهای نیرومند را رهبری می‌کند.



نگاره ۱: رابطه‌ی بین اندازه‌ی قطر ذرات، سستی و سیال بودن خاک، اجزای تشکیل دهنده‌ی مدل‌های حمل بادی، و اشکال مختلف شن‌های بادی از قبیل مقایسه‌های پوشش سنگی، نمکزارها و یا پوشش گیاهی. (بعد از بگنولد، ۱۹٤۱ریالفولک ۱۹۷۱ وکاری از مابوت ۱۹۷۷)

فقط در جاهایی که مقاومت پوشش وجود ندارد مانند جاده‌های بدون پوشش سنگی و ریگزارها، برداشت یک مشکل محسوب می‌شود. اما برداشت در مناطقی که بوسیله فعالیت‌های انسانی پوشش ومقاومت خود را از دست داده‌اند نیز همیشه اتفاق می‌افتد. دپارتمان تحقیقات حمل ونقل آریزونا در گزارشی بیان کرد برای مثال مقدار حمل ذرات گل ولای وخاک در زمین‌های فاقد پوشش در اثر باد بین ۵ تا ۵۰ کیلوگرم در سال در هر مایل مربع است. این مداخله‌ها در نواحی دارای پوشش گیاهی که در پیرامون نواحی سکونتگاهی هستند و در نواحی شهری گسترده شده است. بنابراین مشکلات فرسایشی ناشی از فعالیت‌های انسانی می‌باشد، آن دسته که به نابودی پوشش‌های سنگی و گیاهی و خشکی سطوح و... می‌انجامد. با رشد نواحی شهری و از بین رفتن پوشش گیاهی باعث گسترش تلاش کشاورزی برای اصلاح نیازمندی‌های سطوح خشک می‌شود.

فشار بر روی سطوح افزایش یافته و ممکن است که مشکلات ناشی از برداشت بیشتر و بیشتر بشوند. تنوع این فشارها حتی می‌تواند منجر به یکجانشینی ایلات و دام ها و ایجاد شرایط دشوار در چرای دام‌ها بشود.توسعه‌ی دامداری تجاری، سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، حفر چاه‌های عمیق ونصب پمپ برای مکش آب جایگزین روش‌های قدیمی برای استخراج آب‌های زیرزمینی شده‌اند. بنابراین چاه‌های کم عمق نیز برای استفاده از آبهای نیمه سطحی وآبیاری قطره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاهش رطوبت خاک نیز در این تعریف عاملی مهم در چگونگی برداشت ذرات به حساب می‌آید. سرعت هرکدام ازاین ملاک‌های متغیر تقریباً با معیار رطوبت خاک سطح تحت تأثیر مغایر است.*(چپیل، ۱۹٦۳)*

۲- مشکلات مربوط به حمل ذرات

مشکلات سایش

اگر چنانچه دیواره ی ذرات لغزنده به حدود یک متر برسد بیشترین سایش که شن می‌تواند ایجاد کند در ارتفاعی بین ۲۰ تا ۲۵ سانتی متر می‌باشد.*(شارپ، ۱۹٦٤)* متغیرهای زیادی بر روی قدرت عامل سایش سطوح تأثیر می‌گذارد که می‌توان از این متغیرها: شکل ذرات، اندازه گرایش وجهت حرکت، سختی ذرات، نوع ساختار بستر موادی که در اصطکاک با ذرات هستند را می‌توان نام برد. اندازه، حجم توده، وتیزی گوشه‌های ذرات وعوامل محیطی از قبیل توپوگرافی، ذرات موجود در اطراف ذرات متحرک، پوشش گیاهی ونیز قدرت تخریب باد هم در این فهرست می‌باشند. *(کوک و وارن ۱۹۷۳)*

کلوخ و ماده‌های دیگر سفت شده‌ی تشکیل شده از خاک نیز ممکن است بوسیله‌ی همین عوامل به اجزای ریزتری مبدل گشته وخاک دچار فقر در ساختار شده و بیشتر وبیشتر در معرض فرسایش بادی قرار بگیرد. (چپیل ۱۹٤٦). همچنین این عمل فرسایشی می‌تواند برای انواع مشخصی از گیاهان بسیار خطرناک باشد.*(لیلز و وودروف ۱۹٦۰)*

سائیدگی زیرساخت‌ها و تجهیزات شهری بوسیله‌ی مواد حمل شده در فرسایش بادی نیز یکی از پیامدهای مستقیم قابل توجه می‌باشد. درجه قدرت فرسایش سائیدگی همراه با افزایش ارتفاع بیشتر می‌شود، همراه با افزایش ارتفاع حمل ذرات در باد منجر به بالا رفتن ارتفاع فرسایش سائیدگی شده واین عامل باعث می‌شود که حتی جاده‌ها و فرودگاه‌ها و زیرساخت‌های ساخته شده به دست انسان نیز در معرض خطر قرار بگیرند.این فرسایش سائیدگی بر روی مصالح ساختمانی نیز تأثیر می‌گذارد: سطح زاویه‌های

بیشتر از ۵۵ درجه در معرض مستقیم باد دائمی امکان دارد که دچار سوراخ وحفره شوند. با این حال هم سطوح تیز مسطح ممکن است که به سطوح خمیده‌ای با خطوط موازی و شیارهای یکنواخت تبدیل شوند.تیرهای خطوط تلفن و تلگراف ممکن است در جای خود مورد بادزدگی همراه با ذرات شن پایه‌های خود قرار بگیرند. شیشه‌ها نیز شفافیت خود را براثر برخورد ذرات حمل شده توسط باد از دست می‌دهند، اول در آنها حفره ایجاد شده وبعد در فصول سرد برروی آنها شبنم می‌نشیند. (شاید منظور ترک خوردن باشد). حتی شیشه‌های جلوی ماشین ممکن است آسیب ببیند.(البته زمانی که ماشین درحال حرکت باشد)، رنگ ساختمان‌ها به راحتی از بین می‌روند. مخارج نگهداری و تجهیز تأسیساتی افزایش پیدا می‌کند. تجهیزاتی مانند ژنراتورها دچار فرسودگی در رینگ پیستون‌های خود می‌شوند، به سیلندرها و دیگر بخشها صدمه می‌رسد و متحمل خسارت می‌شوند. فیلترهای هوا بایست زود به زود تعویض شوند. در نتیجه طوفانی که در تاریخ ۲۷ دسامبر ۱۹۵۳ در کالیفرنیا رخ داد یک شرکت بیمه به تنهایی در مورد خسارت به شیشه پنجره‌ها و فعالیتهای انسانی ۱۲۰۰ مورد درخواست خسارت ثبت نموده که دریافت مطالبه خسارت آن بالغ بر ۱۶۵۰۰۰ دلار آمریکا بود. *(کلمنت ودیگران ۱۹۶۳)*

میدان دید و دیگر مشکلات

طوفان‌های شن حوادث طبیعی هستند که معمولاً در بیابان ها رخ می‌دهند. و ممکن است اندازه آنها در برخی مواقع فضایی برابر ۲۵۰۰در ۶۰۰ کیلومتر مربع را حتی با درنظر گرفتن اندازه کوچک ذرات شن پوشش دهند *(ایدزو، ۱۹۷۶)*. مطالعه بر روی انتقال ذرات به مسافت طولانی به وسیله گودی مورد بازنگری قرار گرفت(۱۹۷۸). مسائل و مشکلات مربوط به طوفان شن شامل: شیوع بیماریها به واسطه انتقال عوامل بیماری‌زا و تلف شدن دام‌ها، افزایش الکتریسیته ساکن، قطع و اختلال در امواج رادیویی، خدمات تلفن و تلگراف، اختلال در حمل و نقل، خسارت به املاک و صدمه به بهداشت انسانی می‌شود *(ایدزو ۱۹۷۶، مورالز۱۹۷۷، ۱۹۷۹)*. اما مشکل عمده‌ای که بیشترین سطح نگرانی و توجه را به خود جلب کرده است، مربوط به فراگیری طوفان و کاهش سطح دید است که این مسأله به ویژه در صنعت حمل و نقل حائز بیشترین اهمیت است. تحت تأثیر همین عامل ممکن است پروازهای ورودی و خروجی فرودگاه‌ها با اختلال و تأخیر مواجه شوند (و در این مکانها ممکن است بر اثر ترمز، خطر انحراف هواپیماها از باند وجود داشته باشد). در این مورد می‌توان مشکلاتی که در فرودگاه شارجه و بحرین در خلیج فارس رخ داد را مثال زد *(هاوسمن، ۱۹۶۱)*. کلمنت و همکارانش در سال ۱۹۶۳ طوفانهای شن و گرد و غبار در صحرای موجاوه (کالیفرنیا) را این گونه شرح دادند که میدان دید ماشین‌ها به حدی کاهش پیدا می‌کرد که باعث ترافیک‌های سنگین و حتی توقف ماشین‌ها در این مسیر می‌شد.

۳. مشکلات مربوط به رسوب‌گذاری (ته‌نشینی)

الف) مشکلات مربوط به گردوغبار و ته نشینی آنها در سرزمین‌های خشک شامل موارد زیر می‌شود: دفن و یا از بین بردن گیاهان جوان و کم ارتفاع، صعب العبور شدن گذرگاه ها و جاده‌ها، نفوذ ذرات گردوخاک در خانه‌ها که مشکلاتی را برای بهسازی و نگهداری خانه‌ها ایجاد می‌کند، و آلودگی مواد غذایی و آب آشامیدنی. برای مثال کلمنت و همکارانش در سال ۱۹۶۳ گزارش دادند که بادهای حامل گرد و غبار و ذرات خاک برای سیم‌ها و تجهیزات شرکت مخابرات کالیفرنیا مشکلات متعددی را به بار می‌آورند.

ب) رایج‌ترین مشکلات ته‌نشینی شن مربوط به ته‌نشینی حاصل از انتقال توده‌ای ذرات شن در بسترها می‌باشد. حرکت ریگ و ذرات درشت غالباً موانع و پدیده‌های شهری را در معرض خطر دفن شدن قرار می‌دهند که این خطر برای جاده‌ها، راه‌آهن، باند فرودگاه‌ها، خطوط لوله، مزارع و باغها بالاخص وجود دارد. گذشته از ریگ و سنگریزه‌ها می‌توان به علائم و خصیصه‌های فرسایشی بیشتری به نام" draa" اشاره کرد که تأثیرات مشابهی با سنگریزه‌ها دارند اما در حرکت نسبت به سنگریزه‌ها سرعت بسیار کمتری دارند.

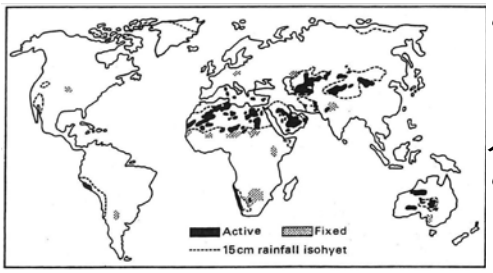
از نتایج معمول مربوط به ته‌نشینی ذرات و دست‌اندازی آنها بایر شدن زمین، کاهش ظرفیت کاربری زمین، و شکست در ارتباطات و کاهش نفوس (جمعیت) را می‌توان نام برد. شهرک اینسلا در صحرای الجزایر مثال خوبی را برای ما فراهم کرده است: ساکنان این منطقه همیشه در حال رویارویی با دست‌اندازی شن هستند که تهدیدی جدی برای درختان نخل به حساب می‌آید. و برای کاهش اثرات طوفان‌های مستمر شن دست به ساخت حصارهایی با ساقه‌ی نخل زده‌اند. روش‌های کنترل آنها به کار گرفته شد اما متأسفانه ناچیز و غیرقابل کفایت بود، حصارهای آنها غالباً اشتباه در جای خود مستقر شده بود. حصارها بسیار کوتاه و درعین حال نادرست جاگذاری شده بودند و یا اینکه بیش از حد به واحه‌های (مکانی آباد در دل صحرا) آنها نزدیک بودند. در نهایت مشابه مناطق دیگر صحرای الجزایر بر روی حاشیه‌های این دریای شن، ساکنان این مناطق هنگامی که دریافتند که سکونت در این منطقه برای آنها به وضوح بسیار گران تمام خواهد شد شاید مجبور به ترک محیط شوند. مشابه همین مهاجرت‌ها در ایران نیز گزارش شده است. *(اداره محیط زیست ایران، ۱۹۷۷)*

برای تأسیس زیرساخت‌ها در نواحی شهری مهندسان و طراحان علاوه بر توجه به ذرات حمل شده در باد (بار باد) در مقاومت و امنیت ساختمانها و ساکنان، باید به جابه جایی ذرات و گرد و غبار به وسیله باد نیز توجه کنند. این ذرات ریز، زیرساختها را دچار فرسایش می‌کنند، و واکنش بین باد و ساختمانها می‌تواند زمینه را برای نفوذ ذرات به ساختمانها و تجمع ذرات در محل فراهم کند. گردباد در مناطقی که گردباد و بادهای شدید در آنها رخ می‌دهد نتایج ناگواری در زمینه رفاه عمومی، محیط زیست، و تردد به بار می‌آورد. مکانهای مناسب برای تجمع ذرات شن و گرد و غبار در جریان هوا در مناطق مختلف می‌تواند موجب انسداد جاده‌ها و مسیرها، دفن شدن گیاهان کم ارتفاع و تجاوز به نواحی مسکونی بشود. خطوط ارتباطی در مقابل جابجایی شن و مخصوصاً به وسیله جابجایی سنگریزه‌ها بر روی جاده‌ها صدمه می‌بینند؛ برای مثال: در خلاف مسیر حرکت سنگریزه‌ها شاید نیاز به احداث مسیر انحرافی و یا نیازمند ابزارهای هزینه بر شن زدایی باشد. و همچنین در این راستا دقت فراوانی از جانب رانندگان خودروهای دو دیفرانسیل طلبیده می‌شود. بعضی از ساختارها مانند برخی جاده‌ها و راه آهن‌ها دارای سیستم خودکار شن‌زدایی بر روی مسیرهای خود هستند. اما

بقیه مخصوصاً هنگامی که به مسیرهای مستعد طوفان شن می رسند، ممکن است دائماً در معرض خطر باشند، برای مثال مسیری که از خرقه به جاده جدید در مصر می‌پیوندد، مسیر بین‌العین و ابوظبی در امارات متحده عربی، راه آهن خارج از شهر پلاستر در کالیفرنیا و بخش اول راه آهن صحرایی. در مورد اول جاده جدید شمال الخرقه بر روی زیرساختهایی به ارتفاع برخانهای موجود در منطقه ساخته شد، به این منظور که شن‌های باد آورده در پای موانع تجمع پیدا کرده (و جاده موقتاً از اثرات شن محفوظ بماند)، اما سنگریزه‌ها و ذرات درشت‌تر شروع به بالا آمدن و رسیدن به ارتفاع موانع می‌شوند و به حدی می‌رسند که خطوط تلفن و ابزارهای کنترل را احاطه کرده و این عموماً به خاطر عدم درک درست از شرایط موجود می‌باشد. ایراد رایج تخصصی این فرض است، که با فشرده‌سازی دانه‌های درشت و سنگ‌ریزه‌ها پیامدهای ناشی از جابجایی ذرات حذف می‌شوند، البته این فرض به ندرت اتفاق می‌افتد زیرا باد به زودی اشکال سطوح مناسب بادی را که دقیقاً همانند شرایط اصلی دانه‌ها است تجدید و دوباره سازی می‌کند. خطوط لوله و زیرساختهای مشابه آنها مشکلات سختی دارند چون دفن شدن آنها باعث سخت شدن نگهداری و سرکشی از آنها می‌شود. و این لوله‌ها در مناطقی که حرکت سنگریزه‌ها در آنها جریان دارد ارتفاع خود را از زمین از دست می‌دهند و این باعث می‌شود که در معرض خم‌شدگی و یا حتی شکستن قرار گیرند. مانند سرنوشتی که برای بخشی از کمربند لوله فسفات در الآیین (صحرای اسپانیا) رخ داد. *(دبنیتو، ۱۹۷٤)*

٤. وسعت جغرافیایی مشکلات

مشکلات و مسائل مربوط به جابجایی گرد و غبار می‌توانند در اکثر مناطق خشک اتفاق بیفتند، اما مشکلات در مناطق و نواحی که ریگ روان و لایه‌های تثبیت شده شن که به وسیله انسان برداشته شده‌اند، موجود است، جدی‌تر می‌نمایند. و این مشکلات مخصوصاً در صحراهای شن جدی‌تر و سخت‌تر است *(مک کی ۱۹۷۹)*. مشکلات پیش‌بینی نشده اکثراً در مناطق بازمانده از توسعه یافتگی یا به عبارتی توسعه نیافته موفق به درک پیامدهای حاصل از برهم خوردن پوشش سطوح و زندگی گیاهی و حیات وحش بر روی دانه‌های ته‌نشین شده نشده‌اند (نگاره ۲). مشکلات گردوخاک عموماً در همه جا، در سرزمین‌های خشک و یا حتی فراتر از آنها وجود دارد، اما آنها به طور ویژه در سطوح بی‌ثبات با بادهای قوی متمرکز شده‌اند. اصلی‌ترین مناطق در این زمینه ۱) صحرای صحاری در سواحل جنوبی دریای مدیترانه، شمال شرقی سودان، شبه جزیره عربستان، ولگای کوچک، قفقاز شمالی در شوروی سابق، قسمتهایی از آرژانتین، افغانستان، صحرای مهاوه–سوناران و دشتهای وسیع غرب ایالات متحده آمریکا. *(رپ ۱۹۷٤، ایدزو ۱۹۷٦، گودی ۱۹۷۸، مورالز ۱۹۷۹)*



نگاره ۲: محدوده جغرافیایی ازتپه های ماسه ای متحرک وثابت در زمین های خشک (بعد ازکوکی ووارن ۱۹۷۳)

تشخیص و ارزیابی مشکلات

۱. مقدمه

ارتباط متقابل بین قدرت فرسایشی باد و قابلیت فرسایش سطوح، زمان و مکان وقوع جابه جایی شن و گرد و خاک را مشخص می‌کند، حرکتی که ممکن است با یک تغییر در شرایط پایدار، مثبت یا منفی در یک یا چند متغیر آغاز شود. (متغیرهایی که در جدول شماره ۱ آمده‌اند)

۱) قدرت فرسایش، مطالعات تجربی و تئوریک نشان داده‌اند که قدرت فرسایشی باد وابسته به طیف زیادی از خصوصیات و معیارهای اتمسفری در رویه‌ای بسیار پیچیده است. عموماً، فرسایش از نظر فضایی و زمانی بر طبق پراکندگی منطقه‌ای و محلی رژیم باد تغییر پیدا می‌کند. مهمترین متغیرهای باد شامل سرعت باد، جهت باد، بسامد، دوره و شدت تندبادها (مقرر در منحنی بادها و کشش یکنواخت ناپایدار باد)، تغییرات آشفتگی قائم (کنترل شده به وسیله طبقه بندی دما و زبری سطح) می شوند. از این رو یک ارزیابی درست از قدرت فرسایشی به دسترسی ازگزارشات دقیق عملکرد باد وابسته است.

جدول ۱: متغیرهای مهم در سیستم فرسایش باد: زمانی فرسایش بادی کاهش پیدا می‌کند که معیارهایی که جلوی آنها علامت مثبت قرار داده شده بالاتر بروند و متغیرهایی که جلو آنها منفی قرار داده شده کاهش پیدا کنند. *(اصلاح شده از کوک و دورنکمپ، ۱۹۷٤)*

قدرت فرسایش	قابلیت فرسایش	
متغیرهای بادی	متغیرهای خاک و شن	متغیرهای سطح
سرعت –	اندازه ذرات + –	پوشش گیاهی- سکونت +
تکرر –	کلوخ و جاذبه ویژه مولکولی آنها +	ارتفاع +
دوره زمانی –	سایش پذیری –	جهت گیری +
حجم –	قابلیت جابه جایی –	گنجایش +
برش –	مواد اصلی +	همواری +
تلاطم –		پوشش +
		خاک و رطوبت +
		ناهمواری سطح +
		طول سطح – (فاصله از پناهگاه) –
		شیب سطح +–

متأسفانه اینگونه گزارشات به صورت جهانی و فراگیر در مورد سرزمین‌های خشک در دسترس نیست، در نتیجه تعمیم دهی و درون‌یابی بایستی با اتکا به قضاوت در مورد قابلیت فرسایش سرزمین‌های خشک در اقصی نقاط دنیا صورت بگیرد، این عمل ممکن می‌نماید اما دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد. تعمیم دهی یا درون یابی اطلاعات افقی فراتر از ۵۰ کیلومتر بعید است که بیشتر از ۷۵% دقت داشته باشند *(لیلز ۱۹۷٦)*. نتیجه‌گیری‌هایی که بر پایه ثبت کوتاه سرعت بادها بدست آمده با بهترین آزمایشات، قابل استناد نبوده و نیازمند تغییر و تفسیر می‌باشند *(ولینگتون ۱۹٦۸؛ بروکفیلد ۱۹۷۰)*.

جدول ۲: انواع سطوح خاک و قابلیت فرسایش مربوط به آنها

نوع سطح خاک		نام عربی	نام های محلی	مقدار جابه جایی شن و یا گرد و غبار
بیابان‌های شنی	دشت ها و صحراهای ریگ و شن ایجاد شده به وسیله رسوب ماسه وار ضخیم	ارگ	طماخک(عربی) کوم، برچان (ترکی) عدن(بربری) شامو(چینی) الیسن(مغولی)	مقادیر زیاد شن و گرد و غبار هنگامی که فاقد پوشش گیاهی باشد به حرکت در می آیند. هنگامیکه پوشش گیاهی ضعیف باشد صفحات شن و ریگ ناپایدار می شوند.
بیابان شن و سنگ ریزه(ریگ)	پوششی که به طور ناچیز از سنگ ریزه تشکیل شده و به وسیله شن فضای خالی بین سنگ ریزه ها پر شده است	سریر	ارگ، ازریر(عربی) گبی(مغولی) ریگ (فارسی)	کمیت گرد و خاک و شن در حرکت بستگی به پوشش ریگ دارد. مقدار متوسط یا میانگین آن هنگامی که بی ثبات نشده حرکت داده می شود. مقدار زیاد آن زمانی حرکت داده می شود که پوشش گیاهی و ریگ آن از سطح برداشته شود.
بیابان‌های سنگ ریزه دار	پوشش سنگریزه چند لایه به خوبی ایجاد شده که دارای چسبندگی ضعیف، ذرات ریز ناچیز و پوشش گیاهی بسیار فقیر	رگ	هماداً(عربی)	کمبود و یا نبود جابه جایی ذرات شن و گرد و خاک در حالت ثابت؛ مقدار متوسط وقتی که پوشش از آن برداشته یا نابود شود.
ریگزار				مقدار متوسط بین ریگزار و بیابانهای سنگلاخی
بیابانهای سنگلاخی	پوششی با قابلیت عزل ضعیف به واسطه اثر هوا. در افق پایین تر پدیده های حاصل شده در اثر فرسایش به واسطه باد زبرتر و قطعه قطعه اند در حالی که افق یا کناره های بالاتر دارای سنگریزه هایی در پیرامون می باشند، مجازاً عاری از اجسام و مواد ریز و صاف.	سبکا	سبخه، شت(عربی) سور، شور(ترکی) کویر، کبیر(فارسی)	نبود و یا جابه جایی کم شن و گرد و غبار
نمک زار	گودی ها و فرورفتگی های آب نمک با سفره های آب زیر زمینی نزدیک به سطح. گاهی اوقات آب نمک روی سطح زمین رسوب می کند.			جابجایی گرد وغبار هنگامیکه آب نمکزار خشک می شود افزایش می یابد. شکستن سطح نمکی درنتیجه موجب می شود مقدار زیادی از گرد وغبار در فضا معلق شود. سیل و پلایا (گوده نهشتی) مهمترین منبع برای گرد وغبار به حساب می آیند.

منبع: پس از پترو (۱۹۷۶)

اگرچه تلاش‌ها برای تنظیم و اصلاح بادسنجها به روی ۱۰ متر انجام گرفته، بسیاری از آزمایشات بر پایه جدول ۱ متغیرهای مهم در سیستم فرسایشی باد انجام شده است. زمانی فرسایش بادی کاهش پیدا می‌کند که معیارهایی که جلوی آنها علامت مثبت قرار داده شده بالاتر بروند و متغیرهایی که جلو آنها منفی قرار داده شده کاهش پیدا کنند.***(اصلاح شده از کوک و دورنکمپ، ۱۹۷٤)***

این ارتفاع مشخص شده نبوده و بنابراین نیازمند تعدیل می‌باشند. و همچنین باید سرکشی‌های حضوری از محل بادسنجها صورت گرفته و برآوردهای مربوط به میزان زبری سطوح محاسبه گردند ***(جانسون، ۱۹٦۵)***. مبنای زمانی برای داده‌های مربوط به باد مهم می‌باشد. برای مثال سرعت‌های باد زود گذر در یک ساعت به توان سوم رسیده و میانگین آن گرفته می شود و نتیجه آن نسبت به گرفتن میانگین سالانه قابل توجه‌تر است. در ایستگاه‌هایی که عملکرد باد را در فاصله‌های زمانی مختلف مورد مقایسه قرار می‌دهند به راحتی نتایج غلط ثبت می‌شوند. با وجود این مشکلات تلاشهای متعددی برای پیش‌بینی قدرت فرسایش و فراوانی فرسایش بادی و حوادث مربوط به جابجایی ذرات انجام پذیرفته است ***(دابیف ۱۹۵۲، در صحرا، زینک ۱۹٤۹، ۱۹۵۰، چپیل و همکاران ۱۹٦۲، اسکیدمور ۱۹٦۵، و اسکیدمور و وودروف ۱۹٦۸، در دشتهای بزرگ ایالات متحده آمریکا)***.

۲) قابلیت فرسایش. پوشش گیاهی و نوع سطح دو فاکتور اساسی هستند که قابلیت فرسایش را کنترل می‌کنند. فاکتور پوشش گیاهی، ساخت – تغییرات فصلی و غیره– نقش مهمی را در تعیین قابلیت فرسایش سطوح ایفا می‌کنند. در معنای تخصصی این فاکتور قابلیت فرسایش را با حمایت از درامان ماندن سطح از شدت باد کاهش می‌دهد. و همچنین با افزایش جاذبه مولکولی اجزای اصلی تشکیل دهنده خاک در اطراف ریشه‌ها این عمل را تکرار می‌کند. جدول ۲ طبقه‌بندی خلاصه‌ای از اشکال سطح خاک رایج در سرزمین‌های خشک و قابلیت فرسایش مربوط به آنها را ارائه می‌دهد (برای بازنگری دقیق به گزارش پتروف ۱۹۷٦ مراجعه شود). بیابانهای شن از این نوع دارای بیشترین کمیت ماده‌های تشکیل دهنده در حرکت نسبت به هر زمان دیگری هستند، چون که خاک آنها دارای بافت متمرکزی بوده و در ذرات خود حداقل تراکم را دارند.

۳) منبع اطلاعات برای قدرت و قابلیت فرسایش شامل گزارشات منتشر شده، مشابه‌سازی شرایط، کار میدانی، کار آزمایشگاهی می‌باشد و کمتر از روش‌های رقومی و ریاضی به صورت مستقیم استفاده می‌شود. هرکدام از این منابع به طور خلاصه در زیر همراه با مثالهای داده شده از نوع اطلاعات خواسته شده مورد بازبینی قرار گرفته و می‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند.

طبیعتاً منابع اطلاعاتی مختلف برای بالا بردن کیفیت ارزیابی‌های کلی با هم استفاده می‌شوند.

۲. منابع نوشتاری

اگرچه نقشه های ارتفاعی، پوشش گیاهی، خاکشناسی، و زمین‌شناسی ممکن است اطلاعاتی در زمینه ارزیابی جابجایی شن و گرد و خاک فراهم کنند، با این حال مهمترین منابع نوشته شده در این زمینه مربوط به آمار جوی ثبت شده می‌باشد. در هر کدام از این پروژه‌ها احتمال آن کم است که زمان کافی برای گردآوری اطلاعات جوی کافی در یک زمینه مشخص وجود داشته باشد. هنوز هم آمار مربوط به آزمایش‌های بلند مدت تنها راه برای اثبات کافی تأثیرات بادهای شدید در دوره‌های کوتاه مدت است. تحلیل اطلاعات جوی معمولاً نیازمند تعمیم نموداری از قبیل نمودار وضع هوا میزان وزش باد و جهت آنها می‌باشد، این عمل تکرر و قدرت تمام بادها را مشخص می‌کند. اما راه حل بهتر آن است که نمودار وضعیت شن و گرد و خاک در بادهای مؤثر را رسم کنیم (انتقال ذرات شن و گرد و غبار). بگنولد در سال ۱۹۵۳ معادله ای ارائه کرد که با آن می توان میزان جابجایی گرد وخاک و شن را محاسبه کرد:

$$Q = \frac{1.0 \times 10 - 4}{\log(100z)3} t(v - 16)3$$

که Q= جابه جایی شن در تن در هر متر،

t=ساعتهایی که باد V km/hr می وزد، و ۱۶ کیلومتر در ساعت سرعت آستانه است،

و z= ارتفاع از سطح زمین بر حسب متر

Q برای بادهای مؤثر با هر سرعتی و در هر جهت برای بدست آوردن نمودار جابجایی باد محاسبه می شود.

اسکیدمور (۱۹٦۵) و اسکیدمور و رودروف (۱۹٦۸) جهت و بزرگی نیروهای فرسایشی باد را با محاسبه بردار نیروی فرسایشی باد برای هر کدام از مسیرهای اصلی سرعت آستانه براورد کردند:

$$rj = \sum_{i=1}^{n} (v - vt)^3 \mathrm{i} \mathrm{f_i}$$

که $(V-Vt)^3_i$= توان سوم میانگین سرعت باد بالاتر از آستانه سرعت در گروه سرعت i ام.

Fi = درصد بررسی کل که در گروه سرعت i ام اتفاق می افتد و در مسیر مورد بررسی صورت می گیرد.

و j= مسیر (که از ۰ تا ۱۵ ارزش بندی شده و در جهت خلاف عقربه های ساعت و از شرق شروع می شود).

حاصل جمع بزرگی بردار حجم کلی نیروهای فرسایش بادی برای موقعیت‌های زیر را فراهم می کند.

$$\mathbf{F_1} = \sum_{j=0}^{15} \sum_{i=1(v-vt)v3fv}^{n}$$

بردار فرسایش مربوطه که با r'j نشان داده می شود بدین طریق بدست می‌آید:

$$\sum_{0}^{15} rj = 1$$

$$Rj = \frac{\sum_{i}^{n}=1(v-vt)i3fi}{\sum_{j}^{15=0}\sum_{i-1(v-vt)v3fv}^{n}}$$

مقدار برتری فرسایشی باد می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. مقدار ۱ نشان دهنده جهت فرسایشی باد غیر ترجیحی است، در حالی که مقدار ۲ نشان دهنده نیروهای فرسایشی دوبرابر و همچنین به موازات خط جهت معمول باد است: وقتی که این مقدار زیاد باشد، جهت‌گیری معمول باد شکن‌ها در این حالت به نیروهای فرسایشی بیشینه تغییر جهت می‌دهد. از این رو، این مقدار(مقدار برتری) در تعریف دسته بندی صحیح بادشکنها و حصارها برای کنترل فرسایش سودمند است. بردار و حاصل جمع آن زمینه را برای ایجاد بهترین معیار قابلیت فرسایش فراهم می‌کند، زیرا بدین وسیله می‌توان مقدار ظرفیت باد برای فرسایش و جهت غالب باد و همچنین پراکندگی جهات نیروهای فرسایشی باد را محاسبه کرد. بردارها نشان دهنده چگونگی تغییر فاکتورها در یک سال می‌باشند، زمان و مکان وقتی که خطر فرسایش در بالاترین حد است و از این رو زمان و مکان آن برای بالاترین سطح حمایت و مقابله نیز مشخص می‌گردد. و همچنین جهت‌یابی صحیح مانع ها برای کاهش مشکلات نیز توسط همین بردارها مشخص می‌گردد.

۳. مدل سازی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای

۱) عکس‌های ماهواره‌ای. بسیاری از منابع به کارگیری تصاویرماهواره‌ها را در محیط‌های تپه ماسه ای منتشر نمودند. برای مثال ویناگرادوف (۱۹۷٦) از ضریب بازتاب طیفی برای نشان دادن فروافت سرزمین‌های بادخیز استفاده کرده است، نواحی دارای این مشکلات هنگامی آشکار می‌شوند که سطوح چراگاهی همگن به وسیله مرزبندی‌های قراردادی بین مدلهای مختلف کاربری زمین جداسازی شوند. مزایای حاصله از سیستم مشابه سازی ماهواره لندست Landsat برای مطالعه خصوصیات ذرات در رابطه با سایر علائم محیطی می‌تواند به صورت زیر خلاصه شود: ۱) این سیستم اجازه مقایسه مستقیم نواحی را به کاربر می‌دهد از آن جهت که تقریباً یک مقیاس یکسان در تمامی تصاویر وجود دارد ۲) اجازه شناسایی گرایش‌ها و خطکشی‌های مهم را به کاربر می‌دهد. ۳) این امکان را فراهم می‌کند که تکه‌های پرینت عکس‌های رنگی ماهواره‌ای را در کنار هم قرار داده و هم پوشی کرده که نشان دهنده شن در نواحی بزرگ می‌باشند و اثبات می‌کند که این عکس‌ها برای به کارگرفته شدن به عنوان نقشه پایه مفید می‌باشند. و ٤) و در آخر با تهیه عکس‌های رنگی کاربران را برای نمایش هرچه بهتر شن و پوشش گیاهی و شکل ذرات، هدایت می‌کند که این عکس‌ها بسیار بهتر از عکس‌های تکی سیاه و سفیدی است که از ماهواره Earts-1 گرفته شده‌اند. *(مک کی و برید ۱۹۷۳)*

مطالعات مؤثر مشکلات شن و گردوخاک که از سیستم مشابه تصاویر ماهواره لندست استفاده کرده‌اند شامل مطالعاتی است که توسط سیورز و درو (۱۹۷۳ و ۱۹۷٤) بر روی تپه‌های شن نبراسکا، مطالعات سیمونت و همکاران بر روی ذرات در استرالیای مرکزی (۱۹٦۹) مطالعه انجام گرفته توسط منگویت (۱۹۷٦) بر روی جریان شن در صحاری و برخان‌های استرالیا، رومانوا (۱۹٦٤،۱۹٦۸) بر روی بیابان‌های خارطوم و بودن و

همکارانش (۱۹۷٤) بر روی شکل‌گیری ناحیه لس آنجلس صورت گرفته‌اند.

۲) عکس‌های هوایی. توسط عکس‌های هوایی با کیفیت بالا و رقومی شده به نحو احسن هرآنجا که برای سرزمین‌های خشک وجود داشته باشد تحلیل مشکلات جابجایی شن و ذرات گردوخاک سریع‌تر، مؤثرتر و دقیق‌تر انجام می‌گیرد *(ارجاع به استون ۱۹۶۱ ،استوارت ۱۹٦۸)*. سیستم تصویربرداری این چنین در مطالعه قابلیت فرسایش و تخریب، سیستمهای فعال ذرات، ته نشین شده، نسبت جابجایی ذرات و تکنیکهای نقشه‌برداری تخصصی قابل استفاده و سودمند است.

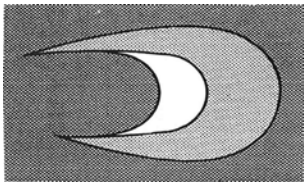
الف) قابلیت فرسایش و تضعیف زمین. به محض اینکه انواع سطوح خاک و اشکال زمین در عکسهای هوایی شناسایی شدند، اطلاعات مشخصی درخصوص قابلیت فرسایش می‌توانند استنباط شوند. به عنوان مثال، پوشش گیاهی مرده می‌تواند از پوشش گیاهی زنده متمایز شود، صخره‌شناسی‌های متعدد و اغلب خاک می‌تواند منجر به شناخت و تشخیص تمامی داده‌های غیر قابل تخمین و فوق‌العاده گرانبها برای ارزیابی و تخمین قابلیت فرسایش شود.

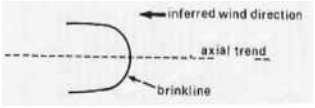
ب) سیستم‌های فعال ریگ روان به عنوان شاخص‌های رژیم باد. اگرچه ظهور نهادین دورنماهای بیابانی در عکس‌های هوایی مورد بازنگری قرار گرفته است *(دیویس و نیل ،۱۹٦۳)*، اما شمار کمی از آنها برای شناسایی چشم انداز تپه‌های ماسه‌ای منتشر شده‌اند. گرایش ریگ‌ها را گاهی اوقات می‌توان از تصاویر ریگ در تصاویر هوایی استنباط کرد همانگونه که در نگاره ۳ مختصر صورت گرفته است. پارامترهای توصیف کننده هندسه ریگ که برای تعیین وجوه جابه جایی شن و ریگ به کار گرفته می‌شوند می‌توانند از طریق عکس‌ها به واسطه تکنیک‌های فتوگرامتری (عکاسی هوایی) اندازه‌گیری شوند (به عنوان مثال، نرخ جابجایی ریگ با ارتفاع توده ریگ متناسب است). در مناطقی که داده‌های مربوط به باد ناکافی یا غایب‌اند، شواهد غیر مستقیم از رژیم باد را می‌توان از گرایش ریگ‌های در حال حرکت بدست آورد. ریگ‌های این چنین را می‌توان به عنوان شاخص‌های قابل اطمینان و موثق از جهت حرکت شن و باد متعادل به کار گرفت. *(با ارجاع به مونود ۱۹۵۸، کینگ ۱۹٦۰، بروکفیلد ۱۹۷۰، ویلسون ۱۹۷۱، هیگینز و همکاران ۱۹۷٤)* طبقه‌بندی پترو (۱۹۵٦) از اشکال ذرات و رژیم‌های بادی مترادف با آن در جدول ۳ و نگاره ٤ نشان داده شده است. برای هرکدام از پنج رژیم بادی، اشکال ذرات در رابطه با نوع خاصی از سطح خاک و عمق سطح آب زیرزمینی از زمین مورد آزمایش قرار گرفته است. جدول شامل همه انواع ذرات نمی‌شود (با ارجاع به ذرات مانع شونده). اما به هر حال این جدول دارای جامع‌ترین تعریف از ذرات می‌شود.

ج) ذرات ثابت (ته نشین شده). که در گذشته شکل گرفته‌اند و به وسیله پوشش گیاهی و یا به وسیله پوسته یا قشر سطحی تثبیت شده‌اند و ضرورتاً به وسیله بادهای اولیه شکل نگرفته‌اند؛ و شایسته نیست در هر شرایطی برای ایجاد رژیم‌های بادی هم زمان مورد استفاده قرار گیرند. تجهیزات و توسعه شهری اگر سطح استحکام خود را از دست داده باشد، بر روی بسترهای ریزدانه ثابت می‌تواند مشکلات جدی ایجاد کند. بنابراین شناسایی و زیرنظر گرفتن ریزدانه‌های ته نشین شده و ثابت حائز اهمیت است. آنها عموماً به وسیله خصوصیات خاک موافق با سطح ذرات و پوشش گیاهی *(چرچ وود، ۱۹٦۳)* اصلاح اشکال ذرات را الگودهی و به وسیله علائم غیر بادی *(اسمیت، ۱۹٦۳)* و عدم تطابق گرایش آنها با بادهای حاضر شناسایی می‌شوند. برآمدگی‌های حاصل از دانه‌های باد آورده گرد و کم ارتفاع شده، کناره آنها ملایم و گاهی حفر می‌شود، و فضاهای خالی بین دانه‌ها پر می‌شود. همچنین بستر دانه‌های تثبیت شده احتمال می‌رود برای خود سیستم زهکشی منحصر به فردی داشته باشند.

د) نسبت حرکت ذرات، در صورتی که عکسهای هوایی برای یک منطقه در دسترس باشند می‌تواند مورد اندازه‌گیری قرار گیرد *(با ارجاع به شرکت نقشه برداری هانتینگ با مسئولیت محدود، ۱۹۷۷)*. به عنوان مثال خطوط رسم شده خارجی پلانیمتری برخان‌ها بر روی پروازهای عکس‌های هوایی دائم برای محاسبه جابجایی‌های جانبی به کار گرفته می‌شوند. در این قاعده کلی نسبت جابجایی یک برخا ن با حجم آن تناسب معکوس دارد.

برخان





نگاره ۳: عکس هوایی
شکل جهت باد

۳) تفسیر: نگاره ۳ ارزیابی گرایش ریزدانه‌ها از عکس‌های هوایی است. خط مورب روی سطح شیب‌دار به راحتی با شن‌های رنگی روشن سطح شیب‌دار که در تضاد با شن‌های تیره تر سطح روبه باد هستند تشخیص داده می‌شوند. این تفاوت تن در نتیجه ریگ‌زدایی از سطح شیب دار به وجود می‌آید (فرایند ریزش ناگهانی شن سریع تر از شکل‌گیری ریگ‌ها شکل می‌گیرد). بنابراین این سمت از برخان‌ها نور بیشتری را نسبت به سمت روبه باد آن منعکس می‌کند و یا این تفاوت در بازتاب ممکن است به خاطر زاویه‌های هر کدام از اطراف برخان‌ها نسبت به نور باشد. فضاهای ریزدانه‌ای که دارای سطح لای می‌باشند در اثر به هم چسبیدگی ذرات شن خود را از دست نمی‌دهند و در نتیجه در عکس‌های هوایی تیره ظاهر می‌شوند. مناطق و نواحی ریزدانه‌ای که سطوح آنها از ریگ تشکیل شده و یا دارای پوسته‌ای از نمک هستند نور بیشتری را بازتاب داده و در نتیجه روشن تر دیده می‌شوند. برخی از ابزارهای اندازه گیری اندازه ذرات بایست به مثابه فاکتوری برای اصلاح نسبت‌های ثبت شده پیشرفت ذرات برای تعریف نسبت جابجایی شن مورد استفاده قرار گیرند. ارتفاع ذرات بیشتر به وسیله عکس‌های هوایی که در روش‌های برجسته‌بینی بدست آمده‌اند مشخص می‌شود و یا به وسیله اندازه‌گیری‌های موردی که معمولاً مورد استفاده است این مقدار به دست می‌آید. لتاوو (۱۹٦۹) از نتایج نسبت جابه جایی ذرات تشکیل دهنده برخان‌ها برای محاسبه نسبت حمل توده‌ای شن استفاده کرد. حجم ذرات با استفاده از عکس‌های هوایی و حجم توده‌ای محاسبه شده بود. که خود این نسبت‌ها با استفاده از حجم ذرات چند وجهی محاسبه شده که دوباره همین حجم ذرات چند وجهی به وسیله نسبت سالیانه بهبود ذرات محاسبه شده بود.

جدول ۳: انواع اصلی اشکال ساخته شده (عموماً برامدگی) به وسیله باد دربیابان های سراسر جهان

رژیم‌های بادی	خصوصیات سطوح مربوطه			
	دشت‌های هموار تشکیل شده از رسوبات فشرده با سفره‌های آب زیر زمینی در عمق زیاد بدون پوشش گیاهی	دشت‌هایی با قابلیت جابجایی رسوبات و شن، با سفره‌های آب زیرزمینی در عمق زیاد بدون پوشش گیاهی	دشت‌های نمک زاری با سفره‌های آب زیر زمینی کم عمق و پوشش گیاهی مناسب برای این مناطق	دشت های شنی با سفره های آب زیر زمینی عمیق و پوشش گیاهی مناسب این منطقه
غلبه یک جهت از باد غالب	۱.برخان‌های مجزاو زنجیره‌های برخانی پایدار یا کم‌تر پایدار. بستر سلسله برخان‌های موازی و برآمدگی‌های برخانی پیچیده.	۱.سلسله برخان‌های منفرد و مجزا. بستر سلسله موازی. برآمدگی‌های برخانی نامتقارن و بی‌تناسب پیچیده	۱.موانع تپه‌ای، تپه‌های پوشیده متقارنی که در جهت غالب باد گسترش یافته‌اند	۱.برامدگی های شنی کوچک، متوسط و بزرگ پایدار شده به وسیله پوشش گیاهی مختص به مناطق بیابانی
غلبه دوباد مقابل	۱.برخان‌های منفرد و مجزا و سلسله برخانی. بسترهایی با سلسله برخان‌های موازی	۱. سلسله برخان‌های منفرد و مجزا، بسترهایی با سلسله برخان‌های موازی	۷. شن‌های ریز و متوسط و درشت انباشته شده. تپه‌های کوچک شنی	۱.تپه های کوچک، متوسط و بزرگی که به وسیله پوشش گیاهی ثابت و پایدار شده اند.
غلبه دو مسیر باد پایدار	۱.برخان‌های متناوباً مجزا و دارای پیوند و سلسله برخان‌های دستخوش تغییر شکل و دگرگونی	۱.شن و ماسه برخان مشبک و آرایش شش گوش	۱.شن و ماسه بیشه انباشته شده، کوچک، بزرگ و متوسط بسته به اندازه بوته‌ها	۱.شکلهای برجسته مشابه و ناهموار مشبک و دارای آرایش شش ضلعی از شن وماسه ثابت، متوسط و بزرگ
غلبه دوباد که جهت شان دارای زاویه‌ای حاد است	۱.برخان‌های نامتقارن و زنجیره‌های برخانی. برآمدگی‌های خطی و طولی. و برآمدگی برخان	۱.سلسله برخان‌های نامتقارن و برآمدگی‌های برخانی	۱.موانع برآمده. تپه‌های پوشیده نامتقارن	۱.برامدگی های شنی کوچک، بزرگ و متوسط و تپه های کوچک ماسه ای ثابت شده به وسیله پوشش گیاهی
زوایای متعدد، بدون غلبه هیچ کدام از مسیرهای بادهای غالب	۱.مجموعه و منظومه‌هایی از ریگ روان هرمی شکل. توده‌های شنی مجزا	۱.توده‌های شنی و ریگ هرمی مجزا، بندرت به صورت دسته	۱.توده‌های شن و ماسه، کوچک، متوسط و درشت بسته به اندازه بوته	۱.تپه های کوچک شنی و شن های مشبک، بزرگ، متوسط و کوچک. برامدگی های به صورت شبکه. شن وماسه های هرمی ثابت و پایدار

منبع: پترو و ۱۹۷۶

ه) تکنیک‌های نقشه‌برداری ویژه. نقشه‌های ژئومورفولوژیک معمولاً نیازمند عکس‌های هوایی به عنوان پایه و اساس می‌باشند. این نقشه‌ها توانایی طبقه بندی نواحی مستعد جریان های شدید بادی – بالقوه و بالفعل – بر اساس فرسایش، انتقال، مقاومت، توانایی جایگزینی در نواحی شهری و یا نواحی مستعد برای شهرنشینی و با توجه به میزان شدت خطر را دارند. طبقه‌بندی از این قبیل (جدول ٤) در مطالعه یک فرودگاه جدید در دبی صورت گرفت. *(هالکرو، خاورمیانه ۱۹۷۷)*

یک نظریه نهایی در مورد عکس‌های هوایی برای مطالعه مشکلات ناشی از جریانات بادی حائز اهمیت است: تفسیر پدیده جریانات باد از روی عکسهای هوایی غالباً مشکل است، قبل از استخراج نتایج داده‌های مربوطه در شرایط توافقی و در سطح بالایی از دقت و صحت یادگیری و تجربه مورد نیاز است، و همچنین بررسی موردی نیز پایه و اساس این کار است.

٤. کار میدانی

الف) قابلیت فرسایش می‌تواند از راه‌های مختلفی ارزیابی شود (به طور عمده با استفاده از نقشه‌های آزمایشی و روش‌های طبقه‌بندی خاک). مزیت نقشه‌های آزمایشی این است که شرایط محیطی در مقیاسی وسیع می‌تواند تحت کنترل درآید (با استفاده از یک تونل باد سیار). بزرگترین مشکل نقشه‌های آزمایشی، تأثیر همین نقشه‌ها بر روی نتایج تجربی به دست آمده است، مشکلی که باعث تعمیم مشکلات در یک ناحیه به نواحی وسیع‌تر می‌شود *(رجوع شود به باترفیلد، ۱۹۷۳)*.

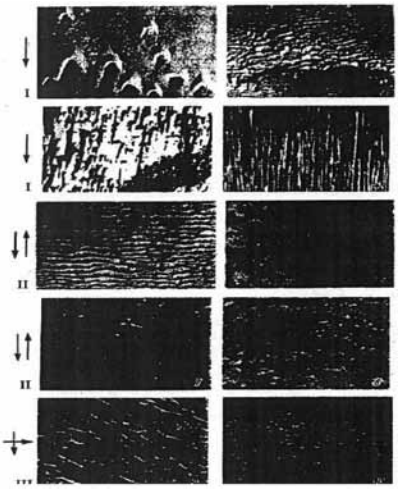
خاک‌ها بر طبق قابلیت فرسایش آنها در این زمینه طبقه‌بندی می‌شوند *(رجوع به نیلز، ۱۹۷۳)*. این طبقه‌بندی شاید بر اساس عمق، ساختار، و محتویات سطح افقی و عمق سطح زیرین لای غیر قابل فرسایش و محدوده ریگزار افقی در تشخیص عمقی که فرسایش شاید ادامه یابد و مقدار مواد در دسترس به محض اینکه فرسایش اتفاق افتد، صورت می‌گیرد. *(کاندون و استانارد، ۱۹۵٤)*

۵. نظارت بر عملکرد گرد و خاک

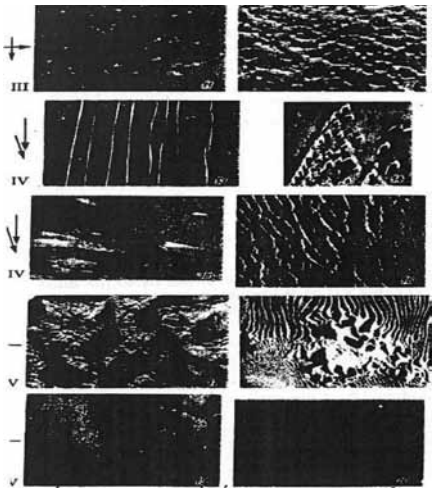
ابزارهای مورد استفاده برای نظارت بر عملکرد گرد و خاک قبلاً به وسیله کمیته وظایف مورد بحث قرار گرفته است(۱۹۷۰): این تکنیک‌ها شامل ساکن نمودن جنبش‌ها *(هنریکسون،۱۹٦۸)*، و فاکتورهای جامع رسوب‌گذاری مشابه *(فیرویدر و همکاران ، ۱۹٦۵ ، اسمیت و تویز ، ۱۹٦۵، چتفیلد،۱۹٦۷، سالم و سوورلی ۱۹٦۷، اداره حمل و نقل آریزونا، ۱۹۷۵،۱۹۷٤ و مورالز ،۱۹۷۹)* و تکنیک‌های متضمن پالایش، تصادف، ته نشینی الکترواستاتیکی، ته‌نشینی حرارتی و سانتریفیوژ (ذره کوچکی درمرکزجاذبه میان دانه) می‌شود.

شمارش و برآورد اجزای گرد وغبار معمولاً به وسیله میکروسکوپ زیستی استاندارد صورت می‌گیرد. توزیع و پخش ذره‌ای به وسیله غربال، ذره بینی نوری، لایه‌گذاری، خاک‌شویی، طبقه‌بندی گریز از مرکز، یا با به کار گیری میکروسکوپ الکترونی تعیین می‌شود. متدهای تحلیل شیمیایی هم مناسب

و هم متعدد هستند(به کار استرن، ۱۹٦۸ مراجعه شود).



نگاره ۴



نگاره ۵

الف) اشکال تشکیل شده با یک باد غالب

۱) برخان‌های منفرد صحرای لیبی؛ ۲) برآمدگی‌های برخانی فشرده آسیای میانه
۳) موانع برآمده، آسیای مرکزی؛ ٤) برآمدگی‌های ثابت شنی، استرالیا

ب) اشکال تشکیل شده با دو باد مخالف

۵) سیستم سلسله برخان‌های موازی، آسیای میانه؛
٦) سیستم سلسله برخان‌های کاملا منفک ، ایالات متحده آمریکا
۷) شن‌های انباشته شده، آسیای مرکزی
۸) برآمدگی‌های ایستاده، آسیای میانه

ج) اشکال تشکیل شده با دو باد متعامد (هم بر، دو بادی که نسبت به هم زاویه ۹۰ درجه داشته باشند)

۹) سلسله برخان‌های متعامد، آسیای میانه
۱۰) توده های شن برخانی شش گوش (لانه زنبوری)، آسیای مرکزی؛
چپیل و وودروف در سال ۱۹۵۷ رابطه بین تراکم ذرات و میدان عملکرد آنها را مورد آزمایش قرار دادند و(در ارتفاع دو متری) به این نکته پی بردند:

$$C=\frac{56.0}{v1.25}$$

که C= تراکم ذرات گرد و غبار در میلی گرم در متر مکعب،
و V= میدان عملکرد ترازی در کیلومتر است.

۱۱- توده‌های ماسه‌ای درآسیای مرکزی
۱۲- ماسه‌های مشبک ثابت درآسیای مرکزی

*** باد و بادی که از دو زاویه می‌وزد**

۱۳-رشته‌های ماسه‌ای خطی درآسیای مرکزی
۱٤- شکل پهن از برخان‌های مجزا
۱۵- تپه‌های نوک‌دار (کشیده) در آسیای میانه
۱٦- رشته‌های ماسه‌ای موازی درجهت باد در آسیای شرقی

***با بادهای مجزا دوطرفه متضاد**

۱۷- ماسه‌های هرمی درصحاری
۱۸- تپه‌های هرمی در آسیای مرکزی
۱۹-توده‌های ماسه‌ای درآسیای مرکزی
۲۰- ماسه‌های ثابت با چاله‌های مشبک درآسیای میانه.

چپیل (۱۹۵۷a,b) و چپیل و وودروف (همان سال) نیز تحلیل‌هایی را در طبقه‌بندی، اندازه و ترکیب ذرات شن که در طول طوفان‌های شن انباشته شده بودند انجام دادند. مطالعات سنجشی سینوپتیک مربوط به شرایط طوفان‌های شن گرمسیری بر روی سطح و سطوح بالاتر از پراکندگی اتمسفری برای تعیین الگوهای آب و هوایی که برای حمل و نقل طولانی مدت و با حجم زیاد و فراوانی ایجاد طوفان گرد و غبار مستعداند، مورد نیاز است. مشاهدات آب و هوایی استاندارد برای مطالعه بر روی پراکندگی تکرر طوفان‌های شن در فضا و زمانهای مختلف به کار گرفته می‌شوند. که نتیجه این مطالعات منبع و ته نشینی گرد و خاک را آشکار می‌سازد. گودی(۱۹۷۸) لیستی از مهم‌ترین بادهای عامل گرد و خاک تهیه کرد (جدول ۷,٤). طوفان‌های گرد و خاک وسیع در دوره‌های طولانی عموماً در بخش‌های گرم عرض‌های جغرافیایی پایین با فشار کم رخ می‌دهند، از آنجایی که ابرهای گرد و غبار دیوار مانند متمرکز معمولاً مسیرهای جلوی روی خود را در می‌نوردند. وضعیت تیرگی شن و گرد و غبار به وسیله زیر نظر گرفتن رادون ۲۲۲ مورد مطالعه قرار گرفت *(کارلسون و راسپرو، ۱۹۷۲)*. رادون ۲۲۲ ماده ای رادیو اکتیو است با متوسط عمر ۳,۸۲ روز، در میان گازهای تولید شده از مجموعه فروپاشی های اورانیوم ۲۳۸ تولید می‌شود. نسبت پرتوافشانی رادون ۲۲۲ در اقیانوس حدود یکصد برابر کم تر از زمین است بنابراین اجزای هوای اقیانوسی دارای تمرکز رادون کمی می‌باشند. تمرکز رادون در فضاهای تیره ناشی از وجود گرد و غبار اساساً نسبت به فضاهای بدون پوشش و یا روی وارونگی دمای گلخانه‌ای می‌باشند.

تحت نظر قرار دادن شنها

اندازه‌گیری جریان کلی شن فقط می‌تواند تقریبی صورت گیرد زیرا

جدول ۴: طبقه‌بندی ذرات بر اساس مخاطرات بالقوه طبیعی آنها به عنوان منبع سیار در فرودگاهی در دبی

پوشش گیاهی			
	بدون پوشش	مناسب برای ایجاد ناهمواری در زمین	پوششی با تاثیری عمده بر ثبات
ساختارشناسی دانه‌ها	مخاطرات بالا	مخاطرات متوسط	مخاطرات پایین
قله و نوک گوشه‌دار و سطح شیب‌دار روبه پایین و قابلیت انفجار به طور استثنایی بالا	دسته ۱	دسته ۲ الف	دسته ۳ الف
قله یا نوک پهن و گرد شده فاقد سطح شیب‌دار فعال نسبتا پایین	دسته ۲ب با خطر متوسط	دسته ۳ب خطر کم	دسته ۴ خطر ناچیز

منبع : هالکرو ، خاورمیانه ۱۹۷۷

حضور هر یک از ابزارهای جمع‌آوری بناچار با جریان هوا درمی‌آمیزد. سیستم جمع‌آوری ذرات باید از دخالت جریان هوا، عوامل اضافه شونده دیگر، و اثرات شکست را به وسیله ایجاد یک لایه تیز برای باد و با ایجاد یک زیرساخت گسترده و دیوارهای صاف برای جلوگیری از فشارهای خلفانی وارده به حداقل برساند. به منظور اندازه‌گیری تجربی جابجایی شن، اندازه‌گیری شدت بادهای نزدیک سطحی نیز مهم می‌باشد. مخصوصاً در شرایطی که معادلات قابلیت برآورد دارند.

جدول ۵: بادهای شکاف دهنده شن

آفریقا	خمسین (مصر)
	داشامی (صحاری جنوبی)
	غیبیلی (تریپولیتانیا)
	غبار(اتیوپی)
	حبوب(سودان)
	حرمتان(غرب آفریقا)
	ساحل(مراکش)
	چلی (تئنس)
	چدیلی(جنوب الجزایر)
	لسته (مادریا)
آسیا	بلاط(عربستان سعودی)
	بوران(روسیه) قره بوران(ترکستان)
	شمال (خلیج)
	سیروکو(عربستان، فلسطین، مزوپوتامیا)
	شیحیتان(بلوچستان)
	شیستان(ایران)
	(هند)
	آندهی(هند)
آمریکا	پامپرو سوشیو(آرژانتین)
	(مکزیک)
	پالوزر(ایالت آیداهو،مونتانا)
استرالیا	بریکفیلدر
اروپا	کالینا(اسپانیا)
	کاساوا(مجارستان)
	شیروکو(جنوب اروپا)
	(جنوب منطقه استپ روسیه)

منبع : گودی ۱۹۷۸

تکنیکهای رایج استفاده شده شامل تیوبهای فشارسنج *(سواسک و تروایند، ۱۹۷٤)* و بادسنج‌های فنجانی می‌شوند. تلاطم به وسیله بادسنج‌های کشش سنج و رشته‌های حرارتی (با ارجاع به مراودات شخصی نات)، بادنماهای جلویی و عقبی اندازه‌گیری شدند *(ستورامن و براون، ۱۹۷٦)*. تکنیکهای تجسم جریانات متعدد نیز از قبیل نشان دادن جریان ردیابی میانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال انفجار بمبهای دودزا *(شارپ، ۱۹٦٦)*، بالن‌های هواشناسی که مجهز به دوربین‌های نقشه‌برداری تئودولیت مخصوص بالن هستند (مراودات شخصی نات) و ذرات دارای تشعشع- شمارش شده با لامپهای فرابنفش *(انگل، ۱۹٦٦)*. اندازه‌گیری جابه‌جایی ذرات علاوه بر استفاده از عکس‌ها می‌توانند با ارجاع به نقشه‌های بدست آمده مورد مطالعه قرار گیرند *(مک کی و داگلاس، ۱۹۷۱)*.

تحلیل‌های آزمایشگاهی

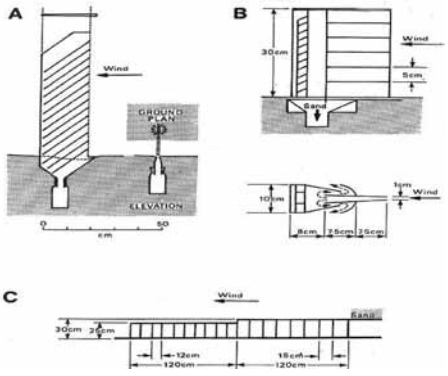
الف) شباهت‌های حرکتی و هندسی در تونل‌های بادی.

مزیت استفاده از مدل‌ها در تونل‌های بادی برای مطالعه حرکت شن و ذرات خاکی این است که اجازه کنترل و تغییرهای سیستماتیک در پارامترهایی که فعالیت بادی را به وجود می‌آورند را می‌دهد، پارامترهایی از قبیل سرعت باد، ناهمواری سطوح و غیره. به منظور استفاده از اندازه‌گیری تجربی، برای اطلاعات میدانی تکمیلی، مدل و محیط پیرامون آن در حد ممکن باید به طور آشکاری به شرایط میدانی واقعی نزدیک باشند. شبیه‌سازی قبل از هر چیز وابسته به همسان‌سازی اعداد مناسب رینولف (اندازه‌ای از تعادل بین چسبندگی و و نیروهای درونی که جلوی جریان مقاومت می‌کنند) و وضعیت مرزبندی هندسی می‌باشد. اعداد ریموندز برای زیرساخت‌های بزرگ، بزرگ می‌باشند و برای بدست آوردن آنها در آزمایشگاه مدل هم به همان نسبت بزرگ باشد. اندازه هرچند با تأثیرات بازدارنده خود بر روی گردش هوا که احتمالاً پراکندگی‌های سرعت و شدت باد حول مدل را منحرف می‌کنند محدود شده‌اند. مقدار کامل نیازمندی‌های شبیه‌سازی همراه با ارزیابی دستیابی‌های وابسته شبیه‌سازی با هم، به وسیله محققان متعددی ارائه شده است *(سرمک، ۱۹۵۸، ۱۹۷۱، بلیک و سرمک، ۱۹٦۳. سرمک و همکاران ،۱۹٦٦. مک وهیل و همکاران ، ۱۹٦۷)*.

ب) نمایه‌های سرعت و تلاطم در تونل‌های بادی

نمایه‌های سرعت می‌توانند با به کارگیری دو تکنیک تولید نمایه-

متدهای «انسداد مدرج» و «تلاطم» – مدل سازی شوند *(للوید، ۱۹٦٦؛ لاوسن، ۱۹٦۸)*. طیف‌های آشفتگی می‌توانند به وسیله عناصر تلاطم و شبکه‌های آشفتگی تولید شوند *(کامته بلوت و کارسین ، ۱۹٦٦؛ کاونیهال، ۱۹٦۹، ۱۹۷۰، ۱۹۷۱)*. بادسنجی رشته‌های حرارتی ابزار اصلی به کار گرفته شده جهت اندازه‌گیری آزمایشگاهی آشفتگی است *(هینزه، ۱۹۵۹؛کارسین، ۱۹٦۳؛ برادشاو،۱۹۷۵)*. سختی سطح را می‌توان به واسطه مجراهای پرستون اندازه‌گیری کرد. حباب‌های هلیوم با تراکم متوسط و دود را می‌توان برای تجسم میدان گردش و جریان به کار گرفت. این متدها با جزئیات کامل مورد بررسی قرار نگرفته‌اند.



نگاره ۶: افقی a,b وعمودی c جمع آوری ماسه
(بگتوند ۱۹۴۱وبالی ۱۹۶۴)

ج) نتایج تجربی بدست آمده از پژوهش‌های تونل‌های بادی بسیار گسترده و وسیع‌اند و شامل کارهایی در زمینه آستانه سرعت جابجایی ذرات *(گریلی و همکارانش، ۱۹۷۷)* و کارهای چپیل (۱۹۵۰) بر قابلیت فرسایش می‌باشد. ویتنی (۱۹۷۸) یک تونل بادی را برای انجام آزمایشات وزش باد به کار گرفت که در آن از نظارت ذره‌بینی الکترونی برای نمایش تغییرات بر روی سطح نمونه استفاده شده بود. دیتریش در ۱۹۷۷ صخره‌های با درجات سختی مختلف را برای دوسال در معرض وزش باد همراه با ذرات شن در بادی با سرعت ۲۸ کیلومتر بر ساعت قرار داد، و به این نتیجه رسید که نسبت فرسایش مستقیماً بستگی به مقاومت موادی دارد که در معرض وزش باد قرار می‌گیرند، و اینکه حجم توده ساینده مهم‌تر از درجه سختی آن است. مسائل نقشه‌کشی که با جابجایی ذرات گرد و خاک و شن همراه‌اند در سرزمین‌های خشک حائز اهمیت می‌باشند. و این مسائل می‌توانند در تونل‌های بادی مورد بررسی قرار گیرند.

برای مثال داخنین (۱۹۵۸) مطالعات تجربی را در زمینه تونل‌های بادی انجام داد که به حل مسائل طراحی در ساختمان‌سازی در نواحی بیابانی کمک کرد. آزمایشاتی از این قبیل برای تعریف و مقدار دهی تأثیرات ایرودینامیکی (حرکت گازها در هوا) برای پیکربندی‌های ساختمانی مختلف قرار داده شده است (نگاره۷). نواحی که بادهایی شدید در آنها می‌وزد مزاحمت‌هایی از جانب ذرات و شن‌های معلق در آنها موجب سلب آسایش می‌گردد. و به وسیله فرایند سایش ساییده می‌شوند، نواحی که دارای ارتفاع کم و در گودی‌ها هستند از جانب انباشت شن و ته نشینی آنها مورد تهاجم قرار می‌گیرند.

معادلات برآورد کننده

از راه‌های بسیاری فرایندها و کنترل معیارهای جابجایی شن و ذرات خاک و پیش از آن درک ما از آنها می‌تواند به بهترین نحو در قالب معادله‌های برآورد کننده خلاصه‌بندی شوند، معادلاتی که در تلاش برای مدیریت مسائل همیشه در دسترس هستند.

این معادلات بر اساس رابطه بین قابلیت فرسایش و قدرت فرسایش می‌باشند. برخی از این معیارها با حجم واقعی خود نمایان شده و برخی به وسیله یک شاخص رفتار آنها را در رابطه با شرایط مناسب ایجاد شده اختیاری تعریف می‌کند. معادله‌ها می‌توانند در دو دسته وسیع گروه‌بندی شوند: ۱– معادلات کلی شامل پارامترهایی هستند که گروه‌بندی همه معیارها را توصیف می‌کنند و۲– معادلات جزئی که جابجایی ذرات خاک و شن را با پارامترهایی که تنها برخی از گروه بندی‌های فاکتورهایی که بر روی فرسایش خاک تأثیر می‌گذارند را برآورد می‌کنند.

معادلات کلی: معادلات جهانی برای اندازه‌گیری فرسایش بادی. یک نسخه اولیه از معادلات جهانی به وسیله سرویس تحقیقات کشاورزی ایالات متحده طراحی شد *(نایلز، ۱۹٦۱)* و به وسیله وودروف و سیدووی در سال ۱۹٦۵ گسترش داده شد. شرایط مناسب برای معادلات همان شرایطی است که پیرامون باغ شهر کانزاس به کار گرفته شده‌اند.

$$E = F(I.K.C.L.V)$$

که E = خاک از دست رفته محاسبه شده

I = خاک و شاخص قدرت فرسایش تپه

K = معیار زبری تپه های خاکی

C = معیار جوی

L = طول بستر در طول جهت فرسایش باد غالب

و V= مقدار مساوی پوشش گیاهی است

تأثیر مانع ساییدگی و شرایط نامساعد ته نشینی

تأثیر مدل لوله وتنوری یا خروج پرفشار

تأثیرات ارتباطات پر فشار

تأثیرات شبکه‌ای

تأثیرات حفره‌های گریز باد دیوار–مانع بزرگ

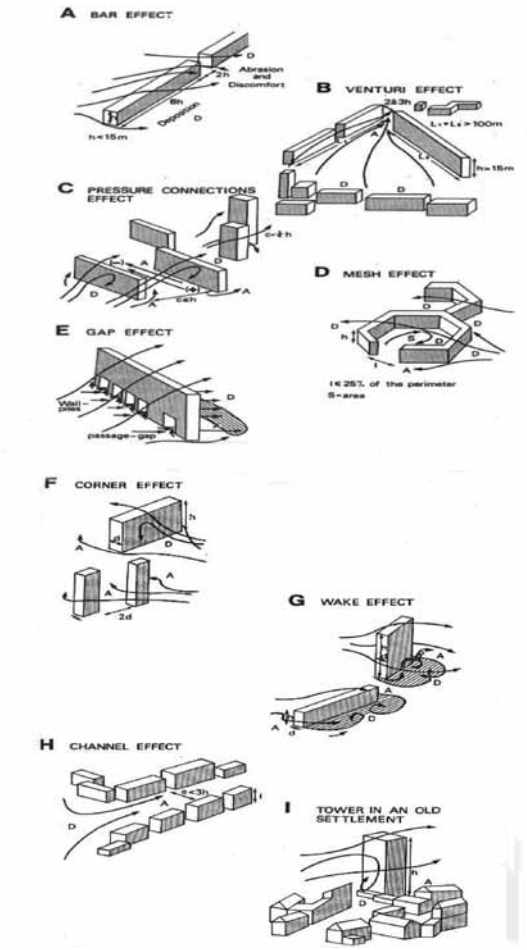
گذرگاه – کانال گریز باد

انباشته کننده گان افقی (AوB) و عمودی (C) شن *(بعد از بگنولد ،۱۹٤۱ و بلی ، ۱۹٦٤)*

تأثیرات جانبی (کناری) (F) و تاثیر جریانات (G) تاثیر کانالیزه شدن باد(H)، برج در یک سکونتگاه قدیمی(و تأثیر آن بر جریان باد) (I).

نتیجه‌گیری عملی از این معادلات دشوار است چرا که عناصر درون معادله‌ها قابل افزایش نیستند– فرسایش فقط با استفاده از نمودارها و جدول‌ها قابل تخمین می‌باشد. یک راه حل کامپیوتری طراحی و انتشار یافت *(اسکیتمور و همکاران ، ۱۹۷۰)*. به کارگیری معادلات برای نواحی بزرگ سخت می باشد، چرا که موفقیت در این کار به اطلاعات دقیقی بستگی دارد که شاید در خیلی از سرزمین های خشک قابل حصول نباشند. اما معادله یک خلاصه جامع از سیستم فرسایش بادی می‌باشد. این معادله یک ابزار پیش‌بینی کننده برای

تعیین مقدار بالقوه فرسایش بادی تحت شرایط موجود است و همچنین یک راهنمای مفید برای تعیین سنجش مورد نیاز کنترل جهت کاهش فرسایش و رساندن به سطح قابل قبولی به حساب می‌آید.



نگاره ۷: تأثیرات حرکت باد در هوا (ایرودینامیک) متعلق به دسته‌بندی ساختمانها، بر روی رسوبات شن(D) و ساییدگی و شرایط نامساعد حاصله از شن و ذرات معلق در باد (A) (اصلاح شده از گاندمر، ۱۹۷۷).

معادلات جزئی

معادلات جزئی کاملاً دقیق و قابل اتکا نمی‌توانند باشند اما می‌توانند در نواحی که ارزش معیارهای فراموش شده تغییری نمی‌کند مورد استفاده قرار گیرند. در نهایت آنها ارتباط جزئی برای ارزیابی فرسایش در مناطق وسیع به دست می‌دهند (یعنی به مناطق وسیع قابل تعمیم نیستند).

بگنولد(۱۹۴۱)، معادله ای را برای پیش‌بینی نسبت جابجایی شن استنتاج کرد:

معادله $q=\frac{c}{g}\sqrt{\left(\frac{d}{D}\right)}\frac{p}{g}V^3$

که Q= گردش کلی شن برحسب(گرم بر سانتی متر بر ثانیه)

C=ضریبی برای محاسبه درجه‌بندی (با ارزش‌های معادل ۱,۵ برای شن‌های یک شکل نزدیک ، ۱,۸ برای شن‌های ریزدانه درجه بندی شده طبیعی ، ۲,۸ برای شن با دسته‌بندی ناچیز با طیف وسیعی از اندازه ذرات، و ۳,۵ برای ریگزارها)

D= قطر شنهای ۰,۲۵ میلی متری استاندارد

D= قطر شنهای مورد مطالعه

P= چگالی هوا

و v'= میزان تغییر سرعت گاز

نگاره ۸A رابطه را تعریف کرده و نگاره ۸B قابلیت دریافت فرمول برای متغیرهای C و D را نشان می‌دهد. این معادله به صورت موفقیت آمیز توسط بسیاری از کاربرها استفاده شده است*(رجوع به کدیب،۱۹٦٤، ۱۹٦۳، دالی،۱۹٦٤، تیسوار۱۹۷٤، هاوارد وهمکاران ، ۱۹۷۷)*. سخت‌ترین پارامتر اندازه‌گیری در کار میدانی در این معادله V' می‌باشد. و در این رابطه اندازه ثبت شده‌ای در مشاهدات هواسنجی استاندارد وجود ندارد. اگرچه می‌توانند نشان دهنده آن باشد که *(بگنولد ۱۹٤۱، صفحه ٦۹)*:

معادله $V = \alpha\,(V - Vt)$

که V= سرعت باد در ارتفاع z

Vt= سرعت آستانه در ارتفاع k'

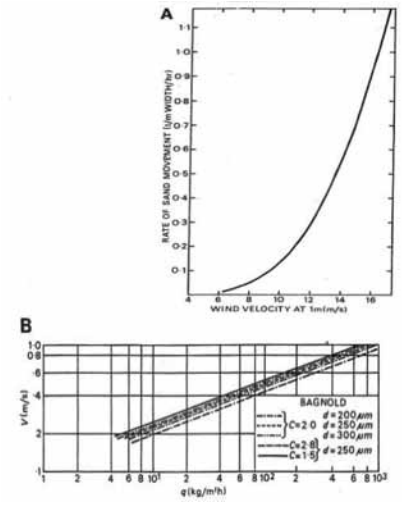
و α= ضریب ثابت به مقدار $(۰/۱۷٤\ /\log^{z}/k')^{۳}$

از این رو احتیاج به سنجش سرعت شکافت اتمسفری از بین می‌رود، بنابراین معادله فوق می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$q=ac\sqrt{\left(\frac{d}{D}\right)}\frac{p}{g}(v-v_t)^3$$

سرعت باد در یک متر (متر بر ثانیه) ،

نوشته عمودی: نسبت جابجایی شن (t/m پهنا بر ساعت)



نگاره ۸: (A): رابطه بین نسبت جابجایی شن و سرعت باد در یک ارتفاع استاندارد که آن ارتفاع یک متر می‌باشد (c=۱,۸، d=۰,۲۵mm)، (B) قابلیت دریافت معادله تخمینی بگنولد (بعد از بگنولد ،۱۹۴۱)

قرار دادن ارتفاع ده متری به عنوان ارتفاع استاندارد برای سنجش سرعت باد، یک معادله تخمینی می‌تواند برای استفاده با اطلاعات هواسنجی استاندارد نوشته شود.

$$q= \propto D \sqrt{(\frac{d}{D})} \frac{P}{G} (V_{10}-V_T)^3$$

V_{10} = سرعت باد در ارتفاع ده متری مقدار

C,d,d'، و Vt مکان به مکان متغیراند، این مقادیر می توانند از سنجش های نمایه سرعت در طبیعت و یا در تونل های باد و یا از مقادیر استانداری که قابل حصول اند، تخمین زده شوند. برای ذرات یک شکل شن که دارای ۰,۲۵ قطر هستند، C = ۱/۵ است، $K' = ۰/۳$ cm و $Vt = ۲/۵$ m/s^{-1} می‌باشند. برای ذرات شنی متوسط C = ۱/۸ ، $K' = ۱$ cm و $Vt = ٤$ m/s^{-1} می‌باشند، C=1.8 و d/D=1 می باشد، در نتیجه معادله به این شکل در می‌آید:

$$q=۴.۳۹\times۱۰^{-۱۰}(v_{۱۰}-۴.۰۰)^۳$$

منحنی بر روی نگاره ۹ نسبتی از جابجایی یک ذره شن متوسط با قطر ذره ۰,۲۵ را ارائه می دهد. بسیاری از نسبت های تجربی محاسبات نسبت جابجایی شن فراهم گشته اند(برای مرور به کار کک و وارن ،۱۹۷۳ رجوع شود). نسبت بهبود دانه‌های برخان نیز به صورت موفقیت آمیز به وسیله معادله بگنولد(۱۹٤۱) تخمین زده شده است.

$$c= \frac{q}{yh}$$

q= نسبت جریان شن

y=یک عامل انباشتن

و h= ارتفاع دانه‌ها

وزش طوفان گرد و خاک که به صورت تجربی به دست آمده مستقیماً با توان سوم سرعت باد متفاوت است و برعکس توان دوم رطوبت موثر بر روی سطح خاک است. با فرض اینکه میزان رطوبت متوسط سطح خاک برای ته نشنی مؤثر مناسب باشد، مقدار وزش گرد و خاک می تواند با استفاده از اطلاعات جوّی محاسبه شود*(چپیل و همکاران، ۱۹۶۲ و ۱۹۶۳)*.

$$C=\frac{v3}{(p-e)2}$$

توضیحات: C= شاخص جوّی در معادله فرسایش بادی جهانی

V= سرعت متوسط سالانه باد (مایل بر ساعت) در ارتفاع استاندارد ۱۰ متر

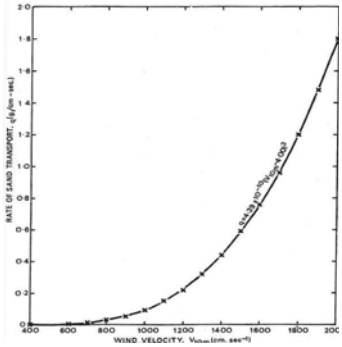
و P–E= ته نشینی مؤثر یا شاخص رطوبت *(تولتوایت، ۱۹٤۸)*.

معادله‌ای که برای استفاده از مقدار میانگین سالانه ۲,۹ برای باغ شهر کانزاس تنظیم شده بود.

جمله افقی: سرعت باد ، جمله عمودی : نسبت انتقال شن

$$C= \frac{100v3}{2.9p-E)2} \%$$

مزیت اصلی شاخص جوی این است که کار با آن آسان است و اطلاعات هواشناسی در دسترس را به کار می گیرد، اما این شاخص تعریف دقیقی از مقدار واقعی و نسبت فرسایشی ارائه نمی دهد و فقط اطلاعاتی را در مورد قدرت فرسایشی زیر سمت دیگر خاک هم ارز و شرایط زمین فراهم می کند. اطلاعات الحاقی و سایر معادلات تخمینی اگر تخمین میزان دقیق و واقعی شن‌های جابجا شده ضروری باشد، ضرورتاً مورد نیاز هستند.



نگاره ۹: معادل تخمینی برای استفاده با سنجش و سرعت باد دریک ارتفاع استاندارد یعنی ۱۰ متر

جدول ۶: شاخص مربوط به آب و هواو فرسایش باد،C

فرسایش باد	شاخص مناخی(در صد)
بسیار کم	۱۷-۰
کم	۳۵-۱۸
متوسط	۷۱-۳۶
بالا	۱۵۰-۷۲
بسیار بالا	بیش از ۱۵۰

منبع: بالون و گانور

$$R= \sum(C\ \Delta U\ \Delta)A$$

که R= نسبت جابجایی

CΔ= افزایش تراکم

uΔ=افزایش سرعت باد

A= ناحیه سطح متقاطع عمودی

استفاده از نسبت‌های تجربی بین تراکم، سرعت باد و ارتفاع:

$$R=Aa\left\{\frac{1}{m}h-n10g+bh-n\right\}dh$$

a= مؤلفه ثابت در نسبت تراکم به ارتفاع

B= مؤلفه ثابت در نسبت سرعت باد به ارتفاع

n= شیب ثابت نسبت تراکم به ارتفاع

m=شیب ثابت نسبت سرعت باد به ارتفاع

و h= ارتفاع از روی زمین

پیروی از یک سری فرض ها و پنداشتهای پیچیده و وجایگزینی ها می تواند اینگونه نشان داده شود:

$$R= \frac{56}{Vd1.23} \left[\frac{2.33}{M}+B\right]$$

که Vd= میدان عملکرد در کیلومتر

سایر نمونه‌ها از قبیل یک معادله به وسیله فوتچس (۱۹٦٤) و رابینسون (۱۹٦۸) تهیه شده اند.

اقدامات کنترلی

۱. اجتناب ، تفکیک، یا کنترل

یک قاعده کلی استوار در مدیریت محیطی اجتناب از آشفتگی سطح و نواحی پرخطر در حد ممکن است: اجتناب اغلب نسبت به کنترل هر دوی آنها در دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت، مؤثرتر و کم هزینه‌تر است.

مشابه با آن، در صورتی که آشفتگی سطح حتمی‌الوقوع باشد، در کل حذف آشفتگی بهتر است. قواعد این چنینی شدیداً به مسائل بادی مخصوصاً در حجمی وسیع و فعال از بسترهای دانه‌ای وابسته‌اند، که مقیاس نیروهای طبیعی قابل توجه و سنجش‌های کنترل علی‌رغم هزینه بر بودن و وسیع بودن آنها احتمالاً به نظر می‌رسد تنها مقدار موقتی به حساب بیایند.

بهترین ابزارهای اجتناب قرار داده شده در گزینش مکانهای محسوس نیازمند دانش اولیه در مورد مسائل موجود و یا بالقوه می باشند و بنابراین نقشه های محیطی سابق را می‌طلبند، حتی زمانی که مکان‌یابی عمومی توسعه شهری به وسیله سایر فاکتورها تعریف شوند، مکان مورد نظر باید به طور محسوسی برای اجتناب و یا به حداقل رساندن برخورد با مشکلات بادی طراحی شود. برای مثال العین در شرق ابوظبی به دلایل سیاسی و آب و هوایی در نزدیکی واحه‌های قدیمی مکان‌یابی شد. اما نقشه شهر جدید به طور موفقیت‌آمیزی به نظر می‌رسید که مشکلات جدی بالقوه حرکت شن را به حداقل رسانده، مشکلاتی که ناشی از مجاورت این شهر با بستر دانه‌ای فعال و حجیمی به وجود آمده بود.

برخی از دانشمندان به تصور مقابله با مشکلات جابجایی دانه‌ها پیوسته بودند اما نظر آنها جابجایی مواد تشکیل دهنده توده‌های شن به وسیله تیم‌های زمین روب از مکان مورد نظر به مکانهای دیگر بود. یک راه‌حل قابل پیش‌بینی نادر و عجیب همان انتقال شن‌های روان از مکان مورد نظر و حذف مشکلات به طور کلی بود- اغلب یک راه کار هزینه بر بود اما فقط در مورد توده‌های کوچک شنی عملی بود. در آخر جایی که شن با حرکت خود به سمت جاده‌ها و مسیرها و سایر زیرساختها باعث مشکل می‌شد، پاکسازی یک راه‌حل اولیه ارائه می‌داد. اما نکته این بود که این راهکار هم باید به طور مستمر ادامه پیدا می‌کرد و هم بسیار هزینه بر بود. همانگونه که قبلاً اشاره شد راهکار انتقال دانه‌ها با فشرده سازی آنها متأسفانه در عمل موفقیت چندانی به دست نیاورد، چرا که عملکرد جریان هوا بر روی سطوح تثبیت شده جدید باعث بالا رفتن احتمال به هم پیوستن بسترهای متحرک می‌شد.

۲- تثبیت پوشش گیاهی

تثبیت پایدار حرکت شن و گرد و خاک غالباً به صورت موثر فقط در توسعه یک نوع پوشش گیاهی خاص هر منطقه دست یافتنی است. این راهکار معمولاً نیازمند استفاده از ترکیبی از روشهای مکانیکی، شیمیایی، و گیاه‌شناسی می‌باشد، حد اقل تا زمانی که پوشش گیاهی تا حدودی در جای خود تثبیت شود.

الف) شرایط محیطی

اقدام‌هایی که برای تثبیت پوشش گیاهی انجام می‌شوند، باید عوامل زیر را مد نظر داشته باشند: رابطه‌های درونی بین معیارها و خصوصیات شهرنشینی و مسکونی زیرلایه‌ها، نازکی رسوبات شنی، درجه و خصوصیات طبیعی نمک‌زایی. ظرفیت ذخیره آب، مواد مغذی، و ساختار لایه‌های زیرین یا خاک، مقدار و کیفیت آب در دسترس گیاهان (از قبیل مکانیزم ته‌نشینی، رطوبت خاک، رطوبت هوا)، عمق سفره‌های آب زیرزمینی و خصوصیات شیمیایی آنها، نوع جابجایی و نسبت جایگزینی شن و گردوخاک روان در معرض جهت باد غالب و پرتو افکنی خورشید قرار می‌گیرند.

انواع اصلی شرایط تثبیت پوشش گیاهی در مناطق خشک به صورت زیر گروه‌بندی می‌شوند:

شن‌های مناطق خشک و کم آب (با بارش سالانه ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلی متر و تبخیر بالقوه ۱۵۰۰ تا ۱۶۰۰ میلی متر(تقریباً ۷ برابر) که psammophytes mesophyllous می‌تواند در آنجا رشد کند. در این نواحی امکان استفاده از طیف وسیعی از گیاهان مسدود کننده حرکت شن‌های روان وجود دارد. تثبیت پوشش گیاهی معمولاً با ایجاد پوشش گیاهی در نسبت گیاهان با استقامت بالا موفقیت‌آمیز است. پوشش سطح به سرعت گسترش پیدا می‌کند بنابراین شن‌های لم یزرع احتمال دارد بین ۵ تا ۱۰ سال در جای خود تثبیت شوند.

شنهای بیابان های خشک (با میانگین بارش سالانه ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی متر و تبخیر ۲۳۰۰ میلی‌متر) که mesophyllous psammophytes در این منطقه رشد می‌کند، تثبیت پوشش گیاهی در این مناطق امکان‌پذیر است، اما حفظ آن به آسانی انجام پذیر نیست. گیاهان جوان در این منطقه باید از بادبردگی و دفن شدن محافظت شوند، تنوع گیاهانی که حرکت شن‌های روان را خنثی می‌کنند بسیار محدود است. گونه‌های درختی در این ناحیه رشد نمی‌کنند. بوته‌ها، نیم بوته‌ها، و علف‌های همیشه سبز و یک ساله گونه‌های اصلی این مناطق را تشکیل می‌دهند. کاشت و نگهداری گیاهان در دوره‌های خشک سالی با شکست مواجه می‌شوند. نسبت توسعه پوشش سطح روند بسیار آرامتری دارد.

شن‌های بیابان‌های بسیار خشک (بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی متر و تبخیر ۲۸۰۰ میلی متر). مناطقی که ناکافی بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود که تضمینی برای پوشش گیاه مانند در مقابل شن‌ها وجود نداشته باشد. تثبیت پوشش گیاهی در این شرایط بسیار نامساعد ناممکن است (باران کم و دمای بالا در خاک و هوا). تثبیت پوشش گیاهی در مناطق محدود باید با متوسل شدن به بهبود فیزیکی و شیمیایی با حمایت عملی فراهم شده به وسیله عملیات تثبیت سطح حمایت شوند. در زمینه انتخاب گیاهان مناسب برای نواحی مربوطه منابع نوشتاری فراوانی وجود دارند. بروشور بسیار وسیعی از گونه‌های گیاهی توسط کاول در سال ۱۹۷۰ ارائه شده است.

شن‌های بیابان‌های بسیار خشک (بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر وتبخیر ۲۸۰۰ میلی متر). مناطقی که ناکافی بودن پوشش گیاهی باعث می‌شود که تضمینی برای پوشش گیاه مانند در مقابل شن ها وجود نداشته باشد. تثبیت پوشش گیاهی در این شرایط بسیار نامساعد ناممکن است (باران کم و دمای بالا در خاک و هوا). تثبیت پوشش گیاهی در مناطق محدود باید با متوسل شدن به بهبود فیزیکی و شیمیایی با حمایت عملی فراهم شده به وسیله عملیات تثبیت سطح حمایت شوند.

در زمینه انتخاب گیاهان مناسب برای نواحی مربوطه منابع نوشتاری فراوانی وجود دارند. بروشور بسیار وسیعی از گونه های گیاهی توسط کاول در سال ۱۹۷۰ ارائه شده است.

ب) تجدید حیات طبیعی

حمایت از یک ناحیه که بر روی پوشش گیاهی اصلی موجود ناحیه تأثیر می‌گذارد، شاید در نتیجه باعث تجدید طبیعی و خود به خودی پوشش

گیاهی شود. اگرچه سرعت و تأثیر این واکنش عمیقاً با شرایط محلی متفاوت خواهد بود، تاحد زیادی به مرحله زوال پوشش گیاهی و خاک و همچنین اندازه‌های مربوط به نواحی تضعیف شده و تضعیف نشده مجاور نواحی تجدید پذیر بسیار وابسته است. در کل تجدید حیات وقتی که شرایط جوّی بسیار خشک باشد، آرام‌تر صورت می‌گیرد، سطح خاک و پوشش گیاهی ضعیف می‌شود. تجدید حیات کلاً بستگی به شرایط آبهای زیرسطحی دارد که مشکلات تنزل ناحیه ای در آنها کمتر است.

ج) تجدید حیات انسان ساخت

شامل نوعی از دستکاری در زیست محیط طبیعی از طریق گیاه‌زایی با گونه‌هایی است که یا به پوشش گیاهی آن منطقه تعلق دارد و یا ندارند. بعضی از ابزارهای سنجش استفاده شده در اینجا در رابطه با آنهایی بودند که برای حفاظت خاک در مقابل فرسایش بادی استفاده شدند، از قبیل شخم زدن موازی، باروری زمین‌های بایر و استفاده از کودها و مالچها *(مراجعه شود به کوپ و دولکم، ۱۹۷٤)*، برای مثال استفاده از کودهای مناسب و مغذی در بارورسازی نواحی شنی برای تجدید حیات گیاهی دور از انتظار نیست، در شن مقدار مواد مغذی عموماً پایین است، بنابراین مقدار زیادی کود در داخل شن همیشه برای نگهداری نسبت بالای گیاهان ضروری است. هیچ چیز با کشت و کار و کاشتن ترکیب بذرهای پیچیده در یک خاک با مواد مغذی ناکافی رشد نمی‌کنند، در یک زمان واحد، قابلیت نفوذ بالا، ظرفیت رطوبتی پایین با قدرت جذب پایین‌تر شن باعث شسته شدن کودها و ایجاد مشکلات بالقوه جدی می‌شود.

مالچها فرسایش را به وسیله نگهداشتن سطح فرسایشی کنترل می‌کنند *(چیپل وممکاران ۱۹٦۳)*. اینجا پس مانده‌های گیاهی مؤثر به مقاومت آنها در برابر فرسودگی و ظرفیت آنها و جهت‌گیری (هرچه راست‌تر و عمودی بهتر)، و پس مانده‌های هرچه بهتر و با ظرفیت‌تر و کامل‌تر فرسایش را کامل می‌کنند. ابزارهای مختلف قطع پوشش گیاهی، مقادیر مختلفی از پس مانده‌ها نگهداری می‌کنند، در شن روان تکیه گاه طبیعی کوچک مالچ ایجاد شده، بنابراین تثبیت مصنوعی و انسان ساخت مورد نیاز است. به این منظور هر دو آسفالت مختلف بهبود یافته و آسفالت زود جذب در میان سایر مواد نماینده‌های بهتری هستند.

تثبیت سطح

در بعضی شرایط مخصوصاً در نواحی بسیار خشک تثبیت پوشش گیاهی در مقابل شن‌های روان غیرممکن است. بنابراین تثبیت شن باید با پوشش دهی ویژه سطحی و یا موانع ساخت دست انسان انجام گیرد.

الف) آب تنها ماده ای است که سطحی را به خوبی تثبیت می‌کند، به شرطی که سطح خیس نگهداشته شود، اگر سطح خشک شود همانطوریکه این پدیده در نواحی با تبخیر بالا سریعاً رخ می‌دهد، حمایت دیگر عملی نمی‌شود. خیسی پایدار نیازمند پاشیدن مکرر آب می‌باشد. اما مواد معدنی و رسوبات بهبود یافته از آبیاری احتمالاً چسب محافظتی مناسبی را شکل می‌دهند. این روش هزینه‌بر، اما غالباً بهترین راه حل ممکن است.

ب) ریگ، ماسه و ماسه شسته بالاتر از دومیلی متر قطر در شرایط بادی مقاوم بوده و بهترین ابزار را برای تثبیت سطوح شنی فراهم می‌کنند *(رجوع شود به چیپل و همکاران ۱۹٦۳)*، حتی شنهای دانه‌ای (در جایی که جابجایی صورت نگیرد) می‌توانند به وسیله پراکندگی ریگ‌های بزرگ، کوچک و متوسط به شکلی واحد بر روی سطح تثبیت شوند. اغلب این مشکل وجود دارد هر چند، واقعاً برای پراکندگی مواد شنی به صورت مکانیکی بر روی سطوح شنی ناپایدار نیز وجود دارد. هزینه جابجایی این مواد حجیم، فاکتور مهمی در این روش محسوب می‌شود.

ج) نفت برخلاف روح خشن خود به صورت موفقیت‌آمیز در تثبیت مواد شنی در نواحی بزرگ با هزینه کم مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجایی که پوشش گیاهی آخرین وسیله برای تثبیت سطح است، مواد نفتی نباید رشد گیاه را با اثرات سمی خود متوقف کرده و یا از نفوذ آب جلوگیری کنند. اطلاعاتی مبنی بر تأثیرات محیطی تثبیت نفتی، وجود خارجی ندارند. سه نوع مواد نفتی معمولاً در تثبیت استفاده می‌شوند. نفت غیر آسفالتی با قابلیت جاذبه کم (همان ماده‌ای که در جاده‌سازی به کار برده می‌شود)، نفت براق با قابلیت نفوذ بالا و قابلیت جذب زیاد و نفت خام *(کر ونیگرا، ۱۹۵۲، سازمان خواروبار جهانی- دانیدا،۱۹۷٤)*.

د) پاشیدن مواد شیمیایی وسیعاً در تثبیت سطوح به کارگرفته می‌شود، آنها معمولاً به تیم‌های ویژه، و پرسنل حرفه‌ای نیاز دارند. مقادیر بسته به ساختار روغن، شیب زمین، فنون پاشیدن، و درجه تثبیت خواسته شده می‌باشند. گاهی اوقات به صورت همزمان بذر و کود نیز در زمین کاشته می‌شوند. در اصل پاشیدن روغن چند میلی‌متر در سطح نفوذ کرده و جایی که آب پایه بستر شنی در حال تبخیر است و ذرات با ذرات شن مانع با هم باقی می‌مانند، رشد و نمو گیاهان به وسیله نفوذ آب در میان لایه‌های تثبیت شده حمایت می‌شود. زیان‌های به بار آمده از تبخیر غالباً به وسیله لایه تثبیت شده تقلیل می‌یابند. اما رشد ونمو مخصوصاً در جاهایی که مواد نفتی و شیمیایی متمرکز شده‌اند متوقف می‌شود. بازسازی مکانی پوسته‌های شیمیایی باید محافظت شده و یا پوسته به وسیله دوباره پاشی یا دوباره افشانی تأمین گردد، چون که تنزل سریع زمانی آغاز می‌شود که قابلیت خرابکاری در پوسته و شکستن آنرا دارد. بسیاری از تثبیت کننده‌های شیمیایی فقط موقتی هستند و بعد از یک سال یا همین حدود از هم پاشیده می‌شوند و هزینه بر نیز می‌باشند. بنابراین معمولاً تنها زمانی از آنها استفاده می‌شود که با سایر روش‌ها به کارگرفته شود، روش‌هایی از قبیل تثبیت پوشش گیاهی. لیست زیر اگرچه جامع نیست اما شامل مهمترین محصولات تثبیت شیمیایی می‌شود:

فیبرهای سلولزی چوب، با کودهای آبی و بذر گیاه با یک عنصر مقاوم (از قبیل آسفالت یا صمغ درختان)، برای تولید یک سیستم آب‌پاشی نرم ترکیب می‌شوند. شیرابه صمغ آب ترکیب بسیار مقاومی بر روی خاک‌های شنی شکل می‌دهد، اما این ترکیب مقاوم سریعاً بر روی زمین‌های اشباع شده تجزیه می‌شوند. بذرها در این ترکیب مقاوم همان توقف رشد خود را دارند بنابراین بذرها باید قبل از آب پاشی پاشیده شوند *(راسکلر و والرگا، ۱۹٦۰، راسکلر وکانکل، ۱۹٦٤)*. شیرابه‌های محلول در آب یک غشای سطحی نازک ایجاد می‌کنند که براحتی در سطح نفوذ نمی‌کند. به منظور کنترل مؤثر

فرسایش بادی، پوشش باید دائمی باشد که اگر درگیر بادهای فرسایشی شد بتواند از نفوذ آب جلوگیری کند، برای اجتناب از شکستن پوسته و شیرابه باید همراه آب خنثی رقیق شده و این عمل حداقل در شعاعی برابر شعاع کل آن ناحیه بزرگ باشد. راهکار آهار ژلاتینی، که نسبت به موارد بالا ناپایدار است، سریعاً تجزیه می‌شود، اما بسیار ارزان و کم هزینه است.

تأثیر و هزینه مواد

قیمت و تأثیر مواد تثبیت کننده به راحتی قابل اندازه‌گیری نیست از آن جهت که تاحد زیادی بستگی به شرایط ساختار محلی زمین و شرایط اقتصادی دارد. برای مثال در زمین سطحی شاید امکان استفاده از گروه‌های کشاورزی مناسب وجود داشته باشد و پاشنده‌های پیشرفته در دسترس باشند از آنجایی که در نواحی دانه‌ای آب پاشی دستی شاید ضروری باشد و یا تیم‌هایی با ماشین‌های دو دیفرانسیل مورد نیاز باشند. برای محاسبات بیشتر به کار چپیل و همکاران (۱۹۶۰ و ۱۹۶۳) لایل و همکاران ***(۱۹۶۹، آرمبراست و دیکرسون ۱۹۷۱ مراجعه شود)***. سازمان حمل و نقل آریزونا در سالهای ۱۹۷٤و ۱۹۷۵، بررسی تجربی مفیدی را در مورد تثبیت کننده‌های (نگهدارنده‌های گردوخاک) با حجم بالفعل در کنترل گردوغبار و فرسایش در طول بزرگراه‌های سرزمین‌های خشک تهیه کرد.

حصارها (پرچین‌ها)

الف) حصارها، مدل سازی آزمایشگاهی و فرضیه‌ای، تأثیر هرگونه حصار وابسته به رابطه بین شدت جریان بادهای آزاد، شیب نواحی محصور شده و سرعت آستانه مواد سیال می باشد. منطقه حفاظت شده درون هرگونه حصار، با افزایش سرعت باد از مساحت شان کاسته می‌شود. مؤثرترین حصارها، حصارهایی نیمه تراوا می‌باشند، اگرچه کاهش سرعت باد توسط آنها نسبت به حصارهای قابل نفوذ کم‌تر است، از ریزش شن‌ها و تأثیرات متعدد آنها جلوگیری کرده و تأثیر آنها، باعث بیشتر شدن جهت‌های باد می‌شود (باعث می‌شود باد در برخورد با حصار از جهات مختلف دیگری بوزد). حرکت آیرودینامیک یک بادشکن قاعدتاً آسان است، بادشکن نیروی کششی بر روی باد ایجاد می‌کند، که باعث به وجود آمدن شبکه‌ای از بی حرکتی‌ها می‌شود و بنابراین یک تأثیر تکیه گاهی به جا می‌گذارد ***(هاگن، ۱۹۷٦)***، جریان جاری در میان بادشکن کاهش پیدا کرده و کشش بادشکن به محض این که بادشکن کاهش پیدا کند افزایش می‌یابد ***(ارجاع به ینسن، ۱۹۵٤ و بالناکس، ۱۹٦۷)***. تحت شرایطی که حصار منفذهای زیادی داشته باشد، منطقه‌ای از جداسازی جریان بزرگ مقیاس در بادپناه بادشکن اتفاق می‌افتد- پرمنفذی پایین جریان مخالف متلاطم قوی تر در منطقه جدا شده ***(کاسترو ۱۹۷۱، راین ۱۹۷٤، مولهرن و برادلی ۱۹۷۷)***. بنابراین لزوم ایجاد تمایز بین کاهش باد اصلی و حمایت باد حس می‌شود، درحالی که بادشکن‌های بدون منفذ کاهش بیشتری در سرعت باد اصلی اعمال می‌کنند، تلاطم عظیم‌تر در جهت بادشکن احتمال دارد که آن را برای هرگونه محافظتی در برابر باد بی اثر کند.

ب) کمربندهای حفاظتی و پوشش‌های گیاهی بادشکن. جاهایی که آب کافی برای آبیاری در دسترس باشد و یا سفره‌های آب زیرزمینی به صورت منطقی نزدیک به سطح زمین باشند، عملیات بادشکنی که توسط گیاهان زنده انجام می‌گیرد می‌تواند در کنترل فرسایش مفید واقع شود. مطالعات انجام شده در مورد بادشکن‌ها برای کنترل فرسایش در سطح وسیعی در آمار و گزارشات موجود می‌باشد ***(کابورن ، ۱۹۵۷، رید ، ۱۹٦۱، استکلر، ۱۹٦۲؛ ون ایمرن و همکاران، ۱۹٦٤؛ بالناکس، ۱۹٦۷، سازمان خواروبار جهانی، ۱۹٦۹؛ بیمایا، ۱۹۷٦؛ تینوس،۱۹۷٦)***.
بادشکن‌ها در کنترل فرسایش بادی به دو رویه اصلی کمک می کنند- آنها قدرت شکاف دادن باد سطحی را کاهش می‌دهند، و حرکت شن و گرد و خاک را متوقف می‌کنند. کنترل بهینه فرسایش بادی وابسته به به کارگیری متغیرهای طراحی، از قبیل، پرمنفذی، پراکندگی پرمنفذی، ارتفاع، پهنا، شکل، و قدرت جهندگی می‌باشد. جهت گرایی نیز مهم می‌باشد- برتری نیروهای بادی ***(اسکیتمور،۱۹٦۵، اسکیتمور و وودروف، ۱۹٦۸)***، می‌تواند در معلوم کردن اکثر جهت‌گیری‌های مهم مورد استفاده قرار گیرد (در زاویه‌های درست نسبت به نیروهای غالب فرسایش بادی).

بادشکنها می‌توانند در بهبود مؤثر میدان دید و کیفیت هوا مؤثر واقع شوند. براساس مطالعات هوندا (۱۹۷٤)، گیاهان می‌توانند به طور مناسب با تناسب معکوس نسبت به پرمنفذی و خصوصیات طبیعی رابطه وابسته به خصوصیات گرد وخاک و پوسته حصار خوبی برای شن‌ها باشند. در حالی که کاهش پرمنفذی برای محاصره شن تسلیم می‌شود، اما مناطق نهایی تلاطم بالا در باد پناه حصارها به وزش شن ها وابسته است. روشن است که سازشی برای انتخاب بهینه ضروری می‌باشد. بادشکن ها دارای محدودیتی هستند آنها تلاشی را در رقابت برای نواحی مجاور برای رطوبت و مواد مغذی به عمل می‌آورند ***(ارجاع به وودروف و همکاران ، ۱۹۵۹)***. بادشکن‌ها هزینه بر هستند، نواحی محدود پناهگاهی می‌باشند، ساخت آنها بسیار زمان بر است، به آب نیاز دارند، و ثابت هستند).

ج) حصارهای منحرف کننده می‌توانند از مواد منحرف کننده ساخته شوند. از قبیل پنل‌های چوبی، صفحات آهنی، دیوارهای سنگی، و روشن است که باید به اندازه کافی در برابر باد مقاوم باشند. معمولاً این حصارها در یک شیب مشخص و یا در یک الگوی V مانند، بر یک زاویه تند نسبت به جهت باد برپا می‌شوند. هرچه تندی زاویه بیشتر باشد، طول عمر حصارها بیشتر می‌شود، اما از محافظت نواحی کاسته می‌شود.

ارتفاع حصارها در کمترین حالت از آنجا که اکثر آنها در ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از سطح حمل شده اند، در حداقل نگه داشته شده‌اند. سطوح اطراف حصارها برای اجتناب از فرسایش باید تثبیت شده باشند، به عبارت دیگر امکان فروریختن فنس از طریق خالی شدن زیر آنها وجود دارد. حصارهای منحرف کننده، طبیعتاً هزینه‌بر هستند، معمولاً موقتی‌اند و اغلب نیازمند پاکسازی تجمع بادپناه‌ها می‌باشند.

د) حصارهای بازدارنده. نگاره ۱۰ برخی از انواع حصارهای بازدارنده را به ما شناسانده است. جالب آنکه این حصارهای ارزان قیمت، ممکن است از پوشش‌های گیاهی محلی از قبیل ساقه‌های درخت نخل برپا بشوند. در واقع استفاده از توان دوم‌های لوبین، شبکه‌ای از خطوط بوته‌هایی که یک فضای تقریباً دو متری را در برمی‌گیرد، که ناحیه‌ای بزرگ از ترکیب سمت باد که نیاز به حمایت دارد را پوشش می‌دهد، که مخصوصاً موفقیت‌آمیز بوده است

(مراودات شخصی فوکس). تأثیر این گونه حصارها در کاهش ظرفیت حمل ذرات توسط باد هم پیش از مانع و هم پس از مانع می‌باشد (نگاره A ۱۱). حجم ذرات انباشته شده در اطراف حصارها، نسبت معکوس با ارتفاع آنها دارد *(کر و نیگرا،۱۹۵۲)*.

بار اول که حصارها جاگذاری می‌شوند به نظر می‌رسد که سریعاً پر می‌شوند، اما جایگذاری بعدی آنها عمر مفید حصارها را به طور مؤثری به چهار برابر افزایش می‌دهد، جایگذاری آنها برای سومین دفعه طول عمر آنها را به طور حیرت‌آوری تا نه برابر افزایش می‌دهد (جدول ۷). ارتفاع بالفعل و لازمه و مراحلی که در آن مشخص می‌شود که در کدامیک از این مراحل ارتفاع بالا برود مستقیماً به نسبت انتقال شن بستگی دارد- فاکتور مقدار هر دو عامل تخمینی ارتفاع و طول عمر حصار و فاکتوری که به آسانی قابل تعیین است. تأثیر حفاظتی یک حصار زمانی که توسط انباشت شنی که شکل طوفانی به خود گرفته دفن شود، پایان می یابد، از این رو باد بدون آنکه ظرفیت انتقال خود را از دست دهد، از آن عبور می‌کند.

حصارها باید در فاصله‌ای از مکانی که وظیفه حفاظت از آن را دارند کار گزاری شوند و در زاویه درستی نسبت به مسیر باد غالب کارگذاشته شوند. یک سیستم سه حصاره برای ایجاد اتصال با تثبیت سطح بین حصار بعدی و مکان حفاظت شده استفاده شده است که این امر نشان می‌دهد که این سیستم مقاومت زیادی دارد و استفاده از آن هزینه کمی را تحمیل می‌کند (نگاره B ۱۱).

توده‌های شنی به طور عمده حول حصار شماره یک جمع می‌شوند. همزمان با کاهش تأثیر حصار شماره یک توده‌های شنی، در پای حصار شماره دو افزایش پیدا می‌کنند و حصار شماره یک نیاز به سربرآوردن و بیرون آمدن از زیر توده‌های شن دارد. نقش حصار شماره سه بیرون آوردن حصارهای شماره ۱ و ۲ از میان شن‌های انباشته شده می‌باشد.

ارتفاع حصار شماره یک تا زمانی که توده‌های انباشته شده پای حصارها، حصار شماره ۲ را کاملاً پوشش نداده است، قابلیت افزایش دارد، از این رو حصار دیگر می‌تواند در جهت روبه باد کارگذاری شود. ساویج (۱۹۶۳)، از حصاربندی چوبی و سیمی در ذرات ساحل در شرایط جوی معتدل استفاده کرد، و به این نتیجه رسید که ارتفاع مؤثر حصار با برپاکردن حصار در ارتفاع پایه ۰/۳ متر از سطح زمین افزایش پیدا می‌کند، که در این حالت نسبت به حصاربندی که با زمین در ارتباط است آهسته‌تر پر می‌شود. او دو روش از ساختمان دانه‌ها را پیشنهاد کرده و نتایج و روش‌هایش کاملاً در کار خودش با بوتهاوس تشریح شده‌اند(۱۹٦۸).

مانوهار و برون (۱۹۷۰) نتایج مشابهی را در مورد گسترش ذرات و انباشت آنها اطراف حصارها مشاهده کردند.

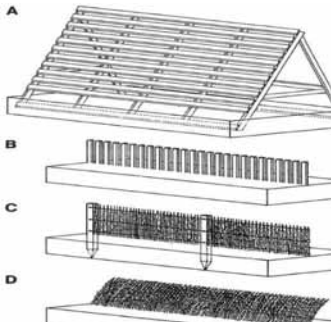
کنترل مهندسی و معماری. خانه‌سازی و سکونت‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که مشکلات مربوط به جابجایی ذرات خاکی و شن را کاهش داده و یا به کلی حذف کنند و این امر از طریق برای مثال توجه به چیدمان، طرح‌بندی و جهت خانه‌ها *(دوشنین، ۱۹۵۸)* صورت می‌گیرد. دیوارها, درها و پنجره‌ها ترجیحاً در خلاف جهت باد باشند تا نفوذ ذرات گردوخاک و شن به خانه به حد اقل برسد. سیستم‌های تهویه هوا مطلوب باشند درهای ورودی و خروجی ضد طوفان، چهارچوب‌های محافظ پنجره، و ابزارهای مقاوم در آب و هوای مختلف مطلوب است که برای ساختمانها نصب شوند.

پیکربندی ساختمان‌ها می‌تواند به حل مشکلات جابجایی ذرات گرد و خاک و شن کمک کند. اثر مانع (نگاره A ۷) می‌تواند با ضمانت اینکه ساختمانها به حد کافی جداسازی شده‌اند به حداقل برسد.

بنابراین نواحی دارای قدرت خودپاکسازی بدون شرایط نامساعد غیرملزوم هستند. مناطق نامساعد فرض شده با تونل مخاطرات می‌تواند با کاهش ارتفاع ساختمان‌ها، و خالی کردن فضای باز بین نیروهای همگرا از مخاطرات طبیعی در امان بمانند.

این عمل به باد اجازه عبور از روی کانال ایجاد شده در بین ساختمانها سریع‌تر از میان آن می‌دهد (نگاره B ۷).

تأثیرات ارتباط فشرده (نگاره C ۷) و زیان‌های سابق متقاطع تعریف شده با ضمانت اینکه ساختمان‌ها در جهت عمود بر جهت باد ساخته شده‌اند از بین می‌رود، و اگر ساختمان‌ها اینگونه شده باشند، ساختمان‌ها حداقل فضای خالی بین خود را معادل با ارتفاع ساختمانها گسترش داده‌اند. تأثیرات فاصله (نگاره A ۷) می‌تواند به وسیله ارتفاع‌های ساختمان‌سازی حصار مانند به حداقل برسد.



نگاره ۱۰: انواع حصارهای بازدارنده شن

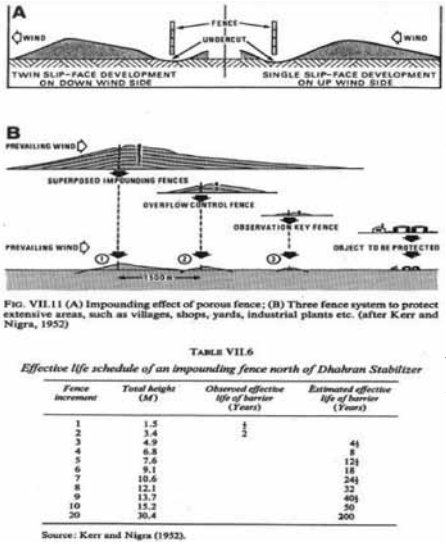
الف) حصارهای برفی نوع الف که در قسمتهای سیار نصب شده‌اند،

ب) حصارهای پرچینی- هرکدام از قسمتهای این حصار متحرک می‌باشد، با کارگذاری و نگهداری آسان،

ج) حصارهای تیرکی که به هر کدام از تیرکها شبکه‌ای از سیم بافته شده است، این حصار غیر متحرک بوده و هر زمان که برای انباشت دانه‌ها مورد نیاز باشد باید دوباره کارگذاشته شود

د) حصارهای سیمی، احتمالا ارزان‌ترین حصار برای کارگذاشتن در جایی که سیم در دسترس باشد. این حصارها باید هر زمان که دانه‌ها در پای آن کاملا انباشته شدند از جا کنده و دوباره کار گذاشته شوند. *(بعد از مک لافلین و براون ،۱۹۴۲)*.

۱) ایجاد سطح شیب دار روبه باد دوتایی در جهت مسیر باد وزنده از زیر حصار ۲) ایجاد سطح شیب دار تکی روبه باد در جهت باد فوقانی ۳) حصار ٤)برش زیرین ۵) باد غالب ٦) حصارهای بازدارنده منطبق شده ۷) حصارهای کنترل جریان پیرامونی ۸) باد غالب ۹) حصار کلیدی لحاظ شده ۱۰) مکان تحت حمایت



نگاره ۱۱: (A) تأثیرات بازدارنده مربوط به حصارهای پرمنفذ B) سیستم حصار سه تایی برای حمایت از نواحی وسیع از قبیل آبادی‌ها، فروشگاه‌ها، فضاهای باز، گیاهان صنعتی و غیره *(بعد از کر و نیگرا ، ۱۹۵۲)*

FIG. VII.11 (A) Impounding effect of porous fence; (B) Three fence system to protect extensive areas, such as villages, shops, yards, industrial plants etc. (after Kerr and Nigra, 1952)

TABLE VII.6

Effective life schedule of an impounding fence north of Dhahran Stabilizer

Fence increment	Total height (Δf)	Observed effective life of barrier (Years)	Estimated effective life of barrier (Years)
1	1.5	½	
2	3.4		4½
3	4.9		8
4	6.8		12½
5	7.6		18
6	9.1		24½
7	10.6		32
8	12.1		40½
9	13.7		50
10	15.2		200
20	30.4		

Source: Kerr and Nigra (1952).

جدول ۷: فهرست عمر مفید یک حصار بازدارنده شمال تثبیت کننده ظهران

پراکندگی حصارها	ارتفاع کلی	عمر مفید مشاهده شده حصارها(به سال)	عمر مفید تخمینی حصارها
۱	۱،۵	۱	
۲	۳،۴	۲	
۳	۴،۹		۴
۴	۶،۸		۸
۵	۷،۶		۱۲
۶	۹،۱		۱۸
۷	۱۰،۶		۲۴
۸	۱۲،۱		۳۲
۹	۱۳،۷		۴۰
۱۰	۱۵،۲		۵۰
۲۰	۳۰،۴		۲۰۰

منبع: کر و نیگرا (۱۹۵۲)

تأثیرات کانالیزه کردن باد (نگاره ۷ F) می‌تواند با جهت‌گیری دقیق ساختمان تقلیل یابد. کیسه‌های هوای تولید شده به وسیله دسته‌بندی شبکه‌ای (نگاره ۷ D) به عنوان مزیتی عظیم در طراحی ساختمانها می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ابعاد شبکه‌های توری مشخص کننده این است که باد از اطراف تور شبکه‌ای عبور می‌کند و یا به درون آن می‌وزد. گاندمر (۱۹۷۷) کارآمدی‌های بی بعدی را پیشنهاد داد که

S / hm^2

S= ناحیه سطح شبکه توری

hm=ارتفاع متوسط

که این معادله مسیر باد را چه از اطراف شبکه بگذرد و چه از داخل آن تعیین می‌کند.

نکته: یک شبکه توری بسته با فضای باز برای باد پناه و: $s|h^{۲}_{m} \leq ۲۰$

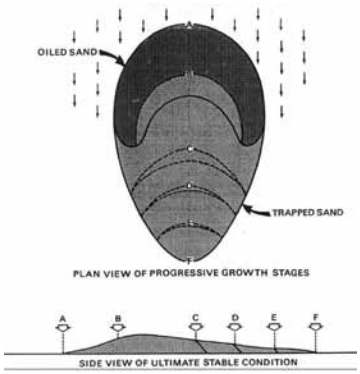
با یک هرم پیرامونی یا شکلی نیم کره‌ای که مشکلات وزش شن و ذرات خاک به همراه باد و ته نشینی آنها را به حداقل برساند، باد ممکن است از اطراف شکل و اطراف گوشه‌های شکل عبور کند. بسیاری از ابزارهای سنجش و کنترل که قبلاً طرح ریزی شده بودند باید در پیوست به کاربری دسته‌بندی ساختمانها به کارگرفته شود، چون که سراشیبی‌ها در هر پیکربندی‌ای مناطقی را به عنوان پناهگاه (محل انباشت) مکان‌یابی می‌کنند که این مناطق دارای مشکلات رسوب‌گذاری تعریف شده یا مشکلات شتاب بادی می‌باشند.

تثبیت ذرات و تخریب آنها

انباشتن و فشرده‌سازی ذرات راه حل مناسبی برای مشکلات ناشی از جابجایی ذرات خاک و شن نیست. سطح مسطح شن ناپایدار است، و ذرات شنی سریعاً شروع به پس رفت می‌کنند. انتقال دانه‌ها هزینه‌بر است، و فقط زمینه بهبود موقتی وضعیت را فراهم می‌کند. تخریب دانه‌ها به وسیله حفاری- که به وسیله حفاری طولی و متقاطع با خاکبرداری در میان دانه‌ها برای تخریب همگنی بافت ذرات صورت می‌گیرد، انجام می‌شود- این عمل گذشته از آن هزینه‌بر و موقتی است. ذراتی که در فاصله قابل توجهی از مکان درمعرض خطر قرار دارند، (حداقل ۲۰ برابر ارتفاع ذرات) می‌توانند به بهترین نحو به وسیله حصارها و یا ترمیم سطوح تثبیت شوند.

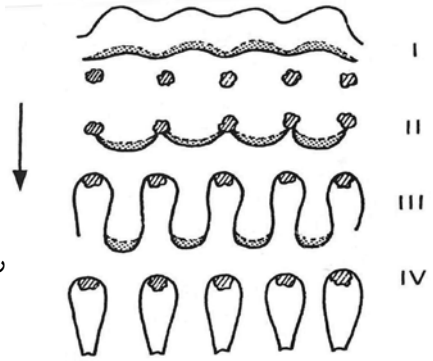
حصارهایی که در جهت روبه باد نصب شده‌اند باعث ته‌نشینی محلی ذرات در پای حصارها می‌شوند. زمانی که تأثیر پناهگاهی حصارها به طور مؤثری کاهش یابد، باد شن بیشتری را با خود از همان سمت روبه باد حصارها حمل می‌کند، و این عمل بدین شرط صورت می‌گیرد که حصارهایی که در زیر آوارشدن مدفون شده‌اند، از جا کنده نشده و دوباره در جای بهتری به صورت باد پناه نصب نشوند. و در آخر ذرات سریع‌تر منتقل شده و از اندازه و حجم آنها کاسته می‌شود. پراکندگی ذرات و تسریع در آن زمانی ممکن می‌شود، و تسریع در آن صورت می‌گیرد که فضای بین حصارها و ذرات به وسیله سطوحی برای جلوگیری از فرسایش بادی شنی پوشیده شده باشند. زمانی که سمت روبه باد سطوح دانه‌ای به وسیله نفت، مواد شیمیایی و غیره تثبیت شده باشد، ذرات دانه ای دیگر حمل نمی‌شوند، اما ذرات شنی که به ارتفاع یک فوتی سطح شیب‌دار روبه باد رسیده‌اند، به وسیله بادی به سرعت بالاتر از بالای سطح تثبیت شده حمل می‌شوند. برای مثال خطوط هلالی شکل بیرون یک برخان، زمانی که شن‌ها سمت باد پناه انباشته می‌شوند به حالت بیضی شکل که در مقابل باد مقاومت دارد تغییر شکل می‌دهند، بنابراین ذرات تثبیت شده در چند مرحله ناحیه ذرات اصلی را به تسخیر خود در می‌آورند (نگاره ۱۲). و جابجایی داخلی شن همچنان به روی دانه‌ها ادامه دارد. به دلیل رشد بادپناهی قابل توجه دانه این ماده زمانی می‌تواند به کارگرفته شود که جابجایی بنیادی آن در مسافتی حدود سه برابر وسعت عملکردی دانه از مکان مورد حمایت باشد. وقتی که ذرات در حال انتقال بیش از حد به مکان حفاظت شده نزدیک باشد، شیب سمت باد در یک رویه تثبیت شده و حصارهای بازدارنده شدن در برابر جهت وزش باد نصب می‌شوند. حصارها مقدار انباشت شن را در یک فوتی ارتفاع ذرات کاهش داده و بنابراین از رسوب‌گذاری بادپناهی آنها جلوگیری می‌کند. تثبیت

بسترهای دانه‌ای به وسیله پوشش گیاهی هم هزینه بر است و هم مدیریت بسیار پیچیده‌ای را می‌طلبد. برای اینکه پوشش گیاهی عملکرد موفقیت آمیزی داشته باشد باید تجمع و انباشت رسوبات به گونه‌ای قطع شود که جلوی بادبردگی شن‌ها و دفن عوارض در میان آنها گرفته شود. و سطح درخت کاری شده نیز باید تثبیت شود.



نگاره ۱۲: تثبیت ذرات به وسیله نفت پاشی
(بعد از کر و نیگرا، ۱۹۵۲)

۱) شنهای نفتی ۲) شن های محصور شده ۳) نمایی از رشد تصاعدی ٤) نمای جانبی از شرایط پایدار نهایی



نگاره۱۳: تغییر شکل پوشش گیاهی ریگهای حمل شده متقاطع با ریگ‌های سهمی وار: ۱) لحظه نزدیک شدن ریگهای سهمی وار به بوته؛ ۲) بخش تثبیت پوشش گیاهی ریگ‌های متقاطع، امکان پذیر شدن انتقال و جابجایی بخش آزاد آنها در میان شکافها بین بوته‌ها و شکل گیری ریگهای سهمی‌وار؛ ۳) مرحله پس آیند در تغییر شکل ریگهای سهمی‌وار و کشیدگی آنها؛ ٤) مرحله شکل‌گیری ریگها به موازات باد. نقطه چین ها- بخشهای لغزنده؛ خطوط پراکنده - خطوط قله های ریگها* ***(پتروف، ۱۹۷٦ پس از مارتون)***

نتیجه‌گیری

کنترل شن و ذرات گردوخاک اساساً در مناطق خشک با نواحی مربوط متفاوت است. زیرا نواحی خشک وسیع‌اند، مشکلات آنها جدی، وضعیت اقتصادی مشروط و ضعیف و حوزه دخالت انسان مخصوصاً در حوزه پوشش گیاهی بسیار محدودتر است. درکل راهکارهای متعدد جداگانه استفاده شده در هماهنگی محیط بهتر از یک راهکار عمل می‌کنند. تثبیت مؤثر پوشش گیاهی معمولاً نیازمند ترکیب روش‌های مکانیکی، شیمیایی و زیستی حداقل در بافت درونی رشد پوشش گیاهی است. شاید با تثبیت مؤثر پوشش گیاهی دیگر نیازی به بکارگیری استراتژی‌های حفاظتی دیگر نباشد. کنترل موفقیت آمیز شن و ذرات ریز تا حد زیادی به برآورد هزینه‌ای کارشناسانه مشکلات قبل از بکارگیری راهکارها و پس از آن مدیریت درست که شامل نگهداری و نظارت می باشد بستگی دارد.

مطالعه موردی

کاهش ذرات گرد و خاک در اگنیو، غرب استرالیا. عملیات پیشنهاد شده استخراج و کاوش نیکل به وسیله یک شرکت استرالیایی. عملیات استخراج این شرکت باعث به وجود آمدن مشکلات فرسایش بادی جدی در شهر اگنیو و شهرک جدیدی که بر روی یک پوسته شنی با ده متر ارتفاع قرار دارد شده که جهت حرکت دانه‌ها را از شمال به غرب و از جنوب به شرق تغییر داده است.

بادهای مؤثر غالب در این نواحی از شمال غربی به جنوب غربی می‌وزند. اکثر دوره‌های بحرانی در تخریب سطوح از اکتبر شروع شده و تا فوریه ادامه دارد و این زمانی است که بادهای نیرومند غربی می‌وزند و بارش نیز در حداقل میزان خود قرار دارد و از سطح بالایی از تبخیر نیز مشاهده می‌شود. پراکندگی فصلی و بارش کلی در این نواحی بسیار متغیر است. میانگین بارش سالیانه در این مناطق ۲۰۰ میلی متر است، اما مقدار آن برای هر یک سال می‌تواند تا دو برابر پیش برود، و مقدار آن شاید در بسیاری از نواحی صفر باشد. جنگل‌های با ظرفیت های مختلف به این نواحی هویت داده‌اند. درختان در این مناطق دارای حداکثر ده متر ارتفاع و دارای تاجهای دورانی می باشند.

شماری از بوته‌ها و گونه‌های درختان ممکن است پتانسیل برنامه‌های کاشت مجدد را داشته باشند: اقاقیا، کمپینیا، ارموفیلا، استریاتکالیکس اکالیپتوس، گانگیلوکارپا، الدفیلدی.

مارشال و چرچ وود (۱۹۷٤) از بخش مدیریت منابع زمینی، CSIRO، لیستی از راهبردهای ترمیم و کنشهای ضروری برای حمایت پایداری سطوح خاکی تهیه کردند(جدول ۸). روش‌های پیشگیری که آنها توصیه کردند، باید برای هر کار توسعه‌ای انجام شوند. اصولاً مزایای کاهش ناپایداری سطوح در محیط‌های مطبوعی که مردم مشغول به زندگی و کار هستند بازتاب داده می‌شوند. منافع و کاربردهای دیگر شامل بهبود سطح محیط‌های قابل دید؛ تدارک با هزینه سازگاری کم در فرم پارکها، دنباله‌های طبیعی، و نواحی تثبیت شده؛ و ارزشهای علمی نگهداری محل سکونت مختل نشده، می‌شوند.

خلاصه

این فصل بازنگری خلاصه‌ای را در مورد مشکلاتی که به وسیله فرایندهای بادی در سکونت‌گاه‌های سرزمین های خشک به وجود آمده اند، ارائه کرده است، و همچنین پی آمدهای فیزیکی که در پس آنها به وجود می‌آیند و گستره اقدامات مدیریتی که به رفع این مشکلات کمک می‌کند نیز بررسی شده‌اند. شماری از پیشنهادها و راه‌کارها در این فصل درج گردیده‌اند که نشان دهنده موفقیت مطالعه بررسی و کنترل جابجایی شن و ذرات گرد و خاک در سرزمین‌های خشک است. اما در پیگیری راهکارهای فراگیر ارائه شده نیز مشکلاتی وجود دارد. پیشنهاد اول آن بود که راهکارهای پیشنهادی فقط هماهنگ با شرایط یک منطقه مشخص باشند. راهکار دوم پیشنهادی، ارزیابی شرایط و نتایجی بود که برای روشن سازی قواعد مناسب در مورد جابجایی رسوبات و حرکت باد مطرح گردیده بودند.

اگر جابجایی ذرات شن و ریگ روان مشکلی بالفعل و یا بالقوه در یک سکونت گاه شهری باشد، در صورت رفع خطرات ناشی از آنها می‌توان انتظار

جدول ۸: اقدامات پیشگیری پیشنهادی

پایداری منطقه‌ای ۱. احداث کمربندهای حفاظتی و کاشت ردیفی پوشش گیاهی طبیعی.	نقشه برداری دقیق جهت تعریف نواحی و ابقای باغات شخصی و درختچه‌ها برای حفظ ساختمانها، جاده‌ها و ... این برنامه ریزی باید زمینه ابقای نواحی و دوری آنها از مخاطرات را فراهم کند.
۲. ابقای پوشش گیاهی طبیعی در مناطق حایل پیرامونی و ایجاد منطقه امن به وسعت یک کیلومتر.	جهت‌گیری شمال به جنوب(اختلاف ۹۰ درجه با باد غالب) برای بیشترین تاثیرگذاری. مناطق محصور ابقا شده در بدو کار برای پاکسازی و ملاحظه وسائل کار و محدودیت‌های گنجایشی در منطقه حائل محصور دست به ایجاد گلخانه‌هایی برای پرورش گیاهان بومی اصلی بزنند. ایجاد شرایط پایدار برای آب، کودهای طبیعی حاصل از چوب های فرسوده، صخره های فروریخته، برای همسان سازی تثبیت کننده های پتروشیمی مورد استفاده قرار می گیرند، گیاه به عنوان حصار عمودی در نواحی به کار می روند. حصارهای عمودی ۳۰ تا ۵۰ درصد پرمنفذی، اطراف خانه‌ها، مانع‌های سخت یا محکم، کمربندهای حفاظتی، درختان، و حصارهای گیاهی برای ذرات پیرامون شهرکها و ... .
پایداری محلی ۱. تثبیت سطوح	ساختمانها به طور منظم چیده نشده‌اند اما در کاهش سرعت باد نقشی اصلی ایفا نمی‌کنند. جاده ها و مسیرهای منحنی شکل و متمرکز با سطوح سخت با عدم وجود بخشهای استوار طولانی که در جهت شرق به غرب ادامه پیدا می کنند: توسعه باغات و کاشتن درختان در خیابان ها.
۲. حصارها	حصارهای جانبی و پوشش زمین با استفاده از کاشتن گیاهان، آبیاری، و کوددهی بهبود یافته است. دسترسی و استفاده محدود از مسیرهای ریگزاری.
۳. طرحهای معماری و مهندسی	حصاربندی نظارتی، کمربندهای حفاظتی، مناطق حائل، و ... نظارت مشخص کننده ساخت و ساز و عمارت می باشد و درختکاری دسترسی عمومی را مورد نظارت قرار می دهد و مشخص کننده تعریفها و مخاطرات نواحی فرسایش شده و ناپایدار در همان مرحله اول است. محل جمع‌آوری(دپو) پس ماندها باید در شمال یا جنوب شهرک، مکان‌یابی شوند. شرایط نامساعد که برای رشد گیاهان تعبیه شده، باید به وسیله کودهای شیمیایی و خاکی پایدار شود. آبهایی که زیاد مورد استفاده قرار گرفته اند، باید برای جلوگیری از خشک شدن و نمکی شدن آنها تحت نظارت قرار گیرند.
مدیریت چشم انداز ۱. عدم گسترش بر روی چشم اندازهای ناپایدار و تثبیت نشده. ۲. نظارت پایدار ۳.نظارت بر فعالیت‌های معدنی و تاثیرات آنها.	رابطه جهت پاکسازی و اصلاح اقدامات غیر قانونی محلی
پیاده سازی ۱. قواعد پایانی برای صدمه به پوشش گیاهی ۲. هماهنگی پاکسازی و ساخت و ساز	به حد اقل رساندن سطوح محافظت نشده بایر

منبع: مارشال و چرچ وود(۱۹۷٤)

دستیابی به منافع اقتصادی قابل توجهی را داشت. نقطه قابل توجه تر آن که این نتایج که منجر به رفع مشکلات می‌شوند بایست در طراحی شهری لحاظ شوند. نواحی که دارای ذرات شنی کاملاً فعال هستند باید از خطر برحذر شوند. از آنجایی که این ممکن نیست که نواحی و مناطق مورد حفاظت، کاملا ً از مشکلات جابجایی شن و گردوخاک در امان بمانند، اما به بهترین شکل در نواحی منحصر به فردی می‌توانند قرار گیرند و تحت یک حمایت جامع و کامل قرار گیرند.

برای مثال مسیرهای ارتباطی در طیف‌های متنوع می‌توانند همه از یک قاعده پیروی کنند و آن قاعده کلی می‌تواند به گونه‌ای مناسب مورد حمایت قرار گیرد. دلایلی که طبق آنها نواحی باید در مقابل مشکلات بادی حمایت شوند بایستی کاملاً بر پایه درک درست و علمی از پروژه حمایت و تأثیرات آن بر روی نواحی مجاور باشد. چرا یک ناحیه فرسایش می‌یابد؟ فرسایش چه مشکلاتی را به بار می‌آورد و راهکارهای نهایی برای رفع این مشکلات کدام‌اند؟ چگونه این فرایند بر روی محیط زیست طبیعی اثر می‌گذارد (مخصوصاً مشکلات ناشی از شن)؟ برای پاسخ به این سؤالات و سؤالات بنیادی مرتبط به آنها، نقشه‌برداری ساختار زمین شناسانه برای تعریف انواع اشکال نواحی که مسائل بادی در آنها وجود دارد و نیروهای آنها، یک اساس و قاعده اصلی به حساب می‌آید، و این قاعده به ایجادیک طبقه بندی فضایی از مخاطرات مربوطه کمک می‌کند. این اقدام باید با یک روش نظارتی بسیار عالی و مؤثر پیگیری شود تا بتواند عناصر نیروی حرکتی و دینامیک سیستم باد را تعیین کمیت کند.

در ارزیابی راهکارهای نهایی که برای شفاف سازی مدارک علمی اساسی به کار می روند، مطلوب است که تحلیل‌های هزینه- درآمدی انجام شود. اما به علت وجود بسیاری از مزایای ناملموس (از قبیل زیبایی شناسی)، وبسیاری از هزینه‌های نامعلوم دیگر، انجام این تحلیل‌ها بسیار دشوار گشته است. بعلاوه پروژه حمایت هم قبل از پیاده‌سازی و هم در طول آن و به همین نحو بعد از آن باید تحت نظارت باشند، تا اطلاعات بدست آمده در مورد سیستمهای بادی و پیامدهای آنها ملموس شده و بتوان اقدامات مدیریتی را مطابق با آنان شکل داد و پروژه های شبیه آن را در نواحی مجاور نیز پیاده سازی و اجرا کرد.

در آخر برای پشتیبانی از اقدامات حفاظتی و تضمین اینکه تمام مزایای آنها ملموس شوند، نظارت بر کاربری زمین (از قبیل احکام نظارتی بر شن و ذرات، و همگون سازی موفق) معمولاً ضروری می‌باشد.