



خلاصه جزوه

درس دینامیک فرسایش بادی و ریزگردها

(مقطع دکترای مدیریت و کنترل بیابان)

مدرس: شیما نیکو

خرداد ۱۴۰۱

Wind Erosion

Wind erosion is a natural process that moves soil from one location to another by wind power. It can cause significant economic and environmental damage.

Wind erosion can be caused by a light wind that rolls soil particles along the surface through to a strong wind that lifts a large volume of soil particles into the air to create dust storms.

While wind erosion is most common in deserts and coastal sand dunes and beaches, certain land conditions will cause wind erosion in agricultural areas. So, it is wind that drives the erosion, but it's mainly the landscape and condition of the land which leads to the most damaging wind erosion.

فرسایش بادی : برداشت، حمل و رسوبگذاری ذرات خاک

- 1- Detachment
- 2- Transportation
- 3- Deposition

شرایط اصلی وقوع:

- ۱- خاک سست
- ۲- خاک حاوی ذرات ریز
- ۳- خاک خشک
- ۴- سطح خاک بایر
- ۵- سطح خاک صاف
- ۶- باد شدید

پس

- ۱- وقتی خاک فشرده است
- ۲- مرطوب است
- ۳- دارای کلوخه های های به اندازه کافی بزرگ که در برابر نیروی باد مقاومت کنند

۴- دارای خاکدانه های پایدار

۵- سطح خاک زبر یا دارای پوشش گیاهی یا بقایای آن است

موجب افزایش اصطکاک در نزدیکی سطح شده و فرسایش کاهش می یابد و یا اصلا وجود ندارد

بادهای اصلی کشور :

۱- بادهای شمال غربی

۲- بادهای جنوب شرقی

۳- بادهای شمال شرقی (سهمناک ترین بادهای ، ۱۲۰ روزه سیستان)

عوامل فرسایش بادی:

۱- بافت خاک

۲- چسبندگی ذرات خاک

۳- ماده آلی خاک

۴- ساختمان خاک

۵- رطوبت خاک

۶- شکل ذرات خاک

۷- مقدار بارندگی

۸- شدت بارندگی

۹- توزیع بارندگی (با اثر بر توزیع رطوبت خاک و درجه حرارت آن

۱۰- درجه حرارت (روی تبخیر اثر دارد و آن هم روی رطوبت خاک)

۱۱- باد

۱۳- رطوبت هوا

۱۴- وزن مخصوص هوا

۱۵- ویسکوزیته (لزجت) هوا

۱۵- پستی و بلندی

۱۶- طولی از مسیر که در معرض فرسایش بادی قرار می گیرد و

ویژگیهای باد

۱- سرعت باد (wind velocity) m/s ، km/h ، knot

۲- جهت (direction)

۳- فراوانی (abundance)

-گلماسه:

نمودار برداری مقدار انرژی باد برای حمل ماسه بوده و بیانگر توان فرسایشی باد و مقدار نسبی حمل ماسه در جهات مختلف است. برخلاف گلباد که واحد اندازه بازوها در آن بر حسب سرعت باد است، واحد بازوها در گلماسه بر اساس یک واحد برداری $V.U$ ، تعریف شده است.

با در نظر گرفتن چندین فرضیه لتو - لتو معادله زیر را برای انتقال ماسه بیان نمود:

$$q = (C_p \rho / g) V^2 (V - V_t)$$

که در آن

q میزان انتقال ماسه $kg/m^3.hr$

g شتاب ثقل m/s^2

C مقداری ثابت و بی بعد که بر اساس قطر ذرات تعیین میشود،

ρ چگالی هوا kg/m^3

V سرعت برشی باد knot

V_t سرعت آستانه برشی باد

Fryberger این رابطه را به صورت زیر ساده کرد:

$$Q \propto V^2 (V - V_t) t$$

که در آن:

Q مقدار انتقال ماسه که به صورت واحد برداری نشان داده میشود

V سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری به knot

V_t : سرعت آستانه فرسایشی باد

t فراوانی بادهای بیشتر از سرعت آستانه فرسایشی به درصد

ترکیب $V^2 (V - V_t)$ فاکتور وزنی نامیده میشود و ، نشان میدهد که بادهای قویتر دارای وزن بیشتر و بادهای ضعیفتر دارای وزن کمتری هستند. به منظور کم کردن فاکتور وزنی و آسانتر شدن ترسیم گلماسه، مقدار فاکتور وزنی بر ۱۰۰ تقسیم میگردد. اولین مرحله در محاسبه قابلیت حمل ماسه، تعیین سرعت آستانه فرسایش میباشد که بنا به پیشنهاد Fryberger طبق رابطه Bagnold ، ۱۲ نات در نظر گرفته میشود. پس از تعیین مقادیر فاکتور وزنی و با در نظر گرفتن مقادیر فراوانی هریک از کلاسهای سرعت، مقادیر توان حمل (DP) برای هریک از جهات جغرافیایی و در هریک از کلاسهای سرعت محاسبه شده و مجموع آنها به عنوان DPt در نظر گرفته میشود. Dyne و Fryberger چندین شاخص را به شرح زیر از ترسیم گلماسه استخراج کرده که میتوانند برای تعیین جهت حرکت ماسه مفید باشد:

-مجموع توان حمل ماسه (DPt):

عبارت است از یک مقدار اسکالر یا عددی که از مجموع مقادیر DP مختلف حاصل میشود و در واقع شاخصی است که بیانگر کل انرژی باد جهت حمل ماسه در منطقه میباشد.

Dyne و Fryberger قدرت فرسایشی باد را بر اساس شاخص توان حمل باد طبق جدول ۲ طبقه بندی کردند.

جدول ۲- تقسیم‌بندی قدرت فرسایشی باد در محیط‌های بیابانی (Fryberger & Dyne, 1979)

قدرت فرسایشی باد	DP _t
کم	< ۲۰۰
متوسط	۲۰۰ - ۴۰۰
زیاد	> ۴۰۰

-برآیند توان حمل ماسه (RDP): بیانگر مقدار برآیند بردار توان حمل ماسه میباشد که از جمع برداری مقادیر DP در جهات مختلف ۸ یا ۱۶ گانه حاصل میشود.

-جهت برآیند حمل ماسه RDD : جهت بردار برآیند حرکت ماسه را در طول سال، ماه یا فصل مورد نظر نشان میدهد.

-شاخص همگنی جهت باد UDI : شاخص همگنی یا تغییرپذیری جهت حمل ماسه است که عبارت است از نسبت برآیند توان حمل ماسه به مجموع توان حمل ماسه.

Fryberger و Dyne تغییرپذیری جهت باد را بر اساس شاخص همگنی طبق جدول ۳ طبقه بندی کردند.

جدول ۳- تقسیم‌بندی شاخص تغییرپذیری جهت باد (Fryberger & Dyne, 1979)		
طبقه‌بندی جهت باد	قدرت فرسایشی باد	UDI
بادهای یک جهته	کم	> ۰/۸
بادهای دوجته با زاویه منفرجه	متوسط	۰/۳ - ۰/۸
بادهای چند جهته مرکب با زاویه تند	زیاد	< ۰/۳

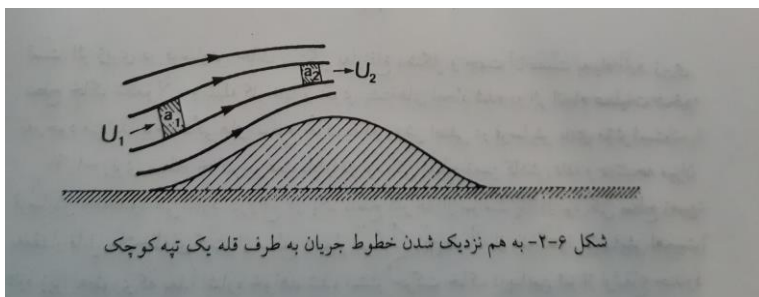
با توجه به پیچیدگی و حجم بالای محاسبات آماری مربوط به ترسیم گلماسه، از نرم افزاری با عنوان گلماسه نما به منظور محاسبه و ترسیم استفاده (Sand Rose Graph) شد. این نرم افزار که بر اساس معادلات و روابط پیشنهادی (فرایبرگر و لتو، ۲۰۰۶) طراحی شده است قادر است با دریافت داده های بادسنجی ایستگاه مورد نظر و همچنین سرعت آستانه فرسایش بادی رخساره های مختلف مجاور ایستگاه، به تحلیل آماری و ترسیم گلماسه

های مورد نظر بپردازد. گلماسه های رسم شده قادرند توان حمل ماسه توسط باد و جهت آن را بخوبی نشان دهند.

-نقش پوشش گیاهی در فرسایش بادی

-نقش زبری سطح خاک در فرسایش بادی

-نقش پستی و بلندی در فرسایش بادی



$$U_1 * a_1 = U_2 * a_2$$

نتایج حاصل از فرسایش بادی

-تشکیل نهشته های بادی (تپه های ماسه ای، لس ها)

-تشکیل حفره هایی در زمین

-تسطیح سطح زمین

-تشکیل شیارهای طولی

-به وجود آمدن صخره ها و برجستگی ها با شکل خاص

-به وجود آمدن زمین های سنگلاخی

-رسوب مواد

-از بین رفتن خاک

-تغییر بافت خاک

- از بین رفتن مواد غذایی و کاهش توان تولیدی خاک

- خسارت به گیاهان

-تشدید زمین لغزه

-آلودگی هوا

مراحل فرسایش بادی:

برداشت:

-زبری آئرودینامیکی (Z_0):

-ارتفاع صعود Z_0 یا D یا ارتفاع موثر زبری

-سرعت برشی : Shear Velocity

$$\tau^* = \rho V_*^2$$

تنش برشی

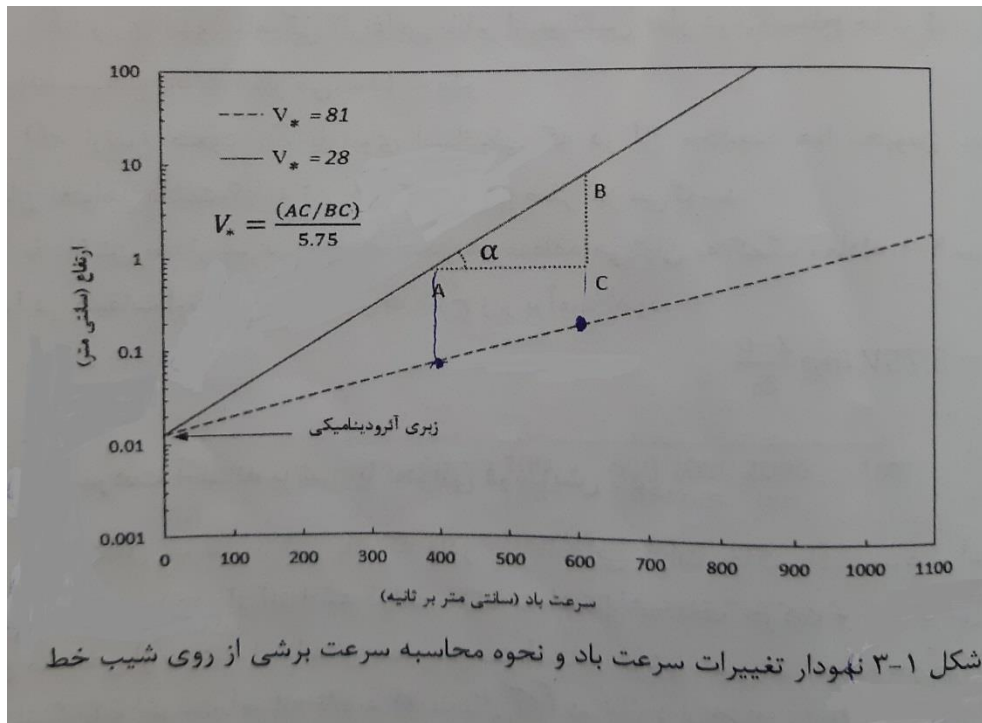
ρ : چگالی هوا

۱-اندازه گیری صحرائی

$$V_* = \cot \alpha / 5.75$$

α : زاویه ی خط حاصل از رسم نمودار ارتفاعی سرعت باد با محور افقی

$\cot \alpha$: اختلاف سرعت باد به ازای یک پایه لگاریتمی تقسیم بر اختلاف لگاریتم ارتفاع های اندازه گیری سرعت باد (شکل ۱-۳)



۲- برآورد با معادلات تجربی

$$V_* = V_z / 1/k \ln(Z-D/Z_0)$$

$$V_z = 5.75 V_* \log Z-D/Z_0$$

-سرعت آستانه برشی فرسایش بادی (Threshold shear velocity (V_{*t}) برای خاکهای مختلف بین ۵/۷ تا ۱۳/۵ m/s متغیر است.

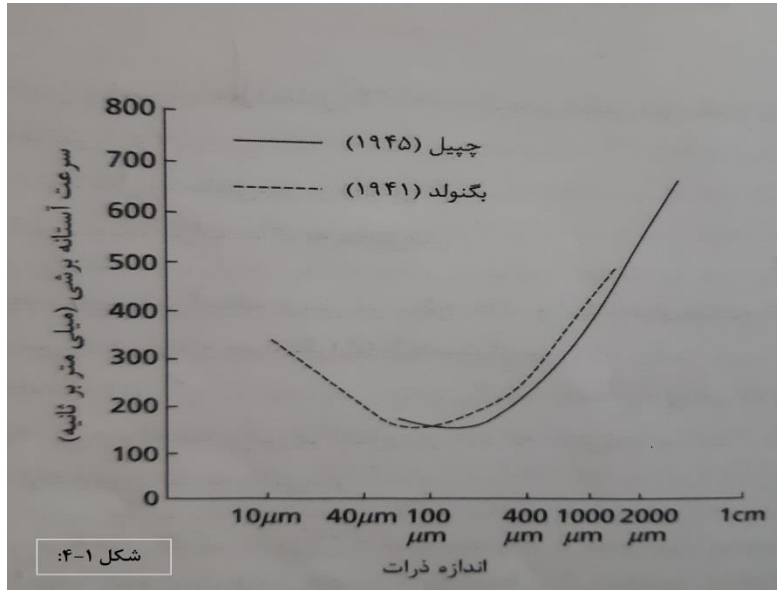
۱- سرعت آستانه جهشی اولیه یا استانیکی

۲- سرعت آستانه ثانویه (دینامیکی)

*کمترین سرعت آستانه برشی برای ذرات به قطر ۰/۰۶۴ تا ۰/۱۵ میلیمتر

-برآورد سرعت آستانه برشی:

-نمودار سرعت آستانه برشی و قطر ذرات (شکل ۴-۱)



شکل ۱-۴: نمودار سرعت آستانه برشی و قطر ذرات

جداول موجود

جدول ۱-۳ رابطه تقریبی دانه بندی خاک سطحی و سرعت آستانه فرسایش بادی			
سرعت آستانه فرسایش بادی در ارتفاع ۱۰ متری (متر بر ثانیه)	قطر متوسط غالب ذرات خاک سطحی (میلی متر)		پایداری خاک در مقابل باد بردگی
	حداقل	حداکثر	
۴-۵	۰/۱ - ۰/۱۵	-	۱ بسیار کم
۵ - ۶/۵	۰/۰۵ - ۰/۱	۰/۱۵ - ۰/۲۵	۲ به نسبت کم
۶/۵ - ۷	۰/۰۲۵ - ۰/۰۵	۰/۲۵ - ۰/۵	۳ کم
۷-۱۰	۰/۰۱ - ۰/۰۲۵	۰/۵ - ۱	۴ متوسط
۱۰ - ۱۴	۰/۰۰۵ - ۰/۰۱	۱ - ۲	۵ زیاد
بیش از ۱۴	کمتر از ۰/۰۰۵	بیش از ۲	۶ خیلی زیاد

- فرمولها

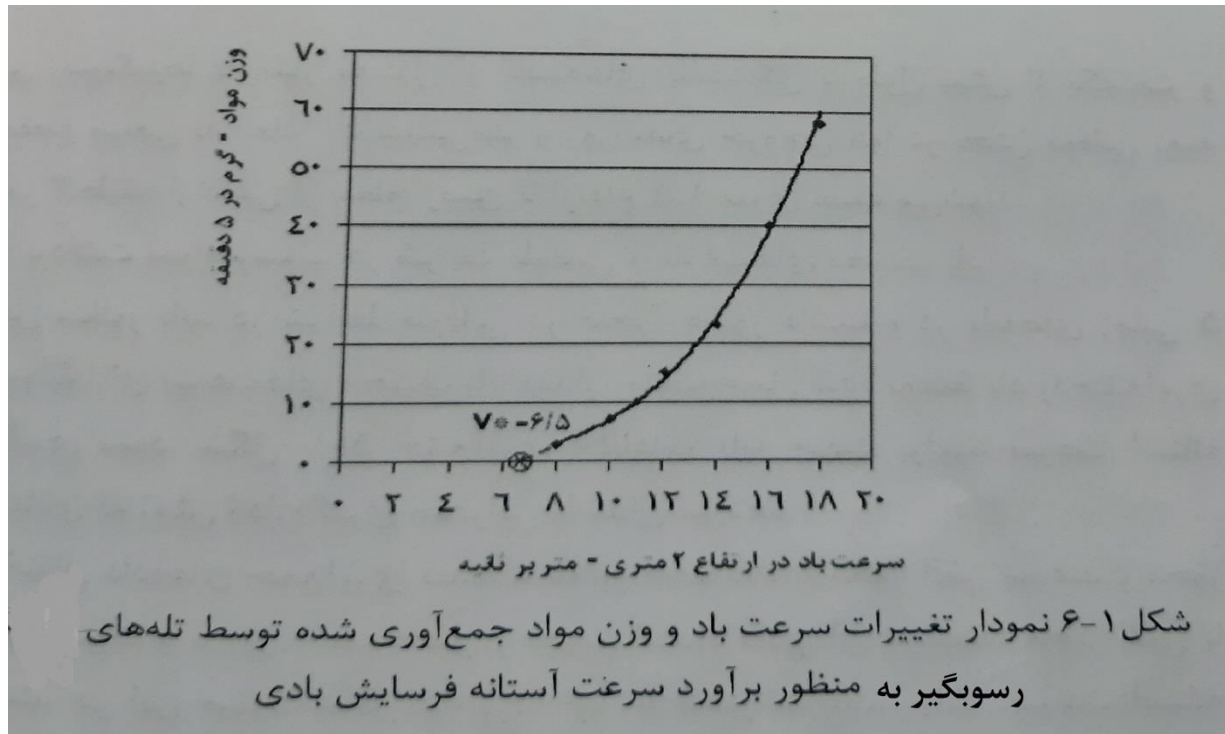
$$V_{*t} = \sqrt{\tau * t / \rho a}$$

$$V_{*t} = A \sqrt{(\rho_s - \rho_a) g d / \rho a}$$

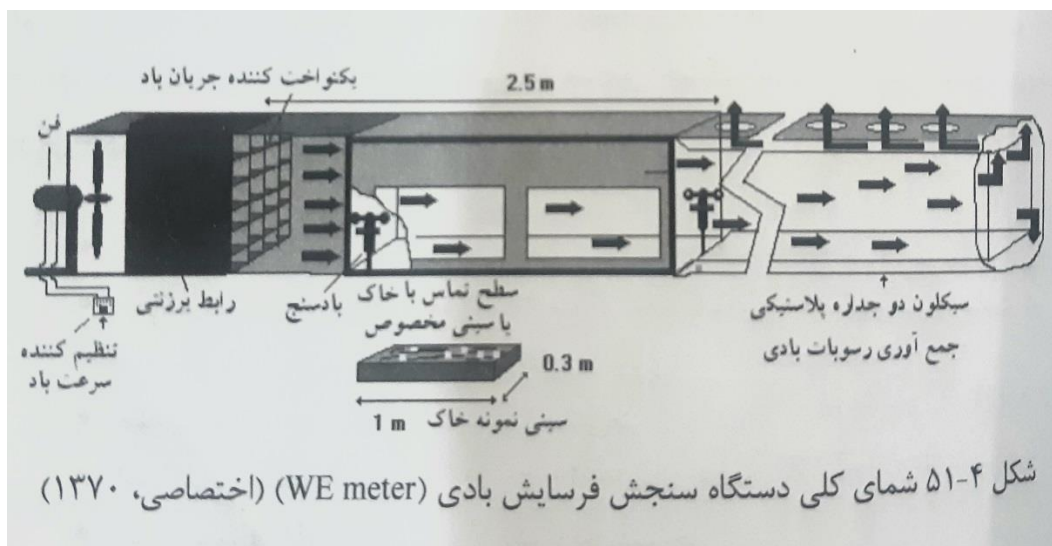
$$V_{tz}^* = 5.75 V_t^* \log Z-D/Z_0$$

- روش های صحرائی اندازه گیری سرعت آستانه فرسایش بادی

۱- نصب تله رسوبگیر (شکل ۶-۱)



۲- دستگاه سنجش فرسایش بادی و با تونل باد قابل حمل



حمل ذرات توسط باد :

۱- جهشی Saltation

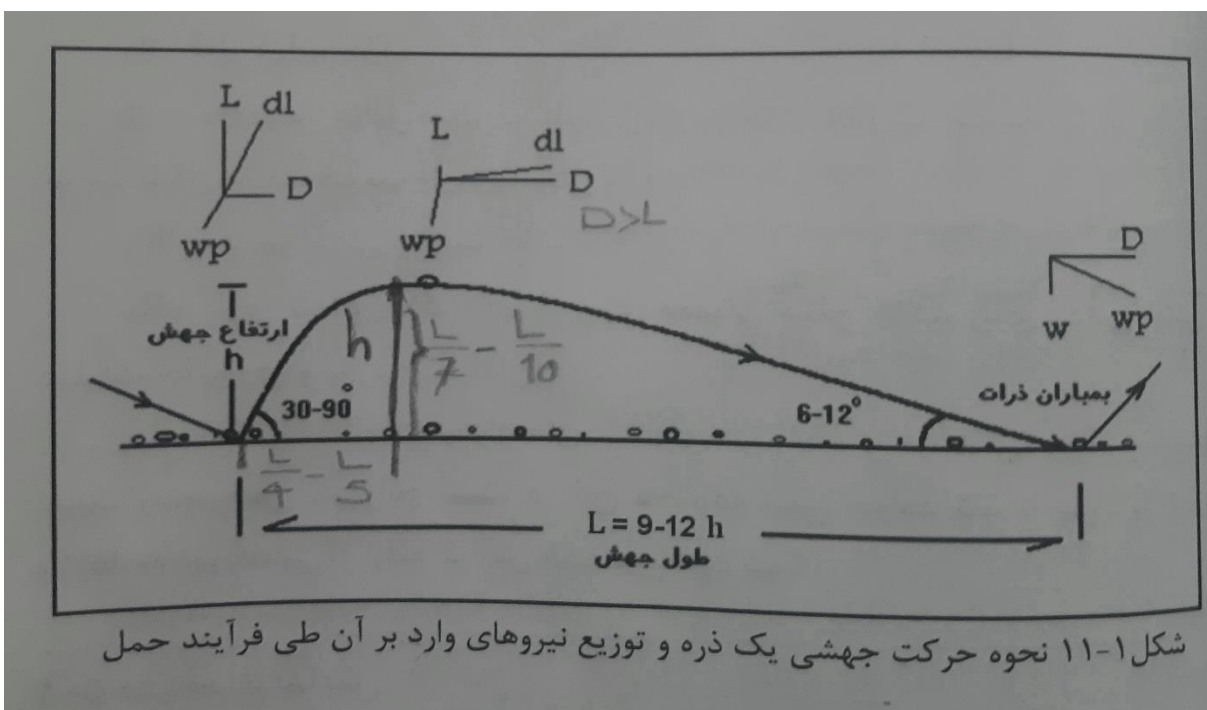
قطر ذرات ۰/۰۵ تا ۰/۵ میلی متر (حدودا ۵۵ تا ۷۲ درصد ذرات)

۲- معلق Suspension

قطر کمتر از ۰/۱ میلی متر (۳ تا ۳۸ درصد ذرات)

۳- خزشی Creep

قطر ۰/۵ تا ۲ میلی متر (۷ تا ۲۵ درصد ذرات)



برآورد فرسایش بادی:

الف: روش ها تجربی:

- روش تجربی برآورد پتانسیل فرسایش بادی (IRIFR) بر اساس امتیاز دهی به ۹ معیار (سنگ شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، بافت خاکپوشش غیر زنده سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایش سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته های بادی، مدیریت و استفاده از زمین)

- روش تجربی برآورد دبی مواد خزشی (فرمول تجربی Wang & Zheng)
- روش های برآورد جریان مواد جهشی

۱-روش بگنولد

۲-روش Hsu

۳-روش لتو

$$q=0.125 V^2(V-V^*)$$

q: دبی رسوبات جهشی kg/m.s

V: سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری m/s

V*: سرعت آستانه برشی در ارتفاع ۱۰ متری

ب- مدل‌های تجربی برآورد فرسایش بادی

۱- WEQ

$$WE= f(I, K, C, L, V)$$

۲- MWEQ

۳- RWEQ

ج- مدل های بسط یافته برآورد فرسایش با استفاده از امکانات برنامه نویسی و..

- Wind Erosion Continuous Simulation (WECS)

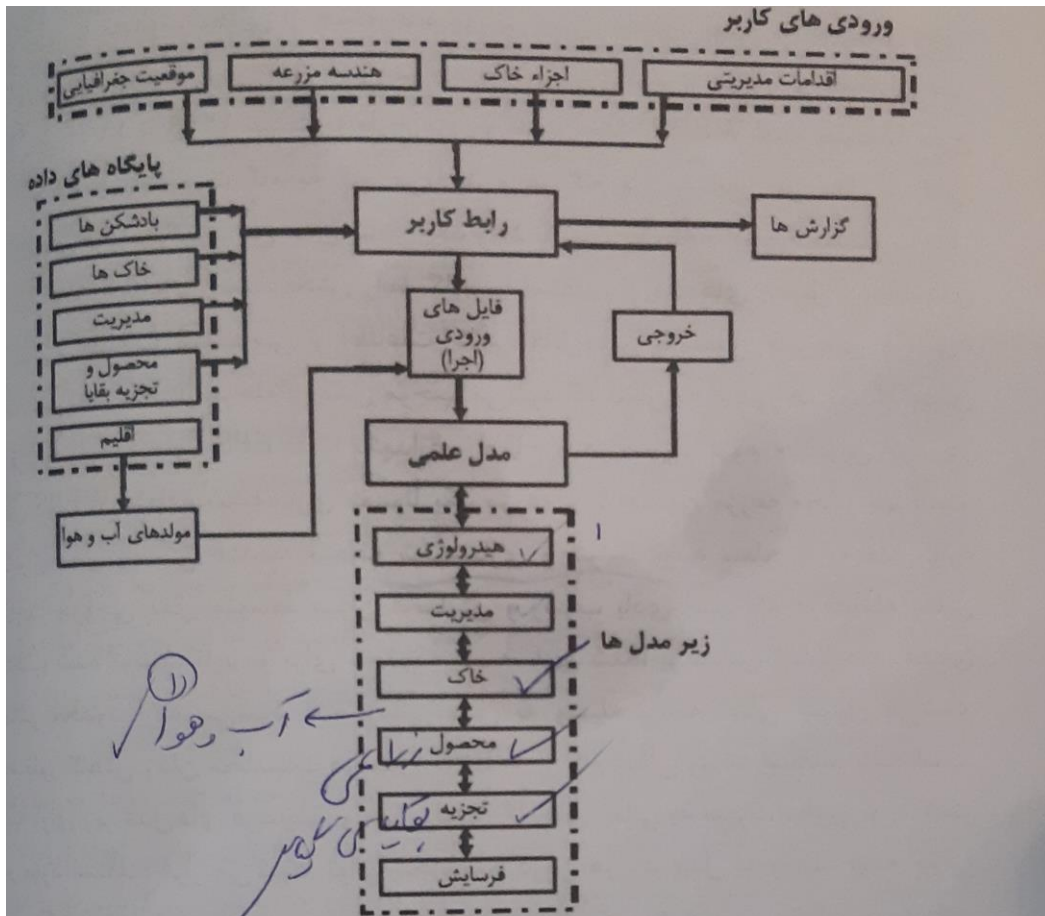
شبیه سازی پیوسته فرسایش بادی با قابلیت برآورد روزانه فرسایش

$$YW= I. R. V. D \sum_{d=0}^{DW=8-16} (YWR . dt)$$

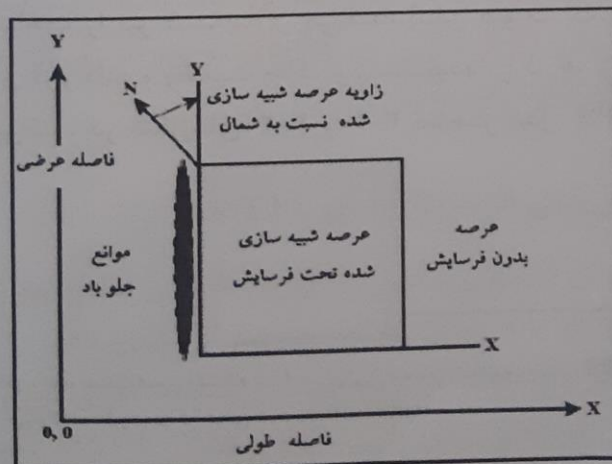
$$YWR = 0.255 V_*^2 - V_{*t}^2 - 0.5 \left(\frac{SW}{WP} \right)$$

- سامانه پیش بینی فرسایش بادی (WEPS) Wind Erosion Prediction System

به صورت پیوسته و در پایه زمانی روزانه وضعیت فرسایش بادی را در سطح مزرعه شبیه سازی می کند (با ۶ زیر مدل مطابق شکل زیر)



شکل ۲-۲ ساختار مدل WEPS



Texas Tech Erosion Analysis Model (TEAM)

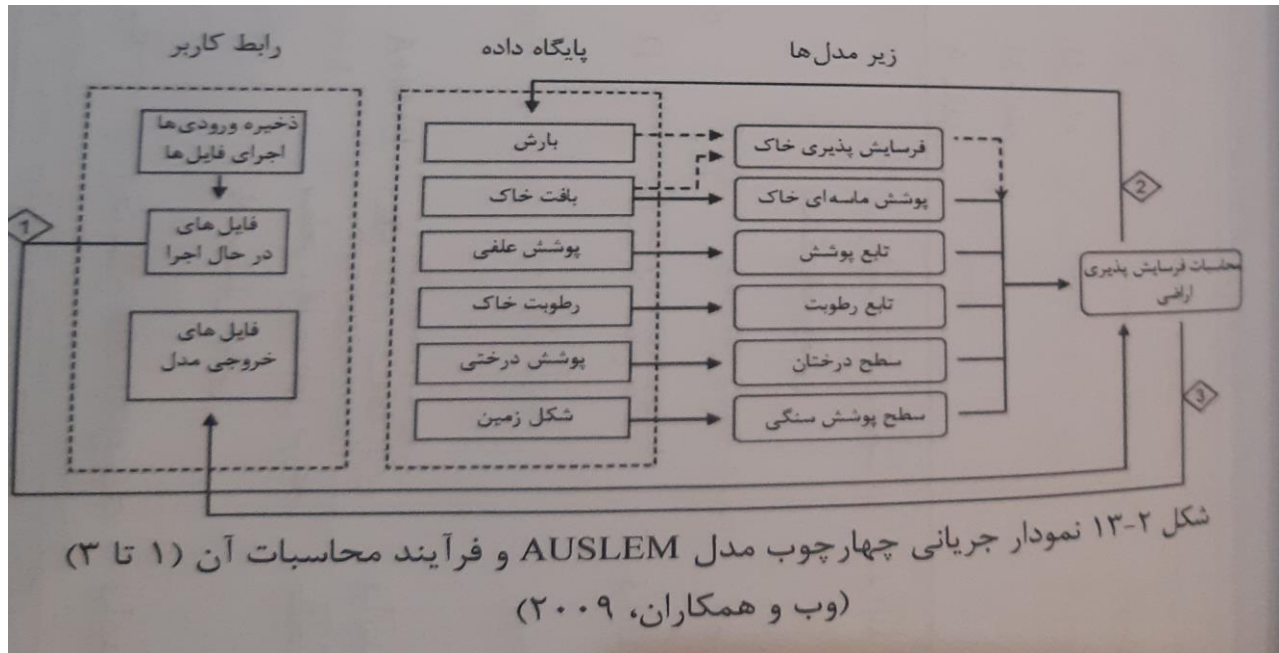
جدایش، انتقال و ته نشست ذرات خاک و همچنین تعلیق و حرکت گرد و غبار در منطقه فرسایشی و در مسیر باد پیش بینی می کند.

جدول ۲-۵ گام‌ها یا فرآیندهای اصلی در برنامه TEAM (گرگوری و همکاران، ۲۰۰۴)

شماره گام	فرآیند	منبع
۱	استفاده از شرایط سطحی و پوشش برای محاسبه ارتفاع جابجایی و زبری آبرودینامیکی جهت تعیین سرعت برشی از روی سرعت باد اندازه‌گیری شده در ارتفاع ۱۰ متر؛	آبیبو و همکاران (۱۹۸۹)، گرگوری (۱۹۹۱)، کوشاج (۱۹۹۶)
۲	کاستن سرعت باد (سرعت برشی) مطابق با فاصله از بادشکن، ارتفاع بادشکن و تخلخل بادشکن؛	بورلی و همکاران (۱۹۸۹)
۳	تعیین سرعت آستانه برشی برای میانگین اندازه ذرات (بدون دخالت دادن بخش رس) و شرایط رطوبت سطحی (در تعادل با رطوبت نسبی توده هوا فرض می‌شود مگر اینکه سطح در اثر بارندگی مرطوب باشد)؛	گرگوری و درویش (۱۹۹۰)، درویش (۱۹۹۱)، پوری (۱۹۲۵)
۴	تعدیل سرعت آستانه برشی برای وزش‌های یکباره ^۱ در باد طبیعی؛	گرگوری و همکاران (۱۹۹۳)
۵	کاهش سرعت برشی به عنوان تابعی از ارتفاع و بخش پوشش گیاهی و زیست توده سطحی؛	گرگوری (۱۹۸۴)، ویلسون (۱۹۹۴)
۶	محاسبه نرخ حداکثر انتقال برای شرایط تعریف شده؛	ویلسون (۱۹۹۴)
۷	محاسبه فاکتور طول بین صفر و یک بر اساس فرسایش‌پذیری خاک، سرعت برشی و طول سطح فرسایشی؛	گرگوری (۱۹۸۴)، ویلسون (۱۹۹۴)
۸	تعدیل حداکثر نرخ انتقال با فاکتور طول جهت محاسبه نرخ واقعی انتقال.	گرگوری (۱۹۸۴)، ویلسون (۱۹۹۴)

- مدل فرسایش پذیری اراضی استرالیا

(AUSLEM) Australian Land Erodibility Model

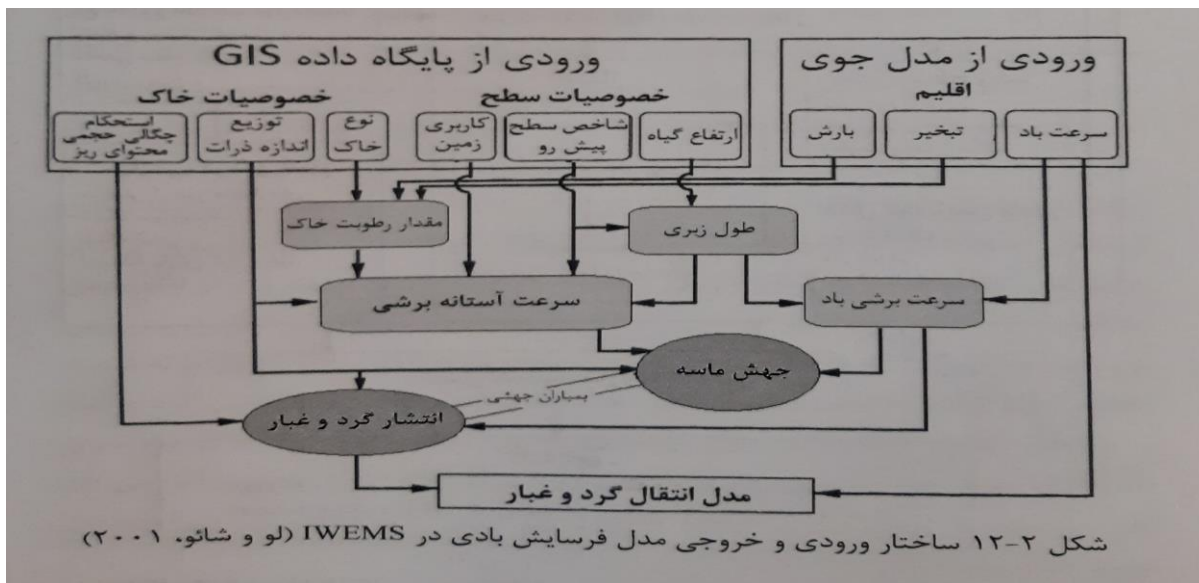
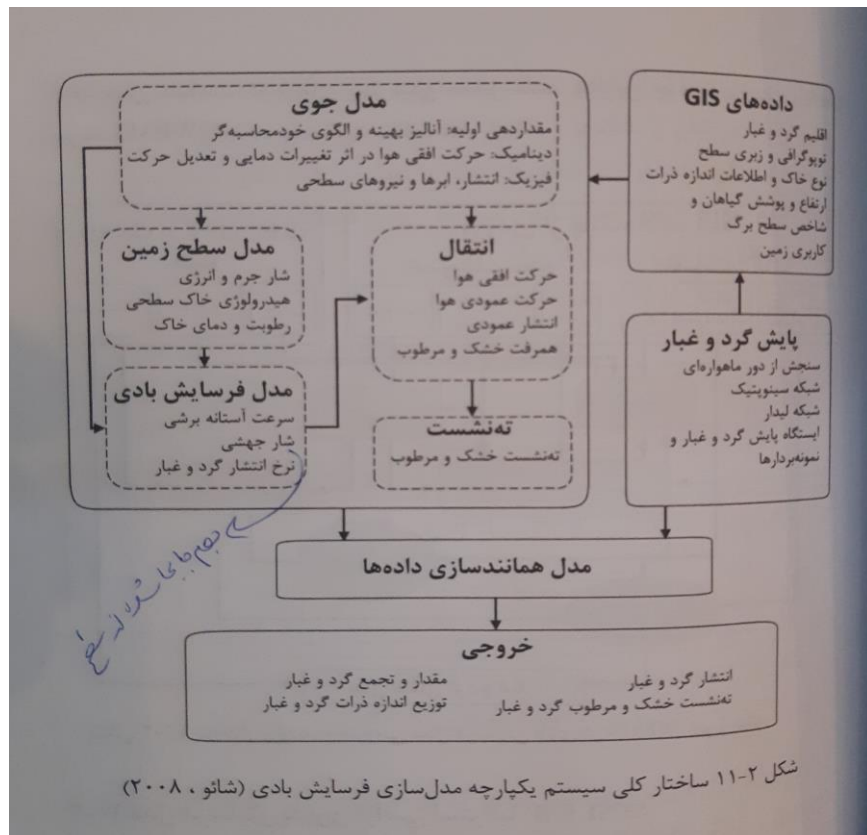


-IWEMS(Integrated Wind Erosion Modelling System)

سیستم یکپارچه مدل سازی فرسایش بادی

(الگو و شدت فرسایش بادی به ویژه انتشار گرد و غبار و تجمع و انتقال آن در اتمسفر را ارائه می دهد. - قابلیت

پیش بینی تک رخداد طوفان گرد و غبار را دارد)



- خلاصه مدل های ارزیابی فرسایش بادی

جدول ۲-۶ مدل های راجع فرسایش بادی که در خارج از ایران توسعه یافته اند (وب و همکاران، ۲۰۰۶)

مدل	مقیاس مکانی:	پایه زمانی:	داده های ورودی اصلی (مشخصه ها)	اساس محاسبه فرسایش	نوع خروجی	مرجع
	F مزرعه <td>D روزانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	D روزانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				
	R ناحیه <td>M ماهانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	M ماهانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				
	N کشور <td>A سالانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </td>	A سالانه <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>				
TEAM	P+F	E	باد، رطوبت خاک، رطوبت هوا، بادشکن ها، پوشش	فرآیند محور	شار گرد و غبار غبار، فروکش گرد و غبار، مسیر حرکت	گرگوری و همکاران، ۲۰۰۴
WEPS	F	D	اقلیم، باد، سطح خاک	فرآیند محور	شار گرد و غبار غبار، فروکش گرد و غبار، مسیر حرکت	کوئین و همکاران، ۲۰۰۴؛ هاگن، ۲۰۰۴
(R)WEQ	F	E+M+A	سطح خاک، پشته ها، زبری سطحی، اقلیم، طول مزرعه، باد، پوشش گیاهی	فرآیند محور صفحه گسترده	شار گرد و غبار غبار، فروکش گرد و غبار، مسیر حرکت	وان پلت و همکاران، ۲۰۰۴
WESS	F	E	باد، سطح خاک، ارتفاع پشته	فرآیند محور	شار گرد و غبار، فروکش گرد و غبار، مسیر حرکت	وان پلت و زویک، ۲۰۰۴

ادامه جدول ۲-۶ مدل‌های رایج فرسایش بادی که در خارج از ایران توسعه یافته‌اند (وب و همکاران، ۲۰۰۶)

				M+A	N+R	Et, Ew, Em
بورگس و همکاران، ۱۹۸۹	طوفان گرد و غبار فراوانی و شدت	سوابق اقلیمی	وزش باد، بارش-تبخیر			
بوتلر و همکاران، ۱۹۹۶	شار گرد و غبار و مسیر حرکت	کد منبع	بار رسوب، مناطق منشاء، نرخ هدر رفت خاک	E	P+F+R+N	DUSTRAN
مک تانیش و همکاران، ۱۹۹۹	شاخص فرسایش‌پذیری زمین	شاخصی	شار گرد و غبار	M+A	P+F+R	LEI
شائو و همکاران، ۱۹۹۴	شار گرد و غبار و مسیر حرکت	پایه فیزیکی	اقلیم، نوع خاک، پوشش گیاهی	A	R	WEAM
لو و شائو، ۲۰۰۱	شار گرد و غبار و مسیر حرکت	پایه فیزیکی	اقلیم، وضعیت خاک، زبری سطحی	E+M	F+R	IWEMS
وب و همکاران، ۲۰۰۶	خطر فرسایش‌پذیری عرصه	بر اساس شرایط پایه فیزیکی	باران، رطوبت خاک (+تبخیر)، پوشش گیاهی، ماسه، سیلت و رس در خاک سطحی	M	F+R+N	AUSLEM

د: اندازه گیری مستقیم فرسایش بادی در عرصه:

۱- تله های رسوبگیر،

۲- تونل باد،

۳- میله های فولادی (عمق باد بردگی)،

$$E_w = H_a \cdot \gamma_s \cdot A$$

E_w : مقدار فرسایش بادی در سطح عرصه بر حسب کیلوگرم در متر مربع در سال یا ماه ...

H_a : عمق بادبردگی به متر در سال، ماه و

γ_s : وزن مخصوص ظاهری خاک به کیلوگرم در متر مکعب

A : مساحت عرصه به متر مربع

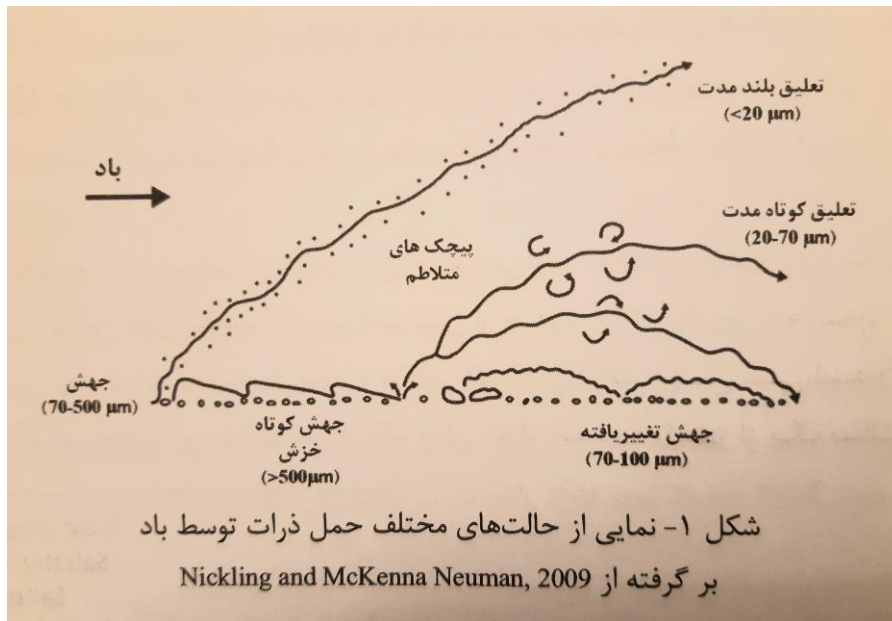
ه-اندازه گیری نسبت سنگ و سنگریزه به جا مانده در سطح نسبت به عمق (منطقه برداشت)

عمق نمونه برداری/ عمق بادبردگی (مجهول) = وزن سنگریزه درون خاک / وزن سنگریزه سطح خاک

فیزیک ماسه بادی و گرد و غبار

۱-مقدمه

۱-۱-حالت های انتقال ذره توسط باد



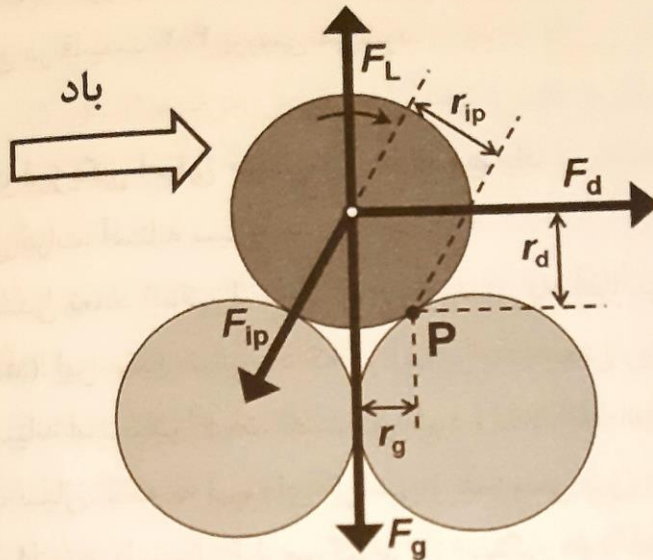
۱-۲- اهمیت حرکت ماسه بادی و گرد و غبار در علوم زمین و سیاره ای

۱-۲-۱- اثرات ذرات معلق گرو غبار معدنی روی سیستم کره زمین

۲- فیزیک حرکت ذرات ماسه بادی

۲-۱- چهارفرایند فیزیکی اصلی جهش ذرات توسط باد

۲-۱-۱- آغاز جهش ذرات: آستانه سیال



شکل ۴- نمای کلی از نیروهای عمل کننده بر روی یک ذره ماسه قرار گرفته بر روی ذرات دیگر (Shao and Lu 2000). نیروها توسط بردارهای ضخیم، مشخص و بازوهای لحظه‌ای آنها نسبت به نقطه محوری P^1 با بردارهای نازک نشان داده شده‌اند. هنگامی که گشتاور نیروهای بلندکننده (آرودینامیک) و جلوبرنده (کشش) از نیروهای گرانشی و بین ذره‌ای بیشتر شود، ذره با چرخش حول نقطه P در جهت نشان داده شده به داخل جریان وارد می‌شود.

بنابراین در لحظه بلند شدن ذرات، تعادل نیروها به صورت زیر خواهد بود:

$$r_d F_d \approx r_g (F_g - F_l) + r_{ip} F_{ip} \quad (1-2)$$

که در آن r_d ، r_g و r_{ip} بازوهای گشتاور در شکل ۴ هستند که متناسب با قطر ذرات D_p می‌باشند. نیروی گرانشی مؤثر در یک سیال، که نیروی شناوری^۲ را در برمی‌گیرد، برابر است با:

^۱ - Pivoting point
^۲ - Buoyancy force

$$F_g = \frac{\pi}{6}(\rho_p - \rho_a)gD_p^3 \quad (2-2)$$

که در آن g ثابت شتاب گرانش زمین و D_p قطر گره‌ای با حجم مشابه برای ذرات ماسه با شکل نامنظم است. چگالی ذرات به ترکیب ماسه وابسته است که تقریباً برابر ۲۶۵۰ کیلوگرم در متر مکعب^۱ برای ماسه کوارتزی^۲ در کره زمین است (قسمت ۲-۴). علاوه بر این، معادله نیروی جلوبرنده اعمال شده توسط سیال روی یک ذره خاک سطحی برای قرارگرفتن به داخل جریان، چنین ارائه شده است (Greeley and Iversen 1985, Shao 2008):

$$F_d = K_d \rho_a D_p^2 u_*^2 \quad (3-2)$$

که در آن، ρ_a چگالی هوا است، K_d ضریب بدون بُعد در حدود ۱۰ (جدول ۳-۱ در منبع Greeley and Iversen 1985)، و سرعت برشی^۳ u_* پارامتر کمی متناسب با گرادیان (شیب) سرعت لایه مرزی جریان است که بدین صورت تعریف می‌شود (Stull 1988, White 2006):

$$\tau = \rho_a u_*^2 \quad (4-2)$$

تنش برشی سیال^۴ τ برابر با شار گشتاور افقی منتقل شده رو به پایین از طرف سیال است که توسط ترکیب لزجت^۵ و تلاطم^۶ بر ذره اعمال می‌گردد (قسمت ۲-۱-۴ را برای بحث بیشتر، ببینید). سرعت آستانه برشی سیال^۷ u_{*ft} که در آن جهش ذرات آغاز می‌شود از ترکیب روابط ۲-۱ تا ۲-۳ به دست می‌آید، که نتیجه آن به این صورت است (Bagnold 1941):

-
- kg m⁻³ - ^۱
 - Quartz - ^۲
 - Shear velocity - ^۳
 - Fluid shear stress: یا قدرت جریان سیال، τ - ^۴
 - Viscous - ^۵
 - Turbulent - ^۶
 - Fluid threshold shear velocity - ^۷

(۲-۵)

$$u * ft = A \sqrt{\frac{\rho p - \rho a}{\rho a}} * g D p$$

-Lift force

-Reynolds number

۱-۱-۱-۲- نقش احتمالی نیروهای بالابرنده در آغاز جهش ذرات

-Saffman lift force

-Bernoullis principle

- Vortex

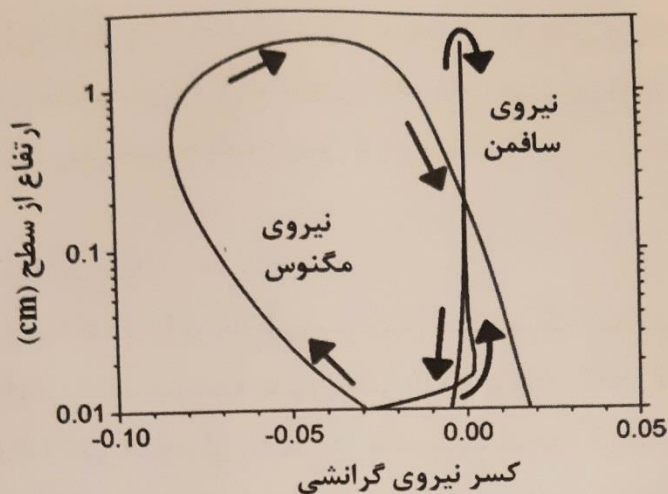
۲-۱-۱-۲- نیروهای بین ذرات

-vanderwaals

۲-۱-۲- خط سیر ذرات

رابطه (۲-۹)

$$FD = -\frac{\pi x D p^2}{8} \rho a CD ur \mathbf{ur}$$
$$\mathbf{ur} = u - U$$
$$ur = |\mathbf{ur}|$$



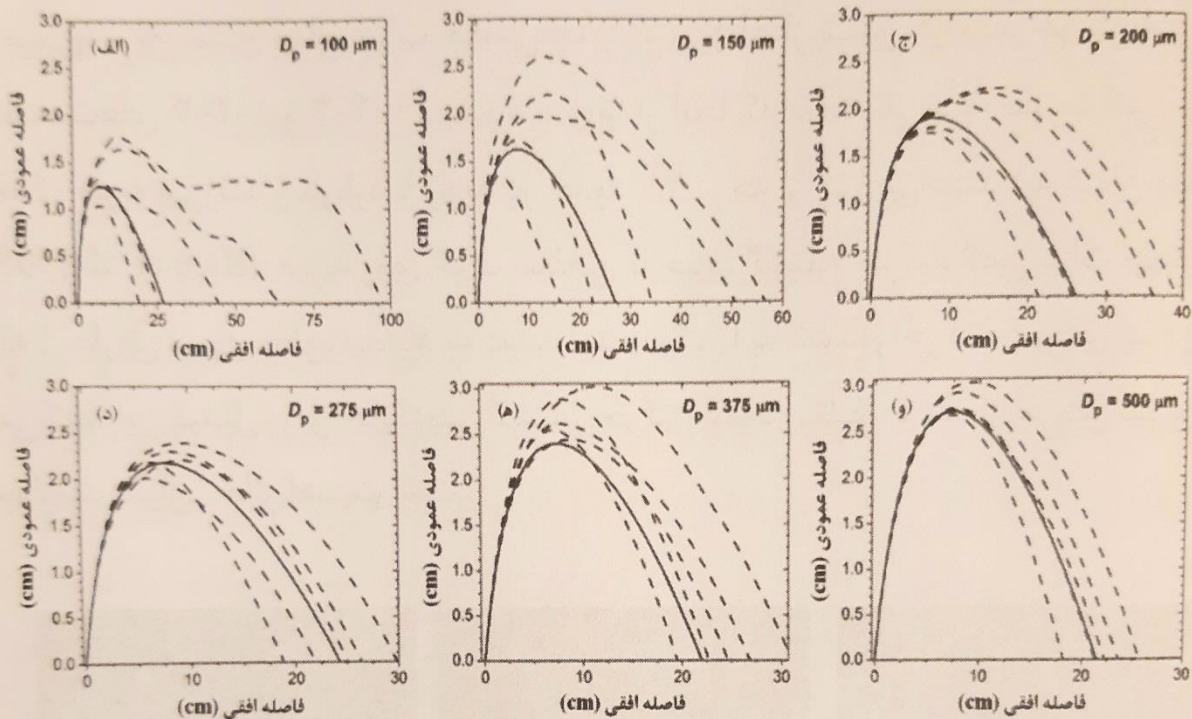
شکل ۶- نیروی مگنوس (خط خاکستری) و نیروی سافمن (خط سیاه) به عنوان کسری از نیروی گرانش^۴ در طی خط سیر جهش یک ذره ۲۰۰ میکرونی که از سطح با سرعت ۱ متر بر ثانیه^۵ با زاویه‌ای ۴۰ درجه از افق پرتاب شده و سرعت چرخش ۴۰۰ دور در ثانیه^۶ دارد. فلش‌ها جهت حرکت ذره را نشان می‌دهند. خط سیر ذره و نیروهای بالابرنده با استفاده از معادلات ۱ تا ۶ در منبع کک و رنو^۷ (۲۰۰۹a)، با استفاده از نیم‌رخ عمودی سرعت باد افقی از معادله (۲-۱۸) با u_* برابر ۲۰ متر بر ثانیه و $z_0 = D_p / 30$ محاسبه شده است. عدم تقارن‌ها در شدت نسبی نیروی مگنوس و سافمن روی خط سیر رو به بالا و رو به پایین، به علت تغییرات سرعت ذره نسبت به جریان می‌باشد که شدت و جهت این نیروها را تعیین می‌کند. اثرات تلاطم نادیده گرفته شده است.

-
- Electrification - ۱
 - Renno and Kok - ۲
 - Merrison - ۳
 - Fraction of the gravitational force - ۴
 - $m s^{-1}$ - ۵
 - $rev s^{-1}$ - ۶
 - Kok and Renno - ۷

Magnus force(effect)

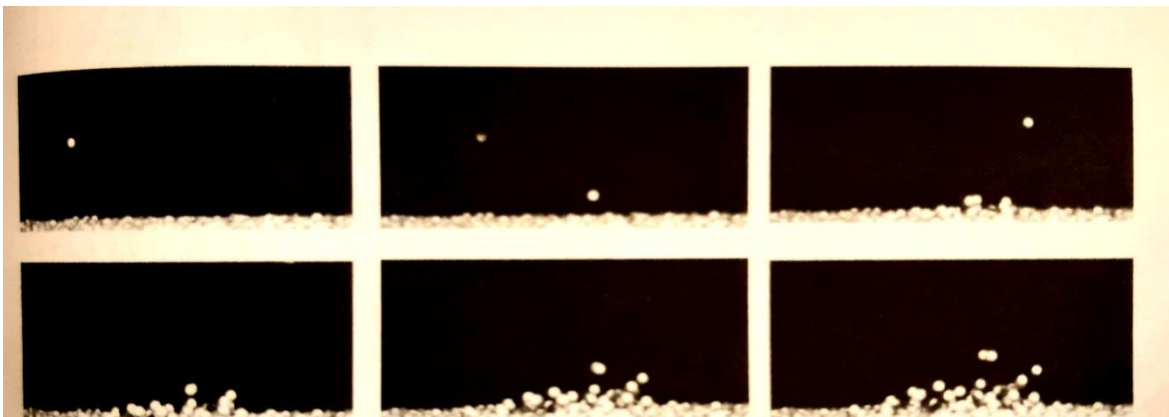
اثری است که عموماً در یک توپ (استوانه) در حال چرخش دیده می‌شود که این توپ چرخان را از مسیر معمول خود به صورت حرکت منحنی وار منحرف می‌کند

۱-۲-۱-۲-نوسانات تلاطم هوا



شکل ۷- خطوط سیر جهش شبیه‌سازی شده برای ذرات با قطرهای الف) ۱۰۰، ب) ۱۵۰، ج) ۲۰۰، د) ۲۷۵، ه) ۳۷۵ و و) ۵۰۰ میکرون. خطوط غیرخط چین، خطوط سیری را نشان می‌دهند که اثرات تلاطم را در بر ندارند، در حالی که خطوط خط‌چین پنج بار شبیه‌سازی تصادفی را که اثرات تلاطم را در بر دارند، نشان می‌دهند. ذرات از سطحی با سرعت یک متر بر ثانیه با زاویه ۴۰ درجه از افق و سرعت چرخش ۴۰۰ دور بر ثانیه پرتاب شده‌اند. خطوط سیر

۳-۱-۲- ضربات (بمباران) ذرات جهشی بر سطح خاک و متلاشی شدن ذرات دیگر



شکل ۸- تصاویر با سرعت بالا از پاشش (پرتاب) ذرات سطحی توسط یک ذره جهشی ضربه‌زننده؛ گام زمانی بین دو تصویر متوالی ۴ هزارم ثانیه^۲ است (Beladjine et al (2007).

۱-۳-۲- خصوصیات ذرات دوباره جهنده

رابطه (۲-۱۰)

$$P_{reb} = B [1 - \exp(-\gamma u_{imp})]$$

۲-۳-۱- خصوصیات ذرات پرتاپ شده

رابطه (۲-۱۱)

$$N \overline{m_{spi}} * \overline{u_{spi}} = a m_{imp} * u_{imp}$$

رابطه (۲-۱۲)

$$\overline{u_{spi}} = a u_{imp} * m_{imp} \sqrt{m_{spi}}$$

$$N \approx 1$$

۳- تپه ها و ریزموج های ماسه ای

۳-۱- فیزیک تپه ها و ریپل مارک ها

- انتقال ماسه به وسیله باد

روابط هسو:

....

...

$$q = K [U_* / (gd)]^{1/2}]^3$$

- q میزان ماسه انتقالی بر حسب گرم در سانتی متر در ثانیه

- ریزش توده ماسه در دامنه های تند تپه

- عوامل موثر در میزان انتقال ماسه های بادی (باد، خصوصیات ذرات، رطوبت، پوشش گیاهی، ناهمواری، املاح)

۱- فیزیک و انتشار ریزگرد

۴-۱- آستانه انتشار ریزگرد

۴-۱-۱- اثر رطوبت خاک بر آستانه جهش سیال

۴-۱-۲- اثر عناصر زبر فرسایش ناپذیر بر آستانه جهش سیال

۴-۱-۳- توزیع اندازه ذرات معلق گرد و غبار منتشر شده :

۴-۱-۳-۱- مدل تولید گرد و غبار DPM

۴-۱-۳-۲- نظریه شائو

۴-۱-۳-۳- نظریه فروپاشی اجزای شکننده

تعاریف:

ریزگردها dust:

یا گرد و غبار توده ای از ذرات جامد با قطر کمتر از ۶۳ میکرون عمدتاً در اندازه سیلت و رس و شامل غبار و دود است که در جو پخش شده و دید افقی را کاهش میدهد.

ریزگرد پدیده‌ای اتمسفریک است و خاستگاه آن آلاینده‌های صنعتی، آمدوشد خودروها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، گسترش بیابان‌ها، شخم زدن زمین در آب‌وهوای خشک، تغییرات اقلیمی (کاهش رطوبت خاک و هوا)، تغییر کاربری‌های غیر اصولی، وزش بادهای شدید، خشکسالی و ... است. ریزگرد اغلب زمانی رخ می‌دهد که ذرات گردوغبار و دود در هوای خشک افزایش یابد.

ریزگرد درشت (۳۱ تا ۶۳ میکرون) تا فاصله ۳۲۰ کیلومتری از منطقه برداشت،

ریزگرد متوسط (۱۶ تا ۳۱ میکرون) تا ۱۶۰۰ کیلومتری و

ریزگردهای کوچک (قطر کمتر از ۱۶ میکرون) بدون محدودیت فاصله در سراسر زمین پخش می‌شوند.

- AQI (راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا) فایل پی دی اف)) .

برداشت، انتقال و ته نشینی ریزگرد

- منشا ذرات ریزگرد بیابانی:

ذرات رس غیرآلی بر اثر هوازدهی شیمیایی به وجود می آیند. فرایند تشکیل سیلت بحث بر انگیز است:

۱-سایش (یخچالی، بر اثر انتقال رودخانه ای و بادی، در مناطق قطبی سایش بر اثر حرکت برف)

۲-انواع هوازدهی شامل یخبندان، اصابت نمک، هوازدهی دمایی، هوازدهی شیمیایی

۲- فرسایش مواد آلی مثل دیاتوم ها

۳- حرکت تپه های ماسه ای در نتیجه تغییر اقلیم یا تغییرات پوشش گیاهی

۴- در محیط های ژئومورفولوژیکی مختلف مثل مخروط افکنه ها ، پلایا ، سنگ های هوازده و مناطق

نهشته شدن لس ها

- Dust Storm

از دیدگاه سینوپتیکی، طوفان یک پدیده مخرب منحصر به فرد و ترکیبی از پدیده های فشار، ابر، بارندگی و باد است. **طوفان گرد و غبار** و ماسه همراه با بادهای شدید هر ساله سبب خسارات زیادی در نواحی مختلف ایران می گردد براساس تعریف سازمان هواشناسی جهانی، طوفان خاک عبارت است از بادی که مخصوص نواحی خشک و نیمه خشک بوده و بر اثر وزش آن ابر متراکمی از گرد و غبار در فضا ایجاد شود و جلوی دید را کاملاً می گیرد و ارتفاع آن تا ۳۰۰۰ متر می رسد، در چنین حالتی در هر کیلومتر هوا، حدود ۴۰۰۰ تن گرد و غبار وجود دارد.

-Aerosol Optical Depth (AOD)

عمق نوری هواویز کمیتی بدون بعد و نشان دهنده میزان جذب و پراکنش نور ناشی از هواویزها در مسیر عبوری نور در جو است. مقدار این کمیت، نسبت به میزان تراکم هواویزهای جو متغیر است. ذرات گردوغبار

با تغییر دمای سطح زمین و جو، تبادل انرژی بین سطح و جو و همچنین دینامیک جو را تحت تأثیر قرار میدهد . این فرآیند موجب تولید عمق نوری بالایی می شود. با توجه به اینکه میزان AOD در مناطق دارای اراضی تحت تأثیر فرسایش بادی زیاد است و این اراضی مناطق برداشت، حمل و یا رسوبگذاری ذرات گردوغبار هستند، بنابراین ارزیابی تغییرات AOD بررسی خطر بیابانزایی ناشی از ریزگردها را ممکن میسازد.

عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید پدیده گرد و غبار:

از عواملی که در ایجاد گرد و غبار نقش دارند می توان تغییرات شدید فشار هوا، نیروی شتاب عرضی (کورلیولیس) ناشی از حرکت وضعی زمین ، تأثیر خط ناپایدار در صحاری کشورهای همسایه، فقر پوشش گیاهی منطقه، خشکسالی شدید ، وقوع جنگ، بافت و ترکیب خاک، کانالیزه کردن جریانات هوا در اثر توپوگرافی، الگوهای سینوپتیکی وزش بادهای شدید و ناگهانی، فرسایش بادی شدید اشاره نمود. ترکیب پدیده تغییر اقلیم با فعالیت های انسانی و الگوهای سکونت آن ها موجب افزایش تخریب خاک، فرسایش بادی، بیابان زایی ، تخریب خواص خاک و مواد مغذی مورد نیاز گیاهان می گردد که ادامه این روند موجب از بین رفتن زیتوده و کربن آلی خاک شده و موجب تشدید طوفان های گرد و غبار می گردد پدیده های گرد و غباری حاصل وزش بادهای و ناپایداری در الگوی سینوپتیکی می باشد . فراوانی ذرات گرد و غبار در جو علاوه بر شدت باد و خشکی ذرات خاک به اندازه قطر ذرات نیز بستگی دارد. بار بستری معلق کافی، وزش بادهای شدید و ناگهانی، خشک شدن بسترهای آبی و رودخانه ها با دخالت انسان و یا سیکل طبیعی اقلیم، فرسایش شدید نیز از دسته عوامل مؤثر در تشکیل پدیده گرد و غبار هستند. وزش بادهای شدید بر روی بیابان های با خاک نرم و خشک، حرکت صعودی هوا موجب انتقال عمودی ذرات گرد و خاک معلق به ترازهای بالاتر جو می شود، انتقال ذرات معلق توسط جریانات سطوح فوقانی جو به نقاط دورتر از عوامل اصلی در ایجاد پدیده گرد و غبار هستند .از دیگر عوامل مؤثر در تکوین و ایجاد ناپایداری سرعت باد و جریان های شدید لایه زیرین تروپوسفر است طوفان های گردوغباری که تحت تأثیر مستقیم و غیرمستقیم تغییرات آب و هوایی در حال گسترش می باشند به دلایلی اخیراً جوامع انسانی و سلامت آن ها را در معرض تهدید قرار داده اند . تغییر در الگوهای خشکسالی، گسترش بیابان زایی و تغییر در پوشش گیاهی زمین که به نوعی به تغییر اقلیم وابسته است از سویی و تغییرات انسان ساخت اراضی از عواملی هستند که در تشدید این معضل محیطی دخالت داشته اند . وقوع خشکسالی، وجود زمینه های مساعد، وزش

بادهای شدید روی بیابان، حرکت صعودی هوا و وجود جریان های فوقانی نیز از عوامل جوی و اقلیمی تشدیدکننده وقوع گرد و غبار است.

منابع عمده گرد و غبار در دنیا: اکثریت گرد و غبارهای دنیا از نواحی محدودی مانند بیابان بزرگ افریقا، خاورمیانه، آسیای جنوب غربی، مرکز استرالیا، مغولستان و بخش هایی از قاره اروپا و آمریکا منشاء می گیرند که از این منطقه به عنوان کمربند غبار نام برده می شود که در نیمکره شمالی واقع شده است. در منطقه خاورمیانه از شمال آفریقا تا چین گسترده شده است. به طور کلی منابع عمده گرد و غبار عبارتند از سرزمین های کم ارتفاع و کم بارانی که از میانگین بارش سالیانه کم تر از ۲۵۰ میلی متر برخوردار هستند. بزرگترین منابع تولید غبار در کره زمین در نیم کره شمالی از سواحل شمال غربی آفریقا آغاز شده و ضمن عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می رسند. بیش از ۷۰ درصد از طوفان های گرد و غبار به طوفان هایی که از بیابان های افریقا نشات می گیرند نسبت داده می شود.

منشاء و منابع عمده گرد و غبار در ایران: منشأ ظهور پدیده ریزگردها در جهان به عنوان بخشی از آثار و عوارض فرسایش بادی، عموماً مختص مناطق خشک و نیمه خشک است، اگرچه دامنه اثرات آن ممکن است به بخش های وسیع تر و حتی مناطق مرطوب و نیمه مرطوب هم گسترش یابد. حدود ۲۵ درصد از مساحت کشور ایران به دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند خشک و بیابانی جهان، تحت سیطره طوفان های گرد و غباری می باشند. مهم ترین منبع گرد و غباری وارد شده به غرب کشور، صحرای سوریه، صحرای نفوذ در شمال شبه جزیره عربستان و بیابان های جنوب عراق می باشند و نقش صحرای بزرگ افریقا در این میان بسیار ناچیز می باشد. نتایج بررسی های انجام شده حاکی از آن است که عمده ترین منشأ به وجود آورنده ریزگردهای سال های اخیر در جنوب غرب و غرب کشور، عموماً مبدأ خارجی داشته و قسمت هایی از سرزمین های کشور عراق، سوریه و عربستان است. اگرچه کشور ما با پدیده ریزگردها یا طوفان های گرد و غبار که اغلب منشأ داخلی دارد هم روبه رو است، ولی این پدیده بیشتر محلی بوده و از نظر زمانی هم نسبتاً کوتاه مدت است. چهار کانون پدیده گرد و غبار در عراق و دو کانون آن در شمال شرق سوریه و سمت شرقی عربستان است. کشورهای عراق و عربستان به خاطر رها کردن طرح توسعه پایدار و بیابان زدایی و همین طور جدی نگرفتن حفاظت از اکوسیستم ها و محیط زیست، صادر کننده آلودگی گرد و غبار به کشورهای دیگر منطقه از جمله ایران هستند. کانون اصلی بحران گرد و غبار

در شش منطقه در کشورهای همسایه غربی ایران، شناسایی شده که چهار کانون آن در عراق، یکی در سوریه و دیگری در عربستان است. کشور عراق عامل اصلی بیش از ۷۰ درصد این پدیده زیست محیطی است. تصاویر ماهواره ای (ماهواره مودیس) منشا و مسیر حرکت طوفان های گرد و غبار از کشورهای حاشیه غربی و جنوبی ایران و گسترش آن در مناطق مختلف ایرانرا نشان می دهند. کانون های تولیدکننده ی گرد و غبار در عراق، سوریه، عربستان سعودی، اردن، کویت و مناطق کمی از ایران و جنوب ترکیه به ترتیب از کانون های مهم و تأثیرگذار بر طوفان هایی هستند که بر مناطق جنوبی، جنوب غربی ایران تأثیر می گذارند. مناطق واقع در بین النهرین از مناطق عمده مشارکت کننده در تولید گرد و غبار هستند. در واقع، بین النهرین به وسیله سرشاخه هایی تغذیه می شود که از کشور ترکیه، سوریه و ایران سرچشمه می گیرد که توسعه شتاب دار این کشور و ساخت سد های متنوع از عواملی است که به ایجاد سامانه گرد و غبار کمک کرده است. باد شمال عراق اگرچه ذرات ریز را به حالت معلق در می آورد اما نمی تواند مسافت طولانی آن را حمل کند و این مهم توسط بادهای حاصل از تداخل توده هوای بزرگ شکل یافته در ارتفاعات ترکیه و ایران با توده هوای تشکیل شده در ارتفاعات عربستان، انجام می گیرد که به خاطر وقوع گرادیان یا اختلاف فشار موجود بین مناطق بیابانی شرق عراق با بخش های غربی و جنوب غربی ایران، جهت بادهای ایجاد شده به سمت مناطق غربی، جنوب غربی و حواشی خلیج فارس تغییر یافته است و می تواند در تابستان و زمستان توده عظیمی از گرد و غبار را به ایران منتقل کند. عمده ترین علل وقوع پدیده گرد و غبار به ویژه در غرب ایران را می توان ناپایداری جوی در صحراهای عربستان، عراق، کویت و سوریه وقوع خشکسالی های متوالی باشدت و وسعت بالا در فقدان پوشش گیاهی دانست و علاوه بر آن کاهش بارندگی و میزان رطوبت هوا و خاک، تخریب مناطق جنگلی و مرتعی در کشورهای منطقه، تغییرات فشار هوا و وزش باد شدید از سمت بیابان های عراق و عربستان، تغییر کاربری اراضی، تغییر در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی (خصوصا در مناطق مرزی) و رخداد جنگ را هم باید به آن ها افزود. نوع عملکرد در مدیریت اراضی و منابع آب، احداث سد، انحراف مسیر رودخانه و برداشت بی رویه آب نیز می تواند در ایجاد این پدیده مؤثر باشد. هم چنین کاهش شدید رطوبت خاک بر اثر کاهش شدید بارش در دهه گذشته به ویژه در شمال خاورمیانه که منطقه تغذیه رودهای بزرگ بین النهرین میباشد و نیز افزایش فرکانس عبور امواج کوتاه و سریع با مؤلفه باد مداری قوی از دلایل اصلی وقوع طوفان های منطقه هستند. به نظر می رسد تقویت پرفشار جنب حاره ای روی عربستان باعث افزایش سرعت امواج کوتاه سطوح میانی و کاهش فرارفت رطوبتی از سطوح بالای عرضهای جنوبی می گردد که سبب کاهش عمق فرود مدیترانه ای و نیز باعث تشدید شرایط باد مداری و تضعیف جریانات نصف النهاری شده

است. هم چنین با ضعیف شدن فرود مدیترانه ای و جابه جایی آن به سمت عرضهای بالاتر و بالا آمدن مرکز پراترفاع جنب حاره میتواند دلیل دیگری بر جابه جایی منشا غبار به سمت شمال باشد.

ابزار بررسی و مطالعه طوفان گرد و غبار :

- انواع دستگاه هایی که عمدتاً از یک حسگر نوری جهت ثبت نور پراکنده در اثر عبور از میان پرتو نوری (لیزری) استفاده می کنند.

-انواع رسوبگیرهای غبار

-سنجش از دور یکی از ابزارهایی است که در سال های اخیر برای شناسایی، ردیابی و تجزیه و تحلیل طوفان گرد و غبار مورد استفاده قرار می گیرد. برای این کار طیف وسیعی از سنجنده های مختلف به تنهایی یا به صورت ترکیبی استفاده می شود که در نهایت یک تصویر جهانی از فعالیت های طوفان گرد و غبار می دهد. این تکنیک از فعالیت های طوفان گرد و غبار که برای آن هیچ اطلاعات ایستگاه هواشناسی وجود ندارد، با ردیابی ذرات و منابع گرد و غبار یک تصویر جهانی ارائه می دهد و اطلاعات را بر روی پارامترهایی مانند ضخامت نور و ارتفاع ذرات گرد و غبار تجزیه و تحلیل می کند

منابع:

- حسینقلی رفاهی، ۱۳۸۸. فرسایش بادی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران (چاپ پنجم)
- محمدرضا اختصاصی و فرشید جهان بخشی، ۱۳۹۴. مدل ها و ابزارهای برآورد و اندازه گیری فرسایش بادی، انتشارات دانشگاه یزد (چاپ اول)
- محمدرضا اختصاصی و علی محمد قائمی نیا، ۱۳۹۵. فیزیک ماسه بادی و گرد و غبار (ترجمه)، انتشارات دانشگاه یزد (چاپ اول)
- دیمن غفاری و رئوف مصطفی زاده، ۱۳۹۴. بررسی منشاء، اثرات و راهکارهای پدیده گرد و غبار در ایران. نشریه حفاظت و بهره برداری از منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۲. صص ۱۲۵-۱۰۶