

مدلی عددی برآورد سرعت باد آستانه در انتقال شنهای روان

عباسعلی علی اکبری بیدختی^۱، فاطمه مالکی فرد^۲، مجید میررکنی^۳

۱_ دانشیار گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ۲_ کارشناس ارشد هواشناسی، موسسه

ژئوفیزیک دانشگاه تهران ۳_ مربی گروه فیزیک دانشگاه یزد

تاریخ وصول: ۸۱/۹/۲۵

چکیده

مطالعات متعددی در زمینه پدیده های مربوط به حرکت شنهای روان و توفان شن انجام شده است. این مطالعات اغلب بر اساس شبیه سازی آزمایشگاهی، اندازه گیریها و مشاهدات در محیط بوده است. علاوه بر شبیه سازی پدیده های مربوط به حرکت شنهای روان، بر اساس اصول ساده انتقال شن ناشی از ساز و کار تنش تلاطمی باد، تلاش می شود تا مدل های تجربی/ریاضی برای آنها ساخته شود. در این مدلها شار اندازه حرکت سطحی در فصل مشترک جو-زمین که عامل اصلی در انتقال ذرات می باشد، بررسی و پارامتریزه می شود. در اینجا یک مدل عددی برای تخمین باد آستانه در انتقال شنهای روان ارائه میشود. بر این اساس و به کمک روش عددی بر مبنای سولا و اف (SOL - VOF) در مدل پیشنهادی سعی بر پیش بینی باد آستانه در انتقال شن شده است. به منظور محاسبه باد آستانه خصوصیات سطحی شن، نیمرخ باد در سطح زمین و برهمکنش باد و سطوح شنی در نظر گرفته شده است. بر اساس این مدل آهنگ انتقال شن روان حدود $20-30 \text{ kgm}^{-1}\text{hr}^{-1}$ برآورد شد که در واقع حدود نیم تن شن روان در واحد سطح در هر شبانه روز حمل میشود. محاسبه سرعت آستانه باد به کمک مدل عددی مذکور در پیش بینی شروع توفان شن و آهنگ انتقال شن اهمیت بسزایی دارد.

واژه های کلیدی: شنهای روان، سرعت آستانه، آهنگ انتقال شن.

مقدمه

با توجه به وسعت زیاد شنزارهای موجود در ایران، موضوع جابجایی ذرات شن در پدیده انتقال شنهای روان از اهمیت ویژه ای برخوردار است. انتقال شنهای روان در مقیاس وسیع اثرات زیست محیطی زیادی را به دنبال دارد. باد عامل اصلی حرکت شن محسوب میشود. حرکت شن بر اثر جریان باد پدیده

پیچیده ای است که تحت تاثیر شرایط مختلف هواشناسی و ساختاری قرار دارد. حمل شن در اثر جریان باد ناشی از واکنش متقابل چندین عامل است که برخی در جهت حرکت شن و برخی در نگهداری آن موثرند. باد به سه حالت دانه های شن را حمل می کند. بررسیها نشان می دهند که دانه های بسیار ریز شن ($d < 100 \mu\text{m}$) حرکت معلق دارند. بنابراین

کوچکی فوق‌العاده این ذرات است. این نتایج عموماً بر اساس مشاهدات مستقیم یا آزمایشات مختلف در تونل باد با تندی مشخص باد بدست آمده است (گیلکتی^۳، ۱۹۸۵). هر دو روش فوق مستلزم صرف وقت و هزینه زیادی می‌باشد. از طرفی مقادیر سرعت آستانه فقط برای تندیهای مشخص باد بدست آمده است که در صورت تغییر تندی باد انجام مجدد آزمایشات تونل باد یا اندازه‌گیری در محیط لازم می‌باشد. برای پرهیز از آزمایشات و اندازه‌گیریهای مجدد، اگر شن را تحت عنوان شماره با پارامترهای مخصوص شماره‌ها در نظر بگیریم، با توجه به بقای اندازه حرکت در فصل مشترک شن - هوا می‌توانیم سرعت آستانه را در اثر تندیهای مختلف باد به کمک روشهای عددی بدست آوریم. بدین ترتیب آهنگ انتقال شن قابل محاسبه می‌باشد (میررکنی، ۱۳۷۵).

معادلات حرکت

هنگامیکه باد از روی سطحی عبور می‌کند، در مجاورت سطح زمین به دلیل اصطکاک، تندی باد کاهش می‌یابد و در ارتفاع بسیار کم از سطح زمین، تندی باد تقریباً صفر است و این ارتفاع تحت عنوان طول ناهمواری (z_0) بیان می‌شود که بر اساس رسم منحنی تندی باد نسبت به لگاریتم ارتفاع بدست می‌آید (آریا^۱، ۱۹۸۸). طبق آزمایشات انجام شده در تونل باد، طول ناهمواری برای سطوح شنی به قطر دانه‌های شن بستگی دارد (بگنولد^۲، ۱۹۵۴) و $z_0 = \frac{d}{30}$ (رابطه تجربی) که

چنین ذراتی تا مسافتهای دور بر اثر جریان باد حمل خواهند شد. ذرات درشت و بزرگتر ($100\mu m \leq d \leq 500\mu m$) بصورت غلطان روی سطح زمین به حرکت در می‌آیند و بالاخره دانه‌های شن بزرگتر ($500\mu m \leq d \leq 1000\mu m$) حرکت جهشی دارند. حرکت جهشی مهمترین حالت است زیرا بیشترین مقدار شن در این نوع حرکت جابج می‌شود. در مرحله حمل شن درشت تا متوسط ($200\mu m \leq d \leq 1000\mu m$) که در ارتفاع نزدیک سطح زمین انجام می‌گیرد، دانه‌های شن تا نقاط دور دست حمل می‌شوند و معمولاً در هر مکانی که انباشته شوند تحت عنوان شن روان معرفی می‌گردند (فریدوسی و دیگارد^۱، ۱۹۹۲).

تندی باد مهمترین عامل در شروع حرکت ذرات خاک و قطر ذرات خاک عامل موثرتری در تعیین باد آستانه در انتقال ذرات خاک می‌باشد (توسار^۲، ۱۹۸۵) تندی باد آستانه برای حرکت ذرات ($0.1mm \leq d \leq 0.15mm$) معمولاً کم است. برای شروع حرکت این قبیل ذرات حداقل تندی باد 4m/s تا 5m/s لازم است، این باد می‌تواند ذرات خاک را تا ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر بالا ببرد.

برای شروع حرکت ذراتی که قطرشان از رقم فوق کوچکتر یا بزرگتر است به سرعت آستانه بیشتری نیاز است. مقاومت زیاد ذرات ریز در مقابل باد تا حدی به علت خاصیت جذب بین ذرات ریز و بیش از آن به علت

به ترتیب مولفه‌های x و y نیروی گرادیان فشار، جملات دوم به ترتیب مولفه‌های x و y نیروی ایستایی متناسب با وزن ذرات^۵ (نیکولز^۶ و همکاران، ۱۹۸۰)، جملات سوم به ترتیب مولفه‌های x و y چسبندگی مولکولی^۷ و بالاخره جملات چهارم به ترتیب مولفه‌های x و y نیروی مقاومت چسبندگی تلامپی^۸ هستند. مشکل اساسی در حل عددی معادلات فوق ضریب وشکسانی جنبشی ν است. ضریب دشکسانی جنبشی بر اساس آزمایشات روی ذرات کوارتز در آستانه حرکت $10 \text{ cm}^2 / \text{s}$ به دست آمده است (هس^۹، ۱۹۸۸). از آنجایی که رفتار دانه‌های کوارتز بسیار شبیه دانه‌های شن^{۱۰} در محیط می‌باشد، از ضریب وشکسانی جنبشی دانه‌های کوارتز برای دانه‌های شن استفاده می‌شود. در اینجا یک مدل عددی ارائه میشود که میتوان معادلات فوق را برای سطح شنی حل کرد.

مدل عددی

در بررسی‌های دینامیک شاره‌ای با توجه به مشخصات مسئله مورد نظر یکی از دو روش لاگرانژی و اولری را انتخاب می‌کنند. مقایسه‌ای از محاسن و معایب شیوه‌های اولری و لاگرانژی منجر به روش جدیدی می‌شود که

z_0 طول ناهمواری و d قطر دانه‌های

شن می‌باشد.

سرعت اصطکاک سطحی بر اساس

معادله زیر محاسبه می‌شود:

(۱)

$$\bar{u}_z = \frac{u_*}{k} \ln \left[\frac{z+d}{z_0} \right]$$

که \bar{u}_z میانگین تندی باد در ارتفاع

z ، u_* سرعت اصطکاک^{۱۱} $\left(\frac{\tau}{\rho} \right)^{1/2}$ که τ

تنش سطحی و ρ چگالی شاره است)، k ثابت

فون-کارمن و z_0 طول ناهمواری^{۱۲} می‌باشد.

طبق قانون بقای اندازه حرکت، معادلات

حرکت در دو بعد (افقی و قائم) به صورت زیر

بدست می‌آیند:

(۲)

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + (\rho u_*)_x$$

(۳)

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + (\rho u_*)_y$$

که u و v مولفه‌های سرعت بترتیب

در جهات x و y ، ρ چگالی، ν ضریب

چسبندگی، p فشار و u_* سرعت اصطکاک^{۱۱}

شاره می‌باشند. جملات سمت چپ معادلات

حرکت، آهنگ تام تغییرات مولفه‌های سرعت

به ترتیب در جهت محور x و y هستند.

جملات اول در سمت راست معادلات حرکت

1- Arya	2- Bagnold	3- Friction velocity	4- roughness length	5- Salutation darg
6- Nichols	7- molecule viscosity	8- turbulent viscosity	9-Hsu	

۲- برای ارضای معادله پیوستگی، فشار بصورت تکراری در هر سلول تنظیم می شود و تغییرات تندی برای هر تغییر فشار به دست می آیند. سپس این تغییرات تندی به تندی های محاسبه شده در مرحله اول اضافه می گردند.

۳- تابع F که نشان وجود شاره در سلولهای شبکه می باشد برای ترکیب جدید شاره بررسی و جایگذاری می شود.

تقریبات معادلات حرکت بر اساس تقریبات تفاضل متناهی بیان می شوند.

(۴)

$$u_{(i+1)/2,j}^{n+1} = u_{(i+1)/2,j}^n + \Delta t \left[- (p_{i+1,j}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) / \delta \rho_{x_{(i+1)/2}} + g_x - FUX - FUY - VISX + DRAGX \right]$$

$$v_{i,(j+1)/2}^{n+1} = v_{i,(j+1)/2}^n + \Delta t \left[- (p_{i,j+1}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) / \delta \rho_{y_{(j+1)/2}} + g_y - FVX - FVY - VISY + DRAGY \right] \quad (5)$$

$$+ g_y - FVX - FVY - VISY + DRAGY \quad (6)$$

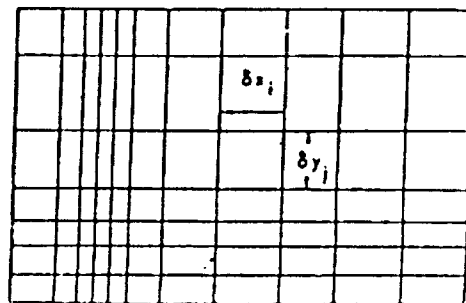
$$\delta \rho_{x_{(i+1)/2}} = 1/2 \{ \rho_c + (\rho_F - \rho_c) F_{i,j} \} \delta x_{i+1} + \{ \rho_c (\rho_F - \rho_c) F_{i+1,j} \} \delta x_i \quad (7)$$

$$\delta \rho_{y_{(j+1)/2}} = 1/2 \{ \rho_c + (\rho_F - \rho_c) F_{i,j} \} \delta y_{j+1} + \{ \rho_c (\rho_F - \rho_c) F_{i,j+1} \} \delta y_j \quad (8)$$

$$DRAGX = \rho (u_{i,j+1}^{n-1})^2 \quad (9)$$

$$DRAGY = \rho \left(\sqrt{\frac{n-1}{i,j+1}} \right)^2 \quad (10)$$

روش حجم جزئی نامیده شده است. در این روش تابع F تعریف می شود که مقادیر بین یک و صفر را اختیار می کند. هنگام متوسط گیری روی سلولهای شبکه محاسباتی، مقدار متوسط F در هر سلول جزئی برابر حجم جزئی سلول می باشد که توسط شاره اشغال شده است. بدین ترتیب سلولهایی با مقادیر بین صفر و یک نشان دهنده سطح آزاد هستند. این روش اساس حل عددی برنامه SOL - VOF است. در این برنامه طرحواره حجم جزئی شاره برای ردیابی مرزهای آزاد به کار می رود (نیکولز و همکاران، ۱۹۸۰). SOL - VOF از شبکه اولری شامل سلولهای راست گوشه در اندازه های مختلف استفاده می کند (شکل ۱).



شکل ۱- شبکه تفاضل متناهی با سلولهای راست گوشه در اندازه های مختلف

بطور خلاصه، روش اساسی برای حل معادلات حرکت در یک گام زمانی شامل سه مرحله است:

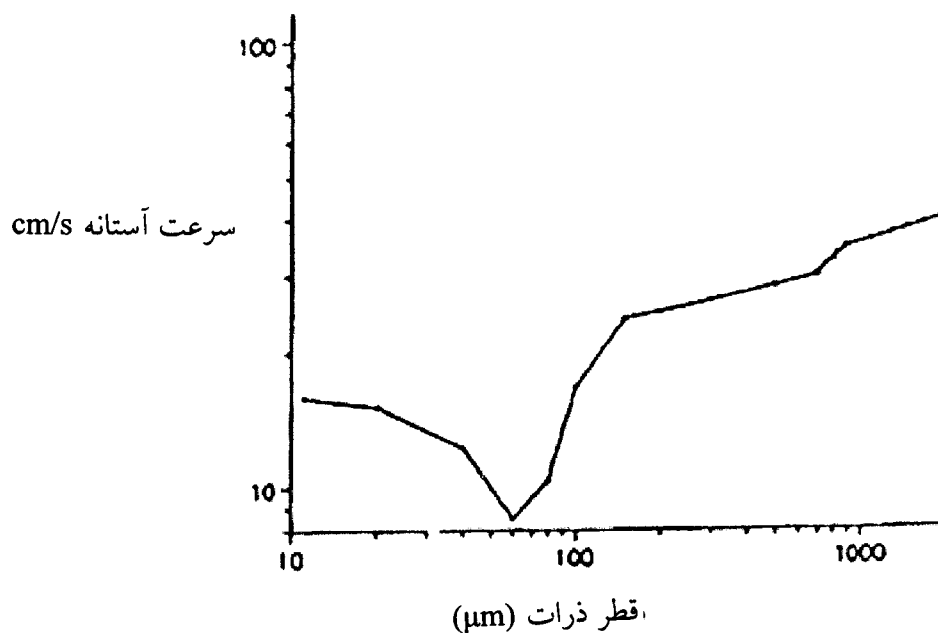
- ۱- تقریب صریح معادلات ۲ و ۳ برای محاسبه تندیهای گام زمانی $n+1$ با استفاده از شرایط اولیه یا مقادیر گام زمانی n برای تمام عبارات به کار می رود.

برابر نیروی وزن قابل اغماض است و از این رو با افزایش قطر دانه‌های شن سرعت آستانه باد زیاد می‌شود. افزایش اندازه ذرات شن نیز در ناهم‌واری بیشتر سطح موثر بوده و باعث افزایش ضریب انتقال بین سطح و باد می‌شود. که این می‌تواند افزایش حمل شنهای روان را در بر داشته باشد، همان‌طور که نتایج هم آن را نشان می‌دهد، البته این افزایش تا زمانی است که بتوان شن را با خصوصیات یک شماره در نظر گرفت و زمانی که قطر دانه‌های شن خیلی بزرگ می‌شود ($d > 1000 \mu m$)، شن نمی‌تواند خصوصیات یک شماره را داشته باشد و در این حالت آهنگ انتقال شن خیلی کم خواهد شد. جدول ۱ مقایسه نتایج مدل عددی حاضر را با آزمایشهای آبسیل و بیوگلینگ^۱ (۱۹۸۵) و بگنولد (۱۹۴۱) نشان می‌دهد، همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج مدل عددی و آزمایش آبسیل-بیوگلینگ در مورد محدوده آسیب پذیرترین ذرات توافق دارند، اما در مورد تعیین رژیمهای متفاوت آستانه برای حد پایین قطر دانه‌های شن توافق ندارند. برای محدوده ابتدایی قطر دانه‌های شنی که $d \leq 65 \mu m$ می‌باشد، آهنگ انتقال شن با کاهش قطر دانه شن افزایش می‌یابد. ولی برای دانه‌های شنی که $d > 65 \mu m$ می‌باشد، آهنگ انتقال شن با افزایش قطر دانه شن افزایش می‌یابد. شکل ۳ آهنگ انتقال شن در سرعت ثابت باد توسط این مدل عددی را نشان می‌دهد.

ρ_f چگالی شن و ρ_c چگالی هوا می‌باشد. αx و δy به ترتیب گام مکانی در جهت محور x و y هستند. FUX, FUY, VISX چسبندگی هستند (آریا، ۱۹۸۸).

مولفه‌های نیروی مقاومت بر اساس سرعت اصطکاکی با توجه به مولفه‌های سرعت باد مربوط به گام زمانی $n-1$ محاسبه می‌شوند.

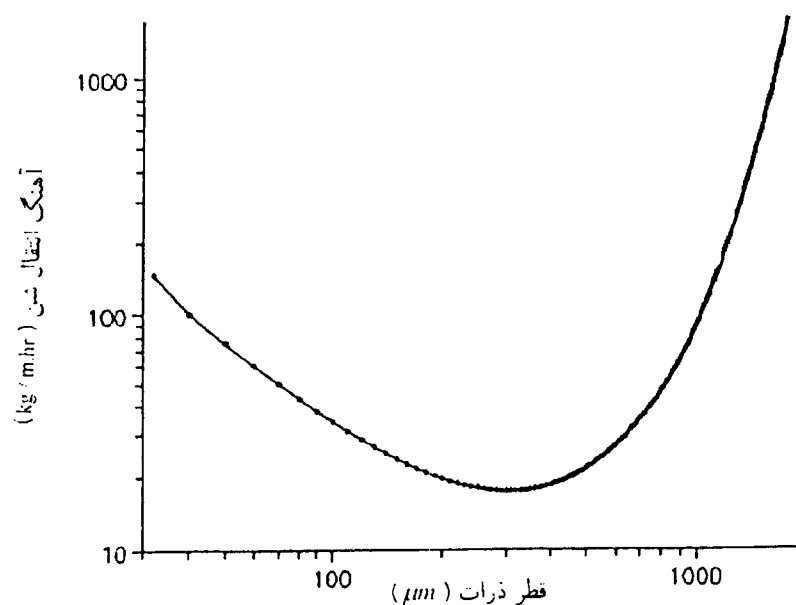
برای محاسبه سرعت آستانه باد از شرط مرزی پیوسته استفاده شد که اجازه می‌دهد شماره با سرعت خاصی وارد شبکه شده و از آن خارج شود. برای اینکه نیروی مقاومت قابل محاسبه باشد در سطح آزاد که همان فصل مشترک شن-هوا است از شرط مرزی غیر لغزشی استفاده شد. شکل ۲ نمودار سرعت آستانه باد بر حسب قطر دانه‌های شن حاصل از مدل عددی می‌باشد. با مشاهده، سه رژیم متفاوت برای آستانه حرکت دانه‌های شن مشخص می‌شود. برای ذرات $d \leq 65 \mu m$ نیروی وزن در برابر نیروی چسبندگی قابل اغماض است و از این رو با کاهش قطر دانه‌های شن سرعت آستانه افزایش می‌یابد. برای ذرات $65 \mu m < d < 200 \mu m$ تعادلی از نیروهای وزن و چسبندگی در جهت ایستایی ذره عمل می‌کنند. حداقل تنش بحرانی برای دانه‌های شن $65 \mu m \leq d \leq 100 \mu m$ می‌باشد و از این رو آسیب پذیرترین ذرات از لحاظ آستانه حرکت در این محدوده قرار دارند. برای ذرات $200 \mu m \leq d \leq 1000 \mu m$ نیروی چسبندگی در



شکل ۲- منحنی تغییرات باد آستانه بر حسب قطر ذرات بر اساس مدل عددی در سرعت‌های مختلف باد

جدول ۱- مقایسه نتایج مدل عددی مورد مطالعه با نتایج بدست آمده از تونل باد توسط دیگران

آزمایش	قطر ذره (μm)	نوع ذره	نیروی ایستایی	محدوده آسیب پذیرترین ذرات (μm)
تجربی-تونل باد (بگنولد، ۱۹۴۱)	$d < 200$	شن نرم	نیروی چسبندگی	$100 \leq d \leq 150$
	$d \geq 200$	شن روان	نیروی وزن	
تجربی-تونل باد (آبسیل و بیوگلینگ، ۱۹۸۵)	$d \leq 30$	شن نرم	نیروی چسبندگی	$75 \leq d \leq 100$
	$30 < d < 200$	شن	نیروی چسبندگی و وزن	
	$d \geq 200$	شن روان	نیروی وزن	
مدل عددی (مطالعه حاضر)	$d \leq 65$	شن نرم	نیروی چسبندگی	$65 \leq d \leq 100$
	$65 < d < 200$	شن	نیروی چسبندگی و وزن	
	$d \geq 200$	شن روان	نیروی وزن	



$$u_* = 30 \text{ cm/s}$$

شکل ۳- پیش بینی منحنی تغییرات آهنگ انتقال شن بر واحد پهنا در جهت عمود بر سرعت باد

یک شاره در نظر گرفت و جایی که قطر دانه های شن خیلی بزرگ میشود ($d > 1000 \mu\text{m}$)، شن نمیتواند خصوصیات یک شاره را داشته باشد و در این حالت آهنگ انتقال شن خیلی کم خواهد شد

با توجه به شکل ۳ با افزایش قطر ذرات (برای ذرات شن بیشتر از $400 \mu\text{m}$) آهنگ انتقال شن افزایش میابد که مربوط به افزایش ناهمواری (z_0) است، البته این افزایش تا جایی است که بتوان شن را با خصوصیات

می باشد. آهنگ انتقال شن از این رو مهم است که عامل اصلی در برنامه ریزی طرح های تثبیت شن و احیاء مناطق کویری است. چون حرکت و پراکنده شدن شن در ارتفاع نزدیک سطح زمین باعث عدم تعادل گرمایی و فشار و در نهایت موجب تشکیل توفان شن می گردد لذا محاسبه سرعت آستانه باد در پیش بینی شروع توفان شن حائز اهمیت است. روابط متعددی برای محاسبه آهنگ انتقال شن ارائه شده است، یکی از مهمترین آنها رابطه زیر میباشد (سورنسون^۲، ۱۹۹۱):

بحث و نتیجه گیری

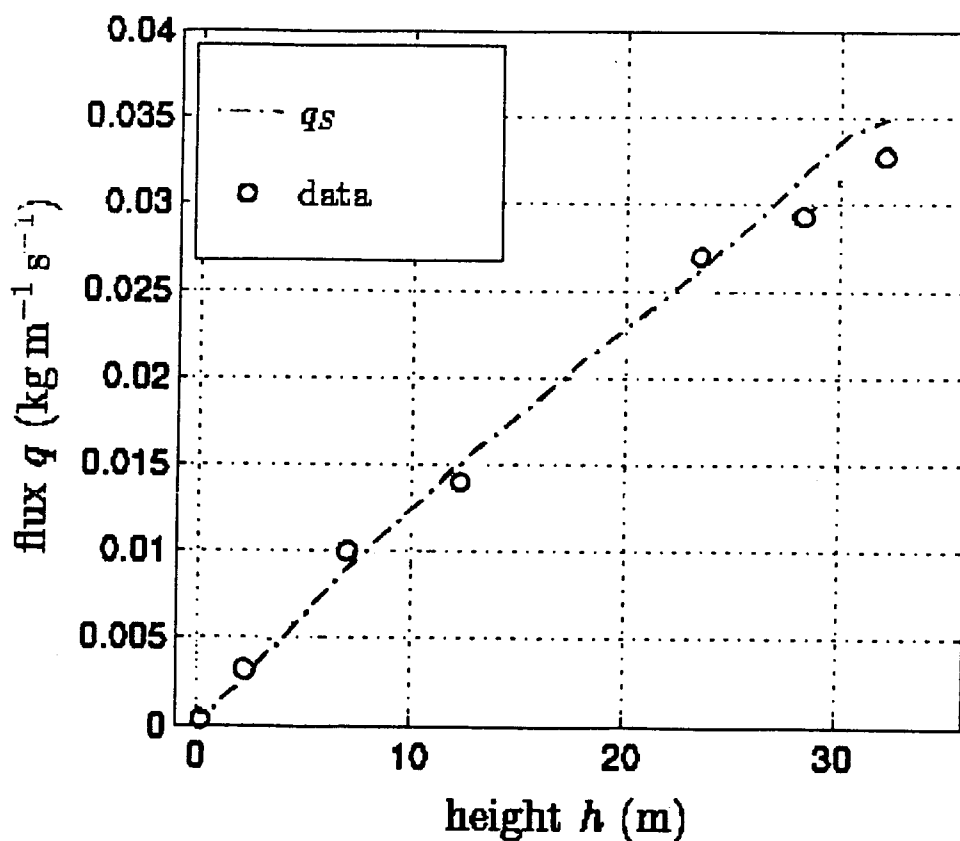
بطور کلی آهنگ انتقال شن با افزایش قطر دانه شن افزایش می یابد. اندازه گیریها در محیط، افزایش آهنگ انتقال شن با قطر دانه شن را تایید می کند در حالیکه نتایج اندازه گیریها در تونل باد این موضوع را نشان نمی دهند (سایرمن^۱، ۲۰۰۱). با استفاده از مدل عددی مذکور، سرعت آستانه باد در انتقال شن بر اساس تندی باد و میانگین قطر دانه های شن بدست می آید آهنگ انتقال شن به ازای تندیهای مختلف باد و مقادیر متفاوت قطر دانه های شن قابل محاسبه

عباسعلی علی اکبری بیدختی و همکاران: مدلی عددی برآورد سرعت باد آستانه

$$q_s(u_*) = C_s \frac{\rho_{air}}{g} u_* (u_* - u_{*t}) (u_* + 7.6 * u_{*t} + 2.05 \text{ms}^{-1}) \quad (10)$$

که با نتایج مدل عددی (شکل ۳) همخوانی دارد. با این اطلاعات در یک شبانه روز حدود ۵۵۰ کیلوگرم شن در واحد سطح حمل خواهد شد، حمل این مقدار شن روان در مناطق روستایی اثرات زیان آوری را به دنبال دارد و روند مهاجرت روستاییان به شهرها را گسترش خواهد داد، که خود باعث مشکلات جدیدتری خواهد شد. محدودیت مدل عددی موجود در بررسی تغییر شکل سطوح شنی است. برای ردیابی مسیر دانه‌های شن به منظور بررسی تغییر شکل سطوح شنی در اثر جریان باد شیوه لاگرانژی مورد نیاز است. از طرفی معرفی شن به عنوان شماره باعث عدم اعتبار جوابهای مدل عددی مذکور بعد از آستانه حرکت دانه‌های شن می‌شود.

C_s پارامتری است که مقدار آن با استفاده از داده های تونل باد ۰/۴۸ محاسبه شده است (وایت و مونلا^۱، ۱۹۹۱)، g شتاب جاذبه، u_* سرعت اصطکاکی و u_{*t} سرعت آستانه برای انتقال شن میباشد. شکل ۴ آهنگ انتقال شن بر حسب ارتفاع برخان^۲ را در سرعت اصطکاکی ۳۶ سانتیمتر بر ثانیه و سرعت آستانه ۲۸ سانتیمتر بر ثانیه نشان میدهد (که با نتایج سایرین همخوانی دارد). نتایج حاصل از رابطه ۱۰ همبستگی خوبی را با نتایج تونل باد نشان میدهد (سایرین^۳، ۲۰۰۱). با استفاده از این رابطه برای سرعت اصطکاکی ۳۶ سانتیمتر بر ثانیه و سرعت آستانه ۲۸ سانتیمتر بر ثانیه، آهنگ انتقال شن مقدار ۲۳ کیلوگرم در هر ساعت بر واحد پهنا (در جهت عمود بر سرعت باد) بدست آمد



شکل ۴ - تغییرات آهنگ انتقال شن با ارتفاع برخان در سرعت اصطکاکی و سرعت آستانه به ترتیب ۳۰ و ۲۸ سانتیمتر بر ثانیه (سایرین و همکاران، ۲۰۰۱)

بنابراین برای بررسی تغییر شکل
سطوح شنی و تشکیل، تغییر شکل و حرکت
تپه‌های شنی علاوه بر شیوه لاگرانژی برای
ردیابی مسیر دانه‌های شن، شبیه‌سازی دانه‌های
شن بصورت ذرات کروی لازم می‌باشد.

قدرانی

از حمایت‌های مالی شورای محترم پژوهشی دانشگاه تهران در انجام این طرح تشکر و قدرانی می‌شود.

منابع

- ۱_ میررکنی، م.، مدل عددی برای پیش بینی باد آستانه در انتقال شنهای روان و پیش بینی شروع توفان، ۱۳۷۵، پایان نامه کارشناسی ارشد، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- 2_Absil, F., & Beugeling, G., 1985, the entertainment of small particles by a turbulent spot. Lab. For Aero and Hydrodynamics, Netherlands.
- 3_Arya, P., 1988, An introduction to micrometeorology: Academic press, London
- 4_Bagnold, R. A. 1941, the physics of blown sand and desert dunes, Methuen, London
- 5_Bagnold, R. A. 1954, the surface movement of blown sand in relation to meteorology. In: Desert research, Vol. 2, pp. 89-96. Research Council of Israel, Jerusalem
- 6_Fredose, J., Deigaard, R., 1992, Mechanics of Coastal Sediment Transport: World Scientific, Singapore.
- 7_Gillcette, D., 1985, Threshold velocities for input of soil particles into the air by desert soil: J. Geoph. Res. 85,5621-5630.
- 8_Hus, S., 1988, Coastal Meteorology: Academic Press, California.
- 9_Nichols, B. D., C. W. Hirt and R. S. Hotchkiss, 1980, Los Alamos Scientific Laboratory, LA- 8355, UC-32 and UC-34.
- 10_Tosar, H., 1985, Profile analysis of sand dunes and their steady state signification: Geogar. Ann. 67 (1-1), 4759.
- 11_Sauermann, G., Kory, K., and Herrmann, J., 2001, A continuum saltation model for sand dunes. Cond-mat/0101377
- 12-Sorensen, M., 1991, An analytic model of wind – blown sand transport: Acta Mechanica (Suppl.) 1,67-81.
- 13_White, B., and Mounla, H., 1991, an experimental study of Froude number effect on wind-tunnel saltation: Acta Mechanica Suppl 1, 145-157.

A Numerical Model for Prediction of Threshold Velocity of Moving-Sand Transport in Deserts

A. BIDOCKTI¹, F. MALEKIFARD² AND M. MIRROKNI³

1, Associate Prof., 2, Senior Researcher of Meteorology, Department of Space Physics, The Institute of Geophysics, University of Tehran, P.O. Box 14122-6466, Tehran, Iran

3, Instructor, Department of Physics, University of Yazd, Yazd, Iran

Received

ABSTRACT

The processes associated with sand transport have been studied intensively in recent years based on laboratory simulation, direct measurements and field observations. In addition to stimulation of wind-blown sand transport processes, efforts have been made to design an empirical/analytical model based on simple principles of moving-sand transport due to turbulent stress near the surface. In this study, surface momentum flux at the boundary of sand-air, which is the main element of sand transport was parameterized. Here, we report the development and use of a numerical model based on volume of fluid (VOF) method to estimate the threshold velocity for moving-sand motion. Typical value for moving-sand in this model was found to be in the range of 20-25 Kg m⁻¹ hr⁻¹. Such a model could be used to study sand transport and predict sand motions in desert areas such as the central Iran.

Key words: Central Iran, Moving-sand, Numerical model, Sand flux, Threshold velocity.