مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره پنجم، شماره چهارم، پاییز ۱۳۹۱، صفحات ۵۱۹ تا ۵۳۰

بررسی اثر مواد افزودنی بر کاهش بادبردگی از پشته‌های سنگ آهن با استفاده از تونل باد

محمدصادق حسنوند[۱]، ایوب ترکیان[۲]، محمدرضا صاحب نسق[۳]، کاظم ندافی[۴]، محمدکاظم مویدی[۵]
نویسنده مسئول: تهران، خیابان آزادی، دانشگاه صنعتی شریف، مرکز تحقیقات آب و انرژی *torkian@sharif.edu*

دریافت: ۹۱/۰۷/۲۳ پذیرش: ۹۱/۱۰/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: *بادبردگی مواد از پشته‌های ذخیره مواد اولیه در صنایع سبب مشکلات زیست محیطی و تبعات اقتصادی می‌شود.*

روش بررسی: *در این تحقیق تاثیر مواد افزودنی بر کاهش میزان انتشار مواد از پشته سنگ آهن با استفاده از تونل باد در دو مرحله عدم تثبیت و تثبیت سطح پشته منشوری شکل در چهار سرعت مختلف باد m/s ۱۱، ۷، ۵ و۴/۳ مورد بررسی قرار گرفته است. آب شهری، آب‌آهک ۲٪، آب دریا، پساب صنعتی و پلی‌لاتیس ۰/۲۵ ٪ به عنوان افزودنی استفاده شده است.*

یافته‌ها: *نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب انتشار در شرایط عدم تثبیت سطح پشته برای سرعت‌های m/s ۱۱، ۷، ۵ و ۴/۳ به ترتیب g/m^3 ۱۳۷۶۸/۷، ۱۰۲۵/۴، ۷۳/۲ و ۴۶/۷ است. در صورت استفاده از آب شهری، پساب صنعتی، آب دریا و آب آهک به میزان ۲/۸، ۲/۸، ۲/۷ و ۲/۶٪(درصد رطوبت)، میزان بادبردگی به ترتیب ۹۹/۴، ۹۹/۳، ۹۹/۵ و ۹۹/۵٪ و در صورت استفاده از محلول پلی‌لاتیس ۰/۲۵٪ به میزان ۲/۷٪، میزان بادبردگی۱۰۰٪ کاهش می‌یابد.*

نتیجه‌گیری: *در صورت پاشش صحیح و مناسب مواد افزودنی در لبه‌های جانبی و فوقانی (نوک) پشته که دارای بیشترین میزان بادبردگی هستند می‌توان بادبردگی مواد ذره‌ای از پشته‌ها را بیش از ۹۹٪ کاهش داد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و مشاهدات میدانی، مشکل تداوم بادبردگی در صنایع فولادی عدم وجود برنامه منظم عملیاتی (سطح پوشش، تناوب پاشش، هندسه پشته، تنظیمات فصلی مورد نیاز متناسب با دما و رطوبت محیط، سرعت باد و آموزش راهبران) است.*

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، بادبردگی، تونل باد، پشته سنگ آهن، فولادسازی

۱- دانشجوی دکترای بهداشت محیط، دانشکده بهداشت؛ مرکز تحقیقات آلودگی هوا، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران
۲- دکترای محیط زیست، دانشیار مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف
۳- دکترای محیط زیست، کارشناس مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف
۴- دکترای بهداشت محیط، دانشیار دانشکده بهداشت؛ دانشگاه علوم پزشکی تهران
۵- دکترای مهندسی هوا فضا، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه قم

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

منابع آلاینده هوا در صنعت را می‌توان در قالب دو گروه کانونی و غیرکانونی طبقه‌بندی نمود. از جمله منابع غیرکانونی می‌توان به پشته‌های ذخیره مواد اولیه صنعت فولاد اشاره کرد. در حین عملیات انباشت و برداشت سنگ آهن و هم‌چنین در اثر وزش باد در زمان ذخیره‌سازی، مواد در اتمسفر پراکنده و علاوه بر هدر رفتن مواد اولیه اثرات زیان‌بار زیست محیطی ایجاد می‌گردد (۳-۱).

انتقال ذرات در اثر مکانیسم‌های مختلف از جمله: بلند شدن (Uplift) از سطح زمین، پراکنش اتمسفری (Atmospheric dispersion) و نشست (Deposition) برروی سطح صورت می‌گیرد (۴،۲و۵). با توجه به مطالعات صورت گرفته، عوامل موثر بر بادبردگی ذرات از پشته‌های ذخیره مواد عبارتند از: سرعت و جهت باد، شکل پشته، دانسیته پشته، دانه‌بندی ذرات، ارتفاع و مساحت در معرض باد پشته و درصد رطوبت (اتمسفر محیط و سطح پشته‌ها). هرچه سطح در معرض وزش باد بیشتر باشد، تاثیر نیروی باد بر آنها بیشتر است. توجه به ارتفاع و مساحت در معرض باد پشته حالت بهینه‌ای را در شکل‌گیری پشته‌ها تعریف می‌کند که باید در انبارکردن مواد خام به آن توجه نمود (۳و۶).

جهت کنترل بادبردگی مواد از پشته‌ها روش‌های مختلفی از جمله تثبیت سطح با استفاده از مواد افزودنی و ایجاد موانع مختلف جهت کاهش اثر سرعت باد وجود دارد. به طور کلی رطوبت مواد بر پایداری شیب پشته و هم‌چنین پیوستگی و چسبندگی رویه سطحی آنها تاثیر دارد؛ به طوری که با کاهش میزان رطوبت، پایداری مصالح به شدت کاهش می‌یابد (۶،۲و۷). بنابراین پتانسیل بادبردگی از پشته‌ها در دوره انبار شدن آنها پارامتری در حال تغییر است.

سازمان حفاظت محیط زیست امریکا (USEPA) رابطه تجربی زیر را به منظور برآورد میزان انتشار مواد ذره‌ای از پشته‌های در معرض باد صنایع مختلف ارایه نموده است. لازم به ذکر است که رابطه (۱) میزان انتشار کلی پشته‌ها را هم در اثر بادبردگی و هم در اثر عملیات انباشت یا برداشت (kg/ton) نشان می‌دهد:

$$E=(0.0016\times K)\times\left[\frac{(\frac{U}{2.2})^{1/3}}{(\frac{M}{2})^{1/4}}\right] \qquad (۱)$$

در این رابطه k ضریب اندازه ذره، U متوسط سرعت باد و M درصد رطوبت مواد است. ضریب اندازه ذره،k، با توجه به اندازه آیرودینامیکی ذره از ۰/۰۵۳ تا ۰/۷۴ برای دامنه ذرات از ۲/۵ –۳۰μm تغییر می‌کند.

ضریب انتشار (Emission factor) برای انتشار مواد ذره‌ای بادبرده از پشته‌ها به علت عملیات انباشت یا برداشت، (g/year) به صورت زیر محاسبه می‌گردد (۸):

$$E = k \sum_{i=1}^{N} P_i S_i \qquad (۲)$$

در این رابطه k ضریب اندازه ذره، N تعداد عملیات انباشت یا برداشت در سال و P_i پتانسیل بادبردگی بر حسب g/m^2، متناسب با سریع‌ترین سرعت باد ثبت شده برای i امین دوره بین آشفتگی‌ها در سال و S_i مساحت سطح پشته بر حسب m^2، تعریف می‌شوند.

رابطه پتانسیل بادبردگی برای سطح خشک و در معرض باد به صورت زیر است:

$$P = 58\,(u^* - u^*_t)^2 + 25\,(u^* - u^*_t) \qquad (۳)$$

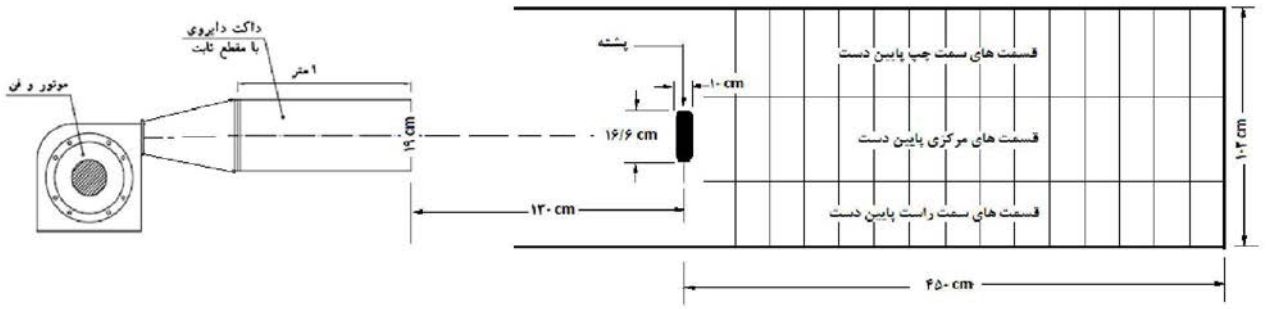
در این رابطه u^* سرعت اصطکاکی بوده که از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$u^* = (\frac{u_{10}^+}{10})\times(\frac{u_s}{u_r})$$

u^*_t سرعت اصطکاکی آستانه و u_{10}^+ حداکثر سرعت باد در ارتفاع ۱۰ m از سطح پشته است. u_s وu_r به ترتیب سرعت باد در ارتفاع ۲۵ cm از سطح پشته و سرعت باد در ارتفاع۱۰ m پشته هستند.

در این تحقیق اثر تثبیت سطح پشته با استفاده از آب شهری، پلی‌لاتیس، پساب صنعتی، آب دریا و آب آهک مورد بررسی قرار گرفت. با افزودن مقدار مشخصی از این مواد به لایه سطحی پشته، میزان بادبردگی در مدت زمان معین و سرعت خاص مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی میزان کاهش بادبردگی در غلظت خاصی از مواد افزودنی و بررسی جوانب اقتصادی و عملیاتی، روش بهینه پیشنهاد گردید.

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۱: شماتیک سیستم تونل باد و بخش‌های تفکیک شده سمت چپ، راست و مرکزی پایین دست پشته سنگ آهن

مواد و روش‌ها

سیستم تونل باد: جهت تولید جریان باد برروی پشته، از سیستم تونل باد استفاده شد. (شکل ۱) اجزای تشکیل دهنده تونل باد؛ فن، کانال عبور هوا با مقطع دایره‌ای به طول ۱m و قطر ۱۹ cm که به دهانه خروجی فن متصل است و میزی با ابعاد ۶۰۰×۱۰۲ cm و با ارتفاع ۱۰۰ cm از سطح زمین که در پایین دست فن قرار گرفته را نشان می‌دهد. حداکثر دبی خروجی از فن در این سیستم $1500\ hr^3m^{-1}$ بوده و جریان آشفته ایجاد شده توسط فن در فاصله‌ای مشخص به جریان باد یکنواختی با تفاوت سرعت ۲٪ بین کناره‌ها و وسط پشته تبدیل گردید.

پشته و شعاع انتشار: پشته سنگ آهن در کلیه آزمایش‌ها، به صورت منشوری افقی به طول۱۶/۶، ارتفاع ۴/۵ و عرض قاعده ۱۰ cmبود. انتخاب ابعاد پشته براساس زاویه شکل‌گیری (Angle of repose) (حداقل زاویه به وجود آمده با سطح افقی در زمان تشکیل یک توده) سنگ آهن گل‌گهر بوده است. زاویه شکل‌گیری برای مواد مختلف، متفاوت بوده (۱، ۹و۱۰) و برای سنگ آهن گل‌گهر حدود $42\ ^0C$ است. جهت دست‌یابی به سرعت باد یکنواخت و پروفایل سرعت باد نرمال، در طول پشته (در مقطع عمود بر جریان باد)، پشته در فاصله ۱۳۰ cm از دهانه خروجی کانال متصل به فن قرار داده شد.

سنگ آهن: در این تحقیق سنگ آهن گل‌گهر مورد استفاده قرار گرفت. درصد ترکیبات مختلف موجود در نمونه سنگ آهن که با انجام آزمایش(X-Ray Fluorescence(XRF تعیین گردید، در جدول ۱ آورده شده است.

متوسط قطر ذرات سنگ آهن گل‌گهر برابر ۳۳ µm (۱۱) و دانسیته آن برابر $4211\ kg/m^3$ بود. برای تعیین دانسیته ابتدا مقدار مشخصی از سنگ آهن وزن گردید و سپس در حجم ۲۰۰ mL آب اندازه‌گیری انجام شد.

سرعت باد: داده‌های سرعت باد ایستگاه هواشناسی شهر اهواز در سال ۱۳۸۷ ملاک تعیین سرعت باد مورد بررسی در این مطالعه بوده است. متوسط حداکثر سرعت باد حدود۱۱ m/s و بیشترین بادها با سرعت ۴ m/s–۰/۵ بوده است. براین اساس

جدول ۱: آنالیز شیمیایی سنگ آهن گل‌گهر(۱۱)

ترکیب	درصد (٪)	ترکیب	درصد (٪)
Fe_2O_3	۶۱/۰۸	Na_2O	۰/۲
FeO	۲۵/۴۷	P_2O_5	۰/۱۴
MgO	۴/۹۸	V_2O_5	۰/۰۸
SiO_2	۴/۸۷	TiO_2	۰/۰۷
Al_2O_3	۰/۸۹	MnO	۰/۰۳
CaO	۰/۸۱	K_2O	۰/۰۳
S	۰/۶۱	سایر ترکیبات	۰/۷۴

Archive of SID
www.SID.ir

آزمایش‌های بادبردگی در سرعت‌های ۱۱m/s، ۷، ۵ و ۴/۳ و به مدت زمان۳۰ min انجام گردید. سرعت جریان باد به وسیله دستگاه سرعت‌سنج Testo مدل ۴۳۵ با دقت صدم متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. سرعت باد در امتداد پشته اندازه‌گیری و در نهایت متوسط سرعت باد مدنظر قرار گرفته است.

میزان بادبردگی: جهت جمع‌آوری ذرات حاصل از بادبردگی در این مطالعه، از میزی به طول ۶ m و عرض ۱۰۲ cm در پایین دست سیستم تولید باد استفاده شد. جهت کاهش خطا و تسهیل در جمع‌آوری ذرات حاصل از بادبردگی برروی میز، ورقی از جنس فویل آلومینیومی قرار گرفت و ذرات بادبرده از پشته توسط آهن‌ربای که در داخل یک ظرف پلاستیکی نازک قرار گرفته بود و مانع جذب شدن مستقیم ذرات بادبرده بر روی آهن ربا می‌شد، جمع‌آوری و سپس جرم آنها اندازه‌گیری شد.

جهت افزایش دقت محاسباتی به نحوه انتشار پایین دست پشته که طول آن ۴۵۰ cm بود، از لحاظ طولی به ۱۵ قسمت ۳۰ cm و از لحاظ عرضی به سه قسمت (سمت چپ، قسمت مرکزی و سمت راست از پشته) ۳۴ cm تقسیم‌بندی شد (شکل ۱). جهت غلبه بر مشکل سرخوردن ذرات، با استفاده از فویل و با ایجاد ارتفاع ۳ mm برروی سطح فویل، مانعی ایجاد گردید و بنابراین مرزبندی قسمت‌های مختلف با ایجاد ارتفاع ۳ mm در اطراف هر قسمت انجام گرفته است.

ذرات حاصل از بادبردگی از پشته که برروی فویل آلومینیومی قرار می‌گرفتند، توسط آهن‌ربای که در داخل یک ظرف پلاستیکی نازک قرار گرفته بود و مانع جذب شدن مستقیم ذرات بادبرده بر روی آهن ربا می‌شد توسط آهنربا جمع‌آوری شدند. دقت روش جمع‌آوری ذرات سنگ آهن بادبرده توسط آهن‌ربا، از طریق ریختن مقدار مشخصی از سنگ آهن گل‌گهر (۵۰g) برروی سطح فویل و سپس جمع‌آوری سنگ آهن ریخته شده بر سطح فویل با استفاده از آهن‌ربا مورد سنجش قرار گرفت؛ با توجه به مقدار سنگ آهن اولیه (۵۰g) و مقداری که توسط آهن‌ربا از سطح فویل جمع‌آوری گردید (g ۴۹/۸۶)، دقت این روش معادل ۹۹/۷٪ به دست آمد.

پس از تعیین محل تشکیل پشته مراحل انجام آزمایش‌های بادبردگی به شرح زیر بانجام گرفت:

۱. کالیبره کردن تونل باد جهت دستیابی به سرعت مورد نظر (سرعت‌های۱۱m/s، ۷، ۵ و ۴/۳)

۲. قرار دادن سنگ آهن در آون با درجه حرارت۱۱۰°Cجهت حذف رطوبت نمونه سنگ آهن (۱۲) و یکسان بودن شرایط از نظر محتوای رطوبت در تمام آزمایش‌ها

۳. وزن کردن دو نمونه سنگ آهن (رطوبت‌گیری شده)، یکی به عنوان نمونه در معرض باد و دیگری به عنوان شاهد جهت تعیین میزان تغییر وزن سنگ آهن در شرایط آزمایش

۴. تمیزکردن میز با استفاده از هوا

۵. تشکیل دو نمونه پشته یکی در مقابل تونل باد و دیگری برروی میز مجاور تونل باد به عنوان پشته شاهد

۶. راهبری سیستم به مدت ۳۰ min

۷. جمع‌آوری و وزن کردن بخش باقی‌مانده پشته پس از ۳۰min قرار گرفتن در مقابل باد

۸. جمع‌آوری و وزن کردن ذرات بادبرده در قسمت‌های مختلف

اثر مواد افزودنی: بررسی اثر مواد افزودنی بر میزان بادبردگی پشته سنگ آهن، در سرعت باد ۱۱ m/s انجام گرفته است؛ در آزمایش‌های بدون مواد افزودنی، میزان کاهش ارتفاع پشته در معرض باد در سرعت ۱۱ m/s، تقریبا ۲ cm بوده است (جدول ۲) و قسمت‌های مرکزی پشته تقریبا بدون دست خوردگی باقی ماند. بنابراین در بررسی اثر تثبیت‌کنندگی مواد افزودنی، می‌بایست بر روی لایه سطحی (رویی) پشته به ضخامت ۲ cm تمرکز نمود و محتوای رطوبت این لایه را مورد توجه قرار داد. سپس در این مرحله از مطالعه سعی بر این بوده است که با ایجاد رطوبت یکنواخت بر سطح پشته در لایه‌ای به عمق ۲ cm، میزان بادبردگی در شرایط به کارگیری هر کدام از مواد افزودنی تعیین شود.

جدول ۲: مقایسه میزان کاهش ارتفاع پشته (cm) در سرعت ms^{-1} ۱۱

محل اندازه‌گیری ارتفاع	لبه‌های جانبی			سطح پشته	
	راست	مرکزی	چپ	جلویی	پشتی
میزان کاهش ارتفاع	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۰/۵	۰/۵

www.SID.ir
Archive of SID

جهت بررسی اثر تثبیت‌کنندگی مواد افزودنی که همگی به صورت محلول بوده‌اند مراحل انجام آزمایش‌های بادبردگی تا مرحله تشکیل پشته همانند مراحل آزمایش بدون تثبیت سطح بوده است و مراحل بعدی آزمایش به صورت زیر انجام شده است:

۱. تشکیل دو نمونه پشته یکی در مقابل تونل باد و دیگری برروی میز مجاور تونل باد به عنوان پشته شاهد. لازم به ذکر است در این مرحله ابتدا پشته‌ای به ارتفاع ۲/۵ cm تشکیل و سپس جهت جلوگیری از نفوذ رطوبت ناشی از مواد افزودنی برروی این لایه (۲/۵ cm)، لایه‌ای از نایلون قرار گرفت. در صورت استفاده از لایه نایلونی به علت لغزندگی سطح، امکان قرار گرفتن سنگ آهن برروی این لایه امکان‌پذیر نیست؛ به منظور جلوگیری از لغزش لایه رویی پشته از یک پارچه برروی لایه نایلونی استفاده شد. ابتدا لایه‌ای از سنگ آهن به ارتفاع ۲/۵ cm تشکیل، سپس یک لایه نایلون و یک لایه پارچه برروی آن و در نهایت مقدار مشخصی از سنگ آهن که یک لایه ۲ cm را تشکیل دهد، ریخته شد (ارتفاع نهایی پشته تشکیل شده در این مرحله ۴/۵ cm بود).

۱. افزودن مقدار مشخصی از مواد افزودنی به پشته. از آنجایی که در این مطالعه بیش از ۹۷٪ وزنی مواد افزودنی را آب تشکیل داده است، ۱ L از مواد افزودنی معادل ۱ kg فرض شده است. در این مرحله به منظور تثبیت سطح پشته مقداری از ماده افزودنی محلول را وزن کرده و داخل یک آبپاش ریخته و سپس با اسپری کردن آن بر سطح رویه بالایی پشته، ماده افزودنی به پشته افزوده شد. میزان رطوبت ایجاد شده در سطح پشته با توجه به میزان ماده افزودنی پاشش شده، میزان پاشش موثر و جرم لایه رویی پشته (لایه ۲ cm) و با استفاده از رابطه (۴) تعیین شد. به منظور پوشش دادن تمام سطح پشته و توزیع یکنواخت رطوبت بر سطح آن، آبپاش در فاصله ۱۵ cm از پشته قرار گرفت و اسپری کردن مواد افزودنی در این فاصله انجام شد در طی این عملیات علاوه بر پشته بخشی از سطح اطراف پشته نیز در معرض پاشش قرار می‌گرفت. بنابراین میزان پاشش موثر بخشی از کل پاشش است که منحصرا بر سطح پشته پاشیده شده است؛ به عبارت دیگر میزان پاشش موثر نسبت مساحت سطح پشته به کل مساحت سطحی است که طی عمل پاشش تحت تاثیر قرار گرفته است. در این مطالعه جهت تعیین درصد رطوبت پشته از رابطه زیر استفاده شده است:

$$M=1-\frac{\left[(A-B)\times\left(\frac{S_p}{S_t}\right)\right]}{C}\times 100 \qquad (۴)$$

در این رابطه M درصد رطوبت ایجاد شده توسط مواد افزودنی؛ A، وزن ماده افزودنی محلول قبل از پاشش بر حسب g (براساس این که در این مطالعه بیش از ۹۷ ٪ مواد افزودنی آب بوده است. بنابراین ۱ L معادل ۱ kg فرض شده است.)؛ B، وزن ماده افزودنی محلول بعد از پاشش بر حسب g ؛ S_p و S_t به ترتیب مساحت سطح پشته و کل مساحتی که تحت تاثیر پاشش قرار گرفته است بر حسب واحد سطح هستند؛ بنابراین عبارت (S_p/S_t) بیان‌گر میزان پاشش موثر است. هم‌چنین C، جرم لایه رویی پشته سنگ آهن (لایه ۲ cm) رطوبت‌گیری شده بر حسب g است. این مرحله از آزمایش با افزودن آب شهری، پساب صنعتی، آب دریا و آب آهک به ترتیب به میزان ۲/۶، ۲/۸، ۲/۷ و ۲/۸ ٪ (درصد رطوبت)، و محلول پلی‌لاتیس ۰/۲۵٪ به میزان ۲/۷٪ (درصد رطوبت) به منظور تثبیت سطح پشته انجام گرفت. پلی‌لاتیس از مشتقات فرآورده‌های بیوپلیمری با کریستال‌های معدنی است که به صورت محلول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱. روشن کردن سیستم تولید باد جهت تولید باد با سرعت ۱۱ m/s به مدت ۳۰ min

۲. جمع‌آوری و وزن کردن بخش باقی‌مانده ۲ cm لایه سطحی پشته پس از ۳۰ min در معرض بادبردگی

۳. جمع‌آوری و وزن کردن ذرات بادبرده بر روی میز در قسمت‌های مختلف

یافته‌ها

بادبردگی در شرایط عدم تثبیت: نتایج حاصل از میزان بادبردگی مواد ذره‌ای از پشته در سرعت‌های مختلف باد به همراه ضرایب انتشار برای هر سرعت در جدول ۳، و میزان افزایش بادبردگی با توجه به سرعت باد در شکل ۲ ارایه شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳: میزان بادبردگی و ضرایب انتشار در سرعت‌های مختلف (مساحت پشته در معرض باد ۲۲۴/۲ c/m^2)

متوسط سرعت باد (m/s)	وزن پشته(g)		میزان بادبردگی (g)	ضریب انتشار (m/g^2)
	قبل از بادبردگی	بعد از بادبردگی		
۴/۳	۶۱۰/۳	۶۰۹/۳	۱/۰	۴۶/۷
۵	۶۰۷/۳	۶۰۵/۵	۱/۶	۷۳/۲
۷	۶۱۳/۷	۵۸۹/۸	۲۳	۱۰۲۵/۴
۱۱	۶۱۰/۱	۳۰۱/۴	۳۰۸/۷	۱۳۷۶۸/۷

انتشار طولی بادبردگی: جهت دست‌یابی به نحوه توزیع بادبردگی، پایین دست پشته یعنی محل تجمع ذرات بادبرده را همانند شکل ۱ تقسیم‌بندی و میزان تجمع ذرات در هر کدام از این قسمت‌ها اندازه‌گیری شد. شکل ۳ انتشار طولی بادبردگی در پایین دست پشته در قسمت‌های چپ، راست و مرکز به طور جداگانه و شکل ۴ انتشار طولی تجمع کل ذرات در پایین دست پشته در سرعت‌های مختلف نشان را می‌دهد.

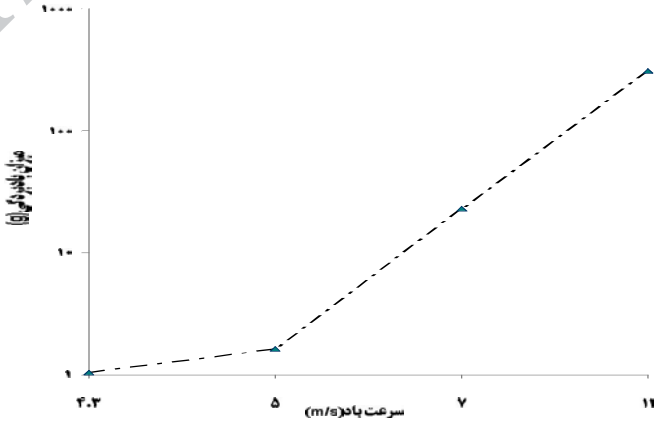
میزان تجمع ذرات در راستای عمود بر جریان باد: در شکل ۵ انتشار عرضی بادبردگی در پایین دست پشته در فواصل و سرعت‌های مختلف نشان داده شده است.

بادبردگی در شرایط تثبیت: نتایج حاصل از تثبیت سطح پشته با استفاده از افزودنی‌های مختلف در جدول ۴ ارایه شده است.

بحث

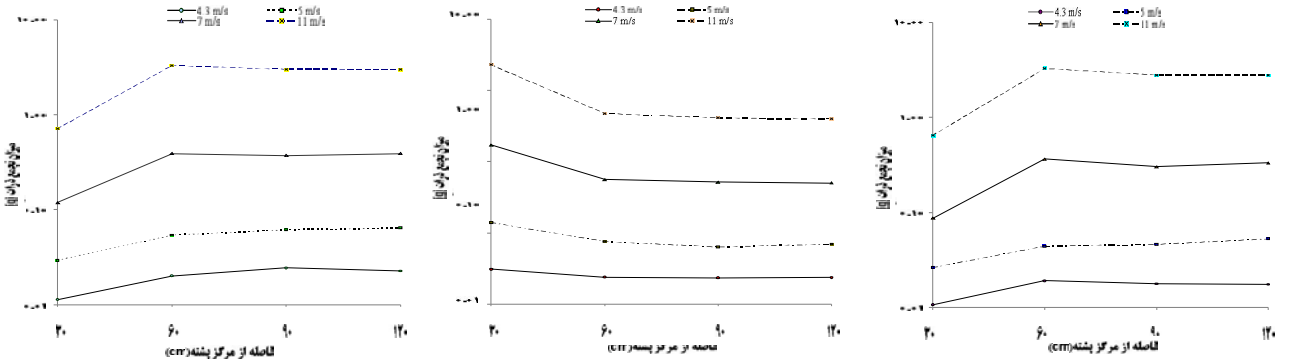
بادبردگی در شرایط عدم تثبیت: میزان بادبردگی با افزایش سرعت باد تا سرعت خاصی افزایش ناچیزی دارد و در صورتی که افزایش سرعت باد ادامه داشته باشد میزان بادبردگی دچار یک جهش ناگهانی می‌شود (شکل ۲). در صورتی که سرعت m/s^3 ۴/ به عنوان سرعت مبنا در نظر گرفته شود با افزایش سرعت باد به میزان۰/۱۶ یعنی سرعت (۵ m/s)، میزان بادبردگی ۰/۵۶ نسبت به میزان بادبردگی در سرعت ۴/۳ m/s افزایش می‌یابد و در صورت افزایش سرعت باد به میزان ۰/۶۳(سرعت ۷m/s) و ۱/۵۶ (سرعت ۱۱ m/s) باشد، میزان بادبردگی به ترتیب ۲۱ و ۲۹۴ برابر نسبت به میزان بادبردگی در سرعت ۴/۳ m/s افزایش می‌یابد؛ لازم به ذکر است که روند افزایش میزان بادبردگی با توجه به افزایش سرعت باد همواره به صورت خطی افزایش نمی‌یابد بلکه تا یک نقطه‌ای دارای افزایش خطی بوده و سپس میزان بادبردگی به صورت غیرخطی و با شیب کمتری، افزایش می‌یابد.

نقاط بحرانی بادبردگی: نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که میزان کاهش ارتفاع پشته در شرایط بادبردگی، در لبه‌های جانبی و فوقانی پشته ۱/۹ cm و در سطوح جلویی



شکل ۲: روند افزایش میزان بادبردگی با توجه به افزایش سرعت باد

www.SID.ir
Archive of SID

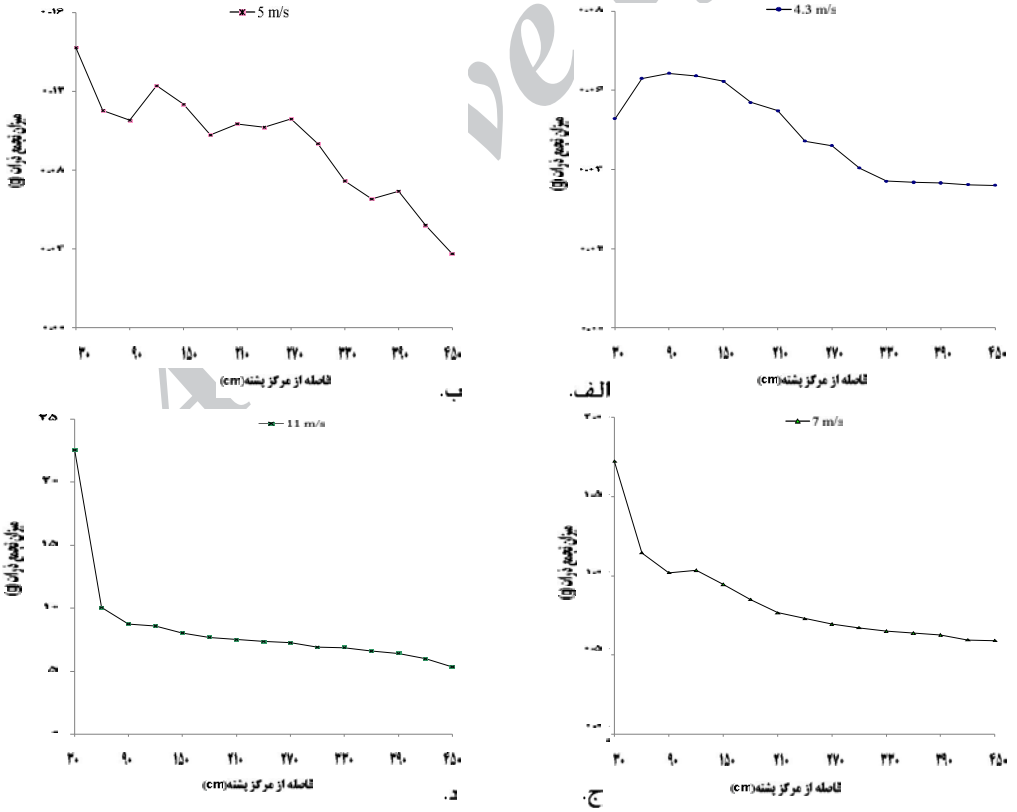


الف. ب. ج.

شکل ۳: انتشار طولی میزان تجمع ذرات بادبردگی در(الف) سمت راست، (ب) مرکز و (ج) چپ پایین دست پشته در سرعت‌های مختلف

و پشتی پشته ۰/۵ cm است. به عبارت دیگر میزان بادبردگی لبه‌های جانبی و فوقانی پشته ۴ برابر میزان بادبردگی سطوح جلویی و پشتی پشته است. بنابراین لبه‌های جانبی و فوقانی پشته به عنوان نقاط بحرانی بادبردگی شناخته می‌شوند.

انتشار طولی بادبردگی: در شکل ۳ تفاوت عمده‌ای بین میزان تجمع ذرات در راستای جریان باد در محور مرکزی نسبت به محورهای جانبی در طرفین راست و چپ دیده می‌شود (منحنی‌های ب نسبت به الف و ج). علت متفاوت بودن نحوه توزیع ذرات در قسمت مرکزی نسبت به توزیع ذرات در قسمت‌های راست و چپ این است که جریان باد در حین عبور از روی پشته و از لبه‌های کناری پشته به دلیل چرخش‌های ثانویه‌ای که در مسیر جریان باد رخ می‌دهد و ناشی از اختلاف فشارهای ایجاد شده بین محورهای طرفین و محور مرکزی پشته در پشت آنست، جریان باد پس از عبور از لبه‌های کناری پشته به دلیل خلاء نسبی که در پشت پشته تشکیل می‌شود به سمت مرکز پشته در پشت آن چرخش دارد و این پدیده



الف. ب. ج. د.

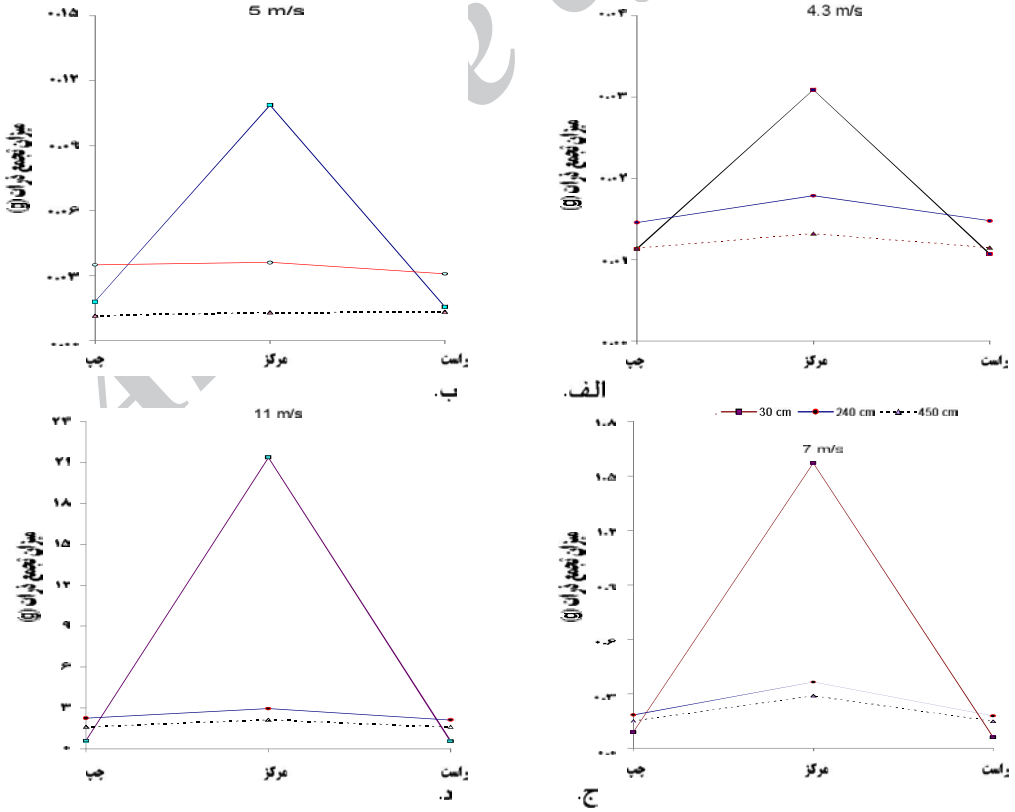
شکل ۴: انتشار طولی تجمع کل ذرات در پایین دست پشته در سرعت‌های مختلف

www.SID.ir

جدول ۴: مقایسه کارایی کاهش بادبردگی در شرایط تثبیت رویه بالایی پشته
(وزن پشته قبل از بادبردگی در همه شرایط g ۶۱۰/۱ و در سرعت m/s ۱۱ آزمایشات صورت گرفته است.)

شرایط تثبیت	درصد رطوبت پشته	بادبردگی(g)	درصد کاهش
آب شهری	۲/۶	۱/۷	۹۹/۴
پلی‌لاتیس ۰/۲۵ ٪	۲/۷	۰	۹۹/۳
پساب صنعتی	۲/۸	۲/۱	۹۹/۳
آب دریا	۲/۷	۱/۶	۹۹/۵
آب آهک (۲ ٪)	۲/۸	۱/۴	۹۹/۵

باعث انتقال ذرات برده شده از لبه‌های کناری پشته به سمت مرکزی در پشت پشته و در نتیجه تجمع مقدار بیشتری از ذرات به سمت مرکز می‌شوند. براساس نتایج مطالعات قبلی (۱و۲) جریان باد هنگام عبور از پشته در کناره‌های آن چرخش دارد و در پشت پشته به سمت مرکز پشته جریان یافته و همانند یک جریان باد ثانویه که از سطح پشت پشته می‌تواند باعث انتشار ذرات شود با سرعت متفاوت و کمتری مجددا در راستای عمود بر پشته و در راستای جریان باد به سمت خارج از آن دور می‌شود. در این حرکت علاوه بر آن ذرات انتشار یافته توسط جریان باد در کناره‌ها می‌تواند در پشت پشته جمع شده و نشست کنند. این امر باعث افزایش غلظت ذرات درست در پشت پشته و ابتدای مسیر مرکزی می‌شود (۱۳و۱۴) که در این مطالعه نیز مشاهده می‌شود. شکل ۳ (الف) و (ب) روند مشابه و یکسانی دارند و این بیان‌گر یکنواخت بودن سرعت باد در



شکل ۵: انتشار عرضی میزان تجمع ذرات بادبردگی در پایین دست پشته در فواصل و سرعت‌های مختلف

www.SID.ir

سمت راست و چپ پشته در این مطالعه است. به طور مثال، میزان تجمع ذرات در سرعت ۴/۳ m/s در فاصله ۰/۳ m از پشته در سمت راست و چپ به ترتیب ۰/۰۱۰۷ g و ۰/۰۱۱۳ است. شکل ۴ انتشار طولی تجمع کل ذرات بادبردگی در پایین دست پشته را در فواصل مختلف از پشته و در سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد.

همان طوری که در شکل ۴ (الف) نشان داده شده در سرعت‌های باد پایین‌تر (۴/۳ m/s) مواد ذره‌ای ریزتر از سطح پشته توسط نیروی باد جدا شده و حداکثر میزان این ذرات با توجه به اندازه و وزن آنها در فاصله‌ای دورتر از منبع انتشار (پشته) تجمع می‌یابند. به عبارت دیگر تجمع ذرات ناشی از بادبردگی در پایین دست و در نزدیکی پشته (در این مطالعه ۳۰ cm) آغاز گردیده و با افزایش فاصله از منبع انتشار میزان تجمع افزایش یافته و در نهایت به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس میزان تجمع کاهش می‌یابد و این امر بیانگر هم‌خوانی پراکنش ذرات با مدل گوسی است. با افزایش سرعت باد، مواد با اندازه‌های بزرگ‌تر نیز تحت تاثیر بادبردگی قرار گرفته و این ذرات به علت اندازه و وزن‌شان در نزدیکی منبع انتشار تجمع می‌یابند و میزان ذرات تجمع یافته در نزدیکی منبع انتشار بیشتر خواهد بود و بر خلاف آنچه با مدل گوسی پیش بینی می‌گردد، حداکثر تجمع ذرات بدون فاصله از منبع انتشار رخ داده است. این پدیده به طور واضح در شکل ۴ (ب)، (ج) و (د) نشان داده شده است. با افزایش سرعت باد میزان توربلانسی و جریانات ثانویه در پشت پشته محسوس‌تر شده و این امر سبب افزایش تجمع ذرات در نزدیکی منبع انتشار می‌گردد. افزایش سرعت باد سبب افزایش بادبردگی و افزایش اختلاف بین میزان مواد ذره‌ای تجمع یافته در نزدیک و دورتر از محل انتشار می‌شود.

میزان تجمع ذرات در راستای عمود بر جریان باد: همان طوری که در شکل ۵ نشان داده شده است در تمامی سرعت‌ها بیشترین تجمع ذرات در قسمت مرکزی پایین دست پشته صورت می‌گیرد. نکته قابل توجه این است که با افزایش فاصله از منبع انتشار، میزان تجمع ذرات بادبردگی در قسمت مرکزی روند کاهشی و در سمت راست و چپ روند افزایشی خواهد داشت. در فواصل دورتر میزان تجمع ذرات در تمامی قسمت‌های پایین دست منبع انتشار تقریبا یکسان است. به عنوان مثال در سرعت ۷ m/s میزان تجمع ذرات در فاصله ۳۰ cm پایین دست، در قسمت مرکزی تقریبا ۱۷ برابر میزان تجمع ذرات در هرکدام از قسمت‌های راست و چپ است؛ در حالی که در فاصله ۲۴۰ cm و ۴۵۰ پایین دست این نسبت به ترتیب ۱/۹۷ و ۱/۹۲ برابر است. این نسبت در فاصله ۳۰ cm برای سرعت‌های ۴/۳، ۵، ۷ و ۱۱ به ترتیب ۲/۹، ۶، ۱۷ و ۳۵ برابر است. یعنی با افزایش سرعت باد، خلاء ایجاد شده در پشت پشته شدیدتر و تاثیر آن و چرخش جریان در پشت پشته به صورت اختلاف شدیدتر در میزان نشست ذرات در راستای محورهای مرکزی و کناری را نشان می‌دهد.

بادبردگی در شرایط تثبیت: میزان بادبردگی در شرایط عدم تثبیت پشته در سرعت ۱۱ m/s (۳۰۸/۷ g) و مبنای مقایسه کاهش بادبردگی برای شرایط تثبیت پشته با استفاده از مواد افزودنی مختلف قرار گرفته است. همان گونه که مشاهده می‌شود درصد رطوبت نسبتا کم و یکنواخت در تمامی سطح پشته، کاهش بالای ۹۹٪ بادبردگی برای کلیه مواد افزودنی را حاصل می‌سازد.

نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که انجام آزمایش تجربی برای بادبردگی از روی پشته با روش فوق (تونل باز) که تاکنون مورد استفاده قرار نگرفته بوده است نتایج دقیق‌تری نسبت به تونل‌های بسته در این ابعاد خواهد داشت. در صورت استفاده از تونل باد برای مطالعات اتمسفری در زمینه محیط زیست در ابعاد مورد استفاده در این آزمایش در صورت بسته بودن تونل باد اثرات لایه مرزی روی دیواره‌های بالا و جانبی اثر منفی بر نتایج خواهد داشت. نکته بسیار مهم در مطالعه با تونل باد باز در نظر گرفتن اثرات منفی جانبی بر یکنواختی سرعت باد در برخورد به سطح پشته است که با تنظیم موقعیت منبع تأمین جریان باد نسبت به پشته ایجاد شد و پیشنهاد می‌شود محققین بعدی در استفاده از این روش به این موضوع توجه نمایند.

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از آب شهری به علت در دسترس بودن، عدم نیاز به یک ترکیب مکمل دیگر، مشکلات بهره‌برداری کمتر و ارزان بودن در صورت پاشش صحیح و مناسب گزینه‌ای مناسب جهت کنترل بادبردگی است.

استفاده از پلی‌لاتیس دوره تثبیت پشته‌ها را افزایش می‌دهد و فقط در صورت تخریب پشته‌ها به دلیل انباشت مجدد روی

Archive of SID
www.SID.ir

آنها و یا برداشت از روی آنها که منجر به شکستن لایه نازک ایجاد شده روی پشته در اثر استفاده از این تثبیت‌کننده گردد استفاده مجدد از آن ضروری خواهد بود در صورتی که استفاده از آب به دلیل تبخیر آن از روی سطح اثر تثبیت‌کنندگی از بین می‌رود و نیازمند استفاده مجدد از آن است. بنابراین با استفاده از آب حتی اگر تخریب لایه سطحی پشته در اثر برداشت یا انباشت صورت نگیرد با توجه به شرایط رطوبت و دمای هوای اتمسفر محلی ضروریست که در دوره‌های مشخصی که در برخی موارد چند بار در طی یک روز (تقریبا ۵ بار در روز) نیز می رسد عملیات پاشش آب روی سطح پشته‌انجام شود. هرچه رطوبت هوای محیط بیشتر باشد و هرچه دما کمتر باشد دوره زمانی پاشش مجدد آب افزایش می‌یابد ولی این دوره برای پلی‌لاتیس بسیار طولانی و تا حدود سه ماه است. بنابراین استفاده از پلی‌لاتیس از لحاظ اقتصادی زمانی مقرون به صرفه است که زمان انباشت پشته حداقل d ۳۰ باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که ضریب انتشار در شرایط عدم تثبیت سطح پشته برای سرعت‌های ۴/۳، ۵، ۷ و ۱۱ m/s به ترتیب g/m^2 ۴۶/۷، ۷۳/۲، ۱۰۲۵/۴ و ۱۳۷۶۸/۷ است. در صورت استفاده از آب شهری، پساب صنعتی، آب دریا و آب آهک به میزان ۲/۶، ۲/۸، ۲/۷ و ۲/۸٪(درصد رطوبت)، میزان بادبردگی به ترتیب ۹۹/۴، ۹۹/۳، ۹۹/۵ و ۹۹/۵٪ و در صورت استفاده از محلول پلی‌لاتیس ۰/۲۵٪ به میزان ۲/۷٪، میزان بادبردگی۱۰۰٪ کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج به دست آمده در این تحقیق و مشاهدات میدانی، در صورت پاشش صحیح و مناسب مواد افزودنی مختلف بر روی سطح پشته‌های روباز ذخیره مواد و بخصوص در نقاط بحرانی بادبردگی، می‌توان بادبردگی مواد از پشته‌ها را کنترل نمود.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.Turpin C, Harion J-L. Numerical modeling of flow structures over various flat-topped stockpiles height: Implications on dust emissions. Atmospheric Environment. 2009;43(35):5579-87.

2.Badr T, Harion J. Numerical modeling of flow over stockpiles: Implications on dust emissions. Atmospheric Environment. 2005;39(30):5576-84.

3.Badr T, Harion J. Effect of aggregate storage piles configuration on dust emissions. Atmospheric Environment. 2007;41(2):360-8.

4.Iversen J, Rasmussen K. The effect of surface slope on saltation threshold. Sedimentology. 1994;41(4):721-8.

5.Bagnold RA. The Physics of Blown Sand and Desert Dunes. London: Methuen; 1941.

6.Borrego C, Costa AM, Amorim JH, Santos P, Sardo J, Lopes M, et al. Air quality impact due to scrap-metal handling on a sea port: A wind tunnel experiment. Atmospheric Environment. 2007;41(30):6396-405.

7.Grundnig P, Hoeflinger W, Mauschitz G, Liu Z, Zhang G, Wang Z. Influence of air humidity on the suppression of fugitive dust by using a water-spraying system. China Particuology. 2006;4)5:(229-33.

8.USEPA. Update of Fugitive Dust Emissions Factors in AP-42. Kansas: Midwest Research Institute; 1988 May.

9.Allen JRL. The avalanching of granular solids on dune and similar slopes. The Journal of Geology. 1970;78(3):326-51.

10.Carrigy MA. Experiments on the angles of repose of granular materials. Sedimentology. 1970;14(3-4):147-58.

11.Afshar Mohajer N, Torkian A. Diffuse emissions of particles from iron ore piles by wind erosion. Environmental Engineering Science. 2011;28(5):333-9.

12.ASTM. D2216-10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. Pennsylvania: American Society for Testing and Materials Publisher; 1988.

13.Torano JA, Rodriguez R, Diego I, Rivas JM, Pelegry A. Influence of the pile shape on wind erosion CFD emission simulation. Applied Mathematical Modelling. 2006;31(11):2487-502.

14.Maurer T, Herrmann L, Gaiser T, Mounkaila M, Stahr K. A mobile wind tunnel for wind erosion field measurements. Journal of Arid Environments. 2006;66(2):257-71.

Archive of SID

www.SID.ir

Experimental Investigation of the Effectiveness of Various Additives in Reducing Wind Erosion from Iron Ore Piles

Mohammad Sadegh Hassanvand[1], *Ayoub Torkian[2], Mohammad Reza Sahebnasagh[2], Kazem Naddafi[1], Mohammad Kazem Moayyedi[3]

[1]Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health; Center for Air Pollution Research (CAPR), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

[2]Water and Energy Institute, Sharif University, Tehran, Iran

[3]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Qom, Qom, Iran

Received; 15 October 2012 Accepted; 10 January 2012

ABSTRACT

Background and Objectives: Background and objectives: Wind-induced particulate air pollution from iron ore pilescan causes environmental and economic problems for steel industries. In this experimental study, the effectiveness of various additives in reducing particulate air pollution from iron ore piles was investigated in a laboratory wind tunnel.

Materials and Methods: The experimental set up consisted of a prismatic pile and a wind tunnel. Four different wind speeds of 4.3, 5, 7 and 11 m /s was used in the study Municipal water, quick lime (2%), seawater, treated industrial wastewater and Polylatice (0.25%) were used as additives to stabilize the upper layer of the pile.

Results: Emission factors for non-stabilized (without additive) piles at 4.3, 5, 7 and 11 m /s wind speeds were 46.7, 73.2, 1025.4 and 13768.7 g /m^2, respectively. Stabilized piles with 2.6, 2.7, 2.8, 2.7 and 2.8 percent additive (moisture content of the upper layer of the pile) for municipal water, Polylattice (0.25%), treated industrial wastewater, seawater and quick lime (2%) indicated a decrease of 99.4%, 100%, 99.3%, 99.5% and 99.5% particulate emission reduction, respectively.

Conclusions: Proper selection and use of additives on iron piles has the potential for decreasing more than 99% of the wind-induced particulate emissions. Operational factors such as covered area, spray frequency, pile geometry, seasonal adjustments related to ambient temperature and humidity, wind speed and operator education need to be an integral part of the pollutant reduction program.

Keywords: Air pollution, Wind erosion, Storage piles, Iron ore, Wind Tunnel, Steel complex

***Corresponding Author**: *torkian@sharif.edu*
***Tel:** +98 21 66164132, **Fax:** ....*

Archive of SID

www.SID.ir