

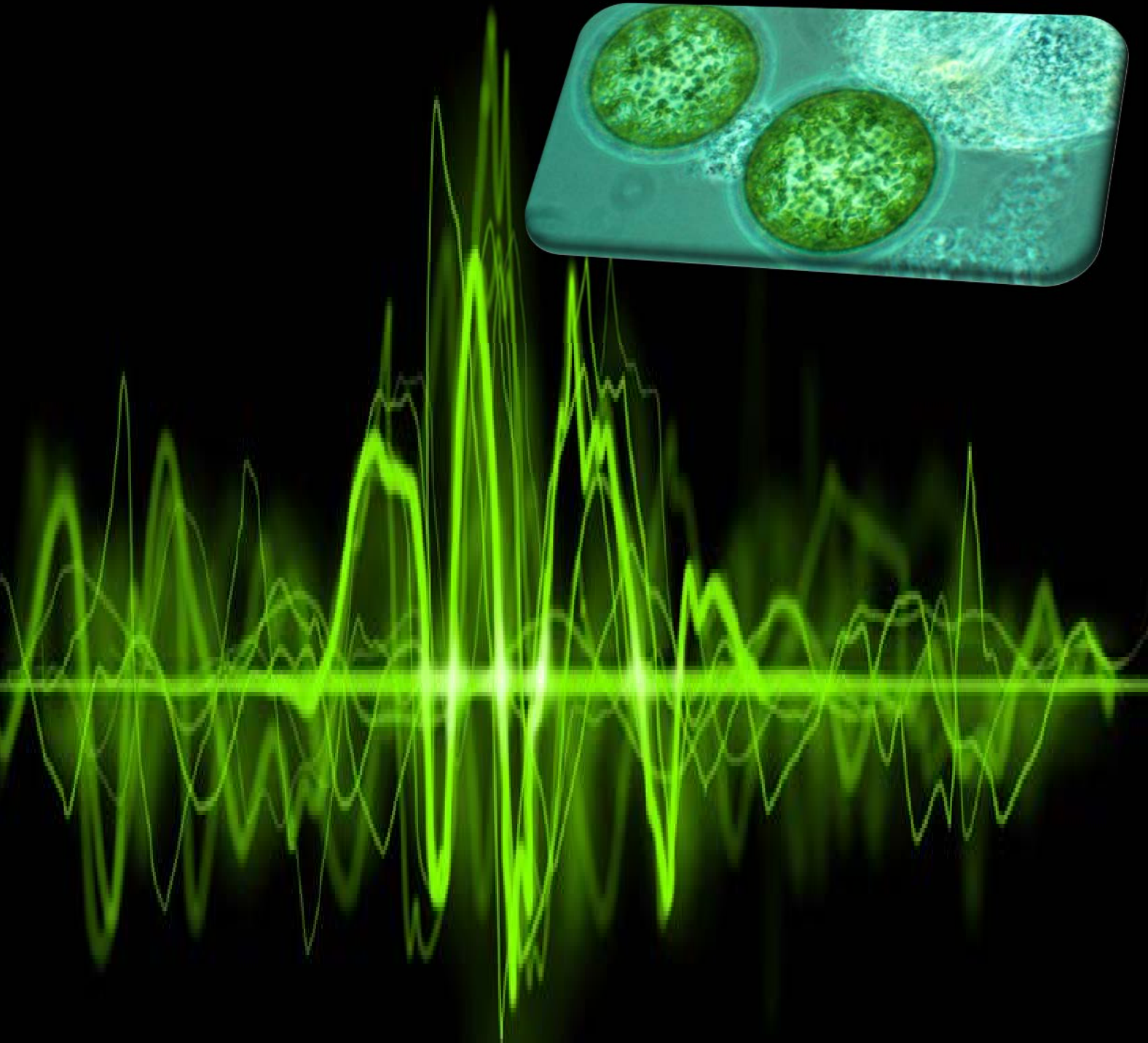
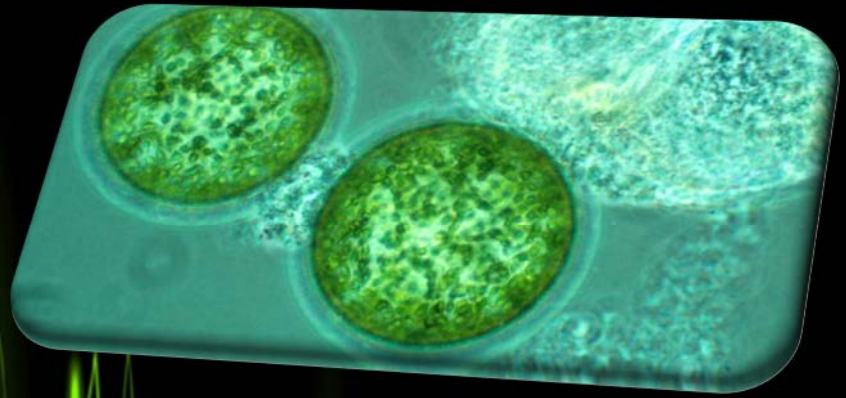


پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی محیط زیست

برونداهای تخصصی

گروه پژوهشی محیط زیست

سال سوم، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۶



بررسی اثر پارامترهای عملیاتی و خواص غشا بر

جداسازی SO₂ از گاز دودکش / سمیه علیجانی

شناسایی علل و عوامل مؤثر در بروز پدیده گردوغبار در

غرب و جنوب غرب کشور / مهسا صدیقی

بنام خدا

اعضای هیئت تحریریه:

مهندس مرتضی جلالی، مهندس امیر سهرابی
کاشانی، مهندس عبدالله مصطفایی، مهندس رامین
پایدار، دکتر سعید نظری، دکتر مهسا صدیقی،
دکتر سمیه علیجانی، مهندس زهرا دلاورمقدم،
مهندس پیمان پورمقدم

اعضای هیئت داوران:

دکتر کاظم کاشفی، دکتر کامران آرمان، دکتر
آرش الماسیان، مهندس سیاوش منیعی، دکتر
زهرا سلیمیان، مهندس مهسا علائی، مهندس
رامین فخری، مهندس سید احمد احمدی اندبیلی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی
محیطزیست» با هدف فراهم آوردن بستری
مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب
مرتبط با محیطزیست و ایمنی در صنعت برق
به صورت داخلی منتشر می شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای
هرچه بهتر شدن مطالب استقبال می کند و استفاده
از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.
مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش های درج
شده بر عهده نویسندگان است.

صاحب امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: مرتضی جلالی

سردبیر: عبدالله مصطفایی

مدیر اجرایی: پیمان پورمقدم

گرافیک و صفحه آرا: پیمان پورمقدم

ویراستار: پیمان پورمقدم

عکس روی جلد: رامین پایدار

همکاران این شماره:

همکاران گروه: مهندس عبدالله مصطفایی، دکتر
سعید نظری، دکتر مهسا صدیقی، دکتر سمیه
علیجانی، مهندس امیر سهرابی کاشانی، مهندس
زهرا دلاورمقدم، مهندس رامین پایدار راوندی،
مهندس پیمان پورمقدم
همکاران معاونت پژوهشی: نوشین فرودی

ناشر:

نشانی الکترونیکی: environ@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک

باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه محیطزیست

تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۷۹۴۴۶

دورنگار: ۰۲۱-۸۸۳۶۱۶۰۳

فهرست مطالب

• سخن سردبیر	۱
• شناسایی علل و عوامل مؤثر در بروز پدیده گرد و غبار در غرب و جنوب غرب کشور	۲
• آشنایی با انجمن ارزیابی محیط زیست ایران	۲۵
• بررسی اثر پارامترهای عملیاتی و خواص غشا بر جداسازی SO_2 از گاز دودکش توسط تماس دهنده غشایی الیاف توخالی	۲۶
• تویوتا از کود گاوی انرژی پاک تولید می کند	۴۶
• اعتیاد به فن آوری: واقعا چرا نمی توانیم از صفحه موبایل خود چشم برداریم؟	۴۷
• معرفی کتاب	۵۳

سخن سردبیر

موضوع محیط زیست از آن جنس موضوعاتی است که لازم است بسیار ظریف در مسیر آن حرکت کرد چون شدیداً شکننده است. یعنی اگر نخواهیم درباره مشکلات آن صحبت کنیم، در یک بازه نه چندان طولانی، آسیبهای وارده بر محیط زیست به قدری شدید خواهد بود که امکان اصلاح امور وجود نخواهد داشت و از سویی اگر زیاده از حد هم درباره مشکلات و آسیب های آن گفته شود، به نوعی مصیبت خوانی تبدیل خواهد شد که بعد از هر جلسه به فراموشی سپرده شده و مجدداً باید در جلسات بعدی دوباره درباره آن صحبت کرد.

از این جهت به نظر می رسد که هرگاه قرار است یک معضل محیط زیستی مطرح شود، از قبل باید در خصوص راهکارهای پیشنهادی برای رفع این معضلات محیط زیستی اندیشیده شده باشد و پیشنهادات مطلوب ارائه شوند و در جلسات بعدی این پیشنهادات و دیگر پیشنهادات ذکر شده از سوی دیگر افراد، بررسی و ارزش گذاری شوند تا نهایتاً به بیان جزئیات ختم شوند. بعبارت دیگر این مشکلات از حالت کلی گویی خارج شوند.

البته واضح و مبرهن است که اینکار نیازمند تحقیق و اطلاعات است. به نقل از سقراط گفته می شود " اگر باید فیلسوفی کرد، پس باید فیلسوفی کرد و اگر نباید فیلسوفی کرد، باز هم باید فیلسوفی کرد". البته شاید مراد ایشان از فیلسوفی، نوعی پژوهش و تحقیق باشد. پس بر این اساس همواره باید در حال پژوهش بود. به این امید ...

عبداله مصطفایی

گروه محیط زیست

شناسایی علل و عوامل مؤثر در بروز پدیده گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور

نویسنده: مهسا صدیقی^۱، اشرف السادات پسندیده^۲

چکیده: پدیده گردوغبار یکی از پدیده‌های جوی و اقلیمی است که وقوع آن باعث وارد شدن خسارت‌هایی درزمینه زیست‌محیطی و بروز یا تشدید بیماری‌های تنفسی و قلبی، ترافیک هوایی و زمینی، تأثیر بر گردشگری، کشاورزی و غیره می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، رخداد پدیده گردوغبار اثرات زیادی بر سلامت (جسمی و روحی)، اقتصاد، حمل‌ونقل، آموزش و پرورش، صنایع مختلف (از جمله صنعت برق)، کشاورزی، زیرساخت‌ها و ... اعمال می‌کند. در سال‌های اخیر این پدیده، به‌خصوص در غرب و جنوب غرب کشور، بسیار مشکل‌آفرین شده است. طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور از دو جنبه قابل‌بررسی است که عبارت‌اند از: جنبه خارجی و جنبه داخلی. تفاوت‌های اصلی طوفان‌های گردوغبار با منشأ داخلی و خارجی در ماندگاری، غلظت و دامنه اثر آن‌هاست. طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارجی که بیشتر طوفان‌های غرب و جنوب غرب کشور را تشکیل می‌دهند، معمولاً دارای ماندگاری بیشتر، غلظت کمتر و دامنه اثر گسترده‌تر هستند. طوفان‌های گردوغبار با منشأ داخلی نیز که فراوانی و شدت آن‌ها رو به افزایش است، معمولاً دارای ماندگاری کمتر، غلظت بیشتر و دامنه اثر محدودتر هستند. پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیم و منابع آب منطقه خاورمیانه، حاکی از آن است که روند خشک‌سالی و مهار آب‌ها توسط کشورهای مختلف رو به افزایش است که نتیجه آن تشدید طوفان‌های گردوغبار در منطقه غرب و جنوب غرب کشور خواهد بود.

کلیدواژه: گردوغبار، منشأ داخلی، منشأ خارجی، غرب، جنوب غرب.

مقدمه

هوای پاک یکی از نعمت‌های الهی است که برای ادامه حیات بشر، نباتات و حیوانات و جریان زندگی در این کره خاکی ضروری است. مردم جهان هر ساله حتی بیشتر از حوادث رانندگی جان خود را بر اثر آلودگی هوا از دست می‌دهند. آلودگی هوا ناشی از ریز گردها می‌تواند منجر به ایجاد بیماری‌هایی مانند

^۱ عضو هیئت‌علمی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: msedighi@nri.ac.ir

^۲ عضو هیئت‌علمی علمی گروه پژوهشی مدیریت و مطالعات اجتماعی، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: Apasandideh@nri.ac.ir

آسم، برونشیت، بیماری‌های قلبی و ریوی و آلرژی‌های تنفسی شود. پدیده گردوخاک علاوه بر مسائل بهداشتی، خسارات اقتصادی فراوانی نیز از جمله کاهش میزان دید در معابر، فرسایش شدید ابنیه و تأسیسات صنعتی، اختلال در سفرهای زمینی و هوایی، کاهش سطح برداشت محصولات به دلیل پوشش گردوغبار بر روی سطوح گیاهان و اراضی کشاورزی و تبعات اجتماعی نظیر افزایش مهاجرت را در پی خواهد داشت.

ریز گرد یا گردوغبار (Dust یا Haze)، توده‌ای از ذرات جامد ریز، غبار و گاه دود و ... است با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون، که در جو پخش شده و دید افقی را میان ۱ و ۲ کیلومتر محدود می‌کند و برای بیماران تنفسی بسیار زیان‌آور است. پدیده ریز گرد معمولاً وسعتی کمتر از یک کیلومتر را دربر می‌گیرد و اگر هم خیلی شدید باشد، وسعتش از یک الی دو کیلومتر فراتر نمی‌رود، اما طوفان ریز گردی که در تابستان سال ۱۳۸۸ چند روزی زندگی عادی در ایران را مختل کرد، از کوه‌های مرتفع زاگرس و حتی رشته‌کوه البرز گذشت و کرانه‌های دریای خزر در گیلان را نیز تحت تأثیر قرارداد. ریز گرد در سال ۸۹ شدیدتر از سال قبل روی داد. مناطق غربی ایران و به‌خصوص استان خوزستان، ریز گرد را از همان روزهای آغازین سال ۸۹ دوباره تجربه کردند اما طولی نکشید که دامنه نفوذ آن بسیار گسترش یافت، تا این‌که در اردیبهشت همان سال بیش از نیمی از ایران را در برگرفت و در برخی مناطق نیز با بادهای شدید و باران گل توأم شد. در ماه خرداد محدوده تحت سیطره امواج ریز گرد باز هم گسترش پیدا کرد و در دو ظهور حفار (اوایل خرداد) و ثریا (اواسط خرداد) تقریباً سراسر ایران را پوشاند [۱].

منابع مولد ذرات معلق به دودسته طبیعی و آنتروپوژنیک دسته‌بندی می‌شوند. منابع طبیعی در اثر فرآیندهای مختلف طبیعی حاصل می‌شوند درحالی‌که منابع آنتروپوژنیک حاصل فعالیت‌های مختلف انسانی می‌باشند. جریان باد با فرسایش خاک منجر به تولید آئروسول‌های اولیه طبیعی می‌شود. در نیمکره شمالی زمین، منابع اصلی مولد ذرات شامل شبه‌جزیره عربستان سعودی، جنوب غربی آفریقا، صحرای گوبی

مغولستان و صحرای بزرگ آفریقا است که سالیانه ۱۵۰۰ میلیون تن ذرات را وارد اتمسفر می‌کنند. ذرات فوق به صورت ذرات معلق می‌توانند به تمام مناطق دنیا برسند. مطالعات انجام شده در مورد ستون ذرات صحرای بزرگ آفریقا، متوسط قطر ذرات را ۵۰ میکرون در نزدیک سطح زمین نشان می‌دهد و در فاصله ۵۰۰۰ کیلومتری قطر ذرات به حدود ۲ تا ۳ میکرون می‌رسند. از منابع طبیعی دیگر مولد ذرات، تبخیر قطرات آب دریاست. سالانه حدود ۳ میلیارد تن ذرات نمک حاصل از دریاها وارد اتمسفر می‌شود. متوسط قطر ذرات نمک حدود ۸ میکرون است. ترکیب شیمیایی آن‌ها مشابه گونه‌های نمک محلول در آب دریاست که شامل ۵۵ درصد کلراید، ۳۱ درصد سدیم، ۷/۷ درصد سولفات، ۳/۷ درصد منیزیم، ۱/۲ درصد کلسیم و ۱/۱ درصد پتاسیم است. این یون‌ها به صورت نمک‌های کلرید سدیم، کلرید پتاسیم، سولفات کلسیم و سولفات سدیم موجودند. سایر منابع اولیه طبیعی شامل آتش‌فشان‌ها، آتش‌سوزی جنگل‌ها، اسپور و گرده گل می‌باشند [۲].

اکثر فعالیت‌ها مانند سوزاندن مواد، ذوب فلزات، خرد شدن، شخم زدن و یا اسپری کردن منجر به تولید ذرات می‌شوند. بخش قابل توجهی از این منابع به صورت ذرات ریزی درمی‌آیند که در هوا معلق می‌باشند. موتورهای کوچک دیزلی (ماشین‌ها و کامیون‌ها) به ازای سوزاندن هر لیتر سوخت حدود ۵ گرم ذرات تولید می‌کنند و این مقدار در وسایل نقلیه سنگین‌تر به ۱۲ گرم می‌رسد. ذرات حاصل از منابع آنتروپوژنیک دارای اثرات محسوسی بر اتمسفر می‌باشند زیرا در مناطق شهری و با تراکم بالای جمعیت، میزان تولید آن‌ها بیشتر بوده و در زمان‌های طولانی در اتمسفر منجر به ایجاد ذرات ریز ثانویه می‌شوند.

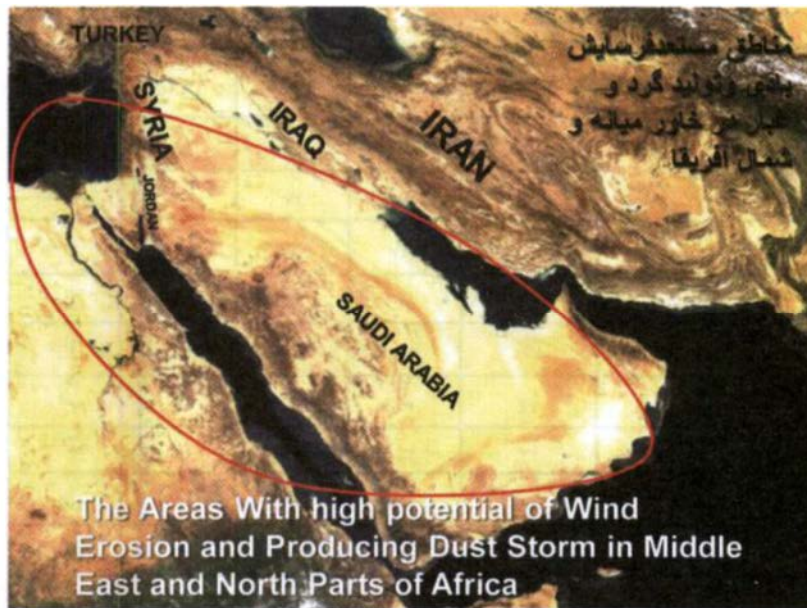
مهم‌ترین اثر ریز گردها بر جو، کاهش میزان دید است. مفهوم کاهش دید، از بین بردن قدرت مشاهده محیط اطراف است و وجود ذرات معلق در اتمسفر مهم‌ترین عامل کاهش دید به شمار می‌آید. دید انسان با تغییر اندازه ذرات جذب‌کننده رطوبت نیز تغییر می‌کند، زیرا این گونه ذرات در محیط مرطوب بزرگ‌تر می‌

شوند. این نوع ذرات در محیط‌های ساحلی وجود دارند. در رطوبت بیش از ۶۷ درصد، دید به‌طور محسوسی کاهش می‌یابد. از دیدگاه بهداشت عمومی ذرات معلق از آلاینده‌های اصلی هوا هستند. سازمان جهانی بهداشت برآورد می‌کند که سالیانه ۵۰۰۰۰۰ نفر در اثر مواجهه با ذرات معلق هوا دچار مرگ زودرس می‌شوند. ذرات گردوغبار یکی از عوامل مهم تشدیدکننده بیماری‌های تنفسی است و منجر به شیوع انواع بیماری‌های ریوی نظیر آسم، برونشیت‌های مزمن و ایجاد مشکل در تنفس بیماران قلبی و عروقی می‌شود.

[۲].

۱- بررسی و شناسایی منشأ گردوغبار در خاورمیانه

یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در خاورمیانه، طوفان‌های گردوغبار است که در تابستان کشورهای عراق، عربستان، ایران و پاکستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام‌شده، مهم‌ترین مناطقی که رسوبات بادی از آن‌ها وارد دریای عمان و عرب می‌شوند عبارت‌اند از صحرای تار در هندوستان، ربع الخالی در جنوب غرب عربستان، صحرای بزرگ آفریقا، منطقه بین‌النهرین، کویرهای داخلی ایران و نیز سواحل مکران در ایران و پاکستان. مهم‌ترین منشأ رسوبات بادی در دریای عرب، شبه‌جزیره عربستان و سواحل مکران در کشورهای ایران و پاکستان است. بررسی‌ها حاکی از آن است که متغیر بودن جریانات جوی و به‌ویژه تأثیر کم‌فشارها بر روی نواحی و منابع گردوغبار، موجب برداشت، تعلیق و انتقال ذرات گردوغبار و ریز گرد به بخش‌های غربی و جنوب غربی ایران شده است. شکل ۱، مناطق مستعد فرسایش بادی و تولید گردوغبار در خاورمیانه و شمال آفریقا را بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. چنانچه ملاحظه می‌گردد مناطق موردبحث شامل عراق، کویت، سوریه، شرق اردن، غرب ایران و شمال شبه‌جزیره عربستان است [۳].

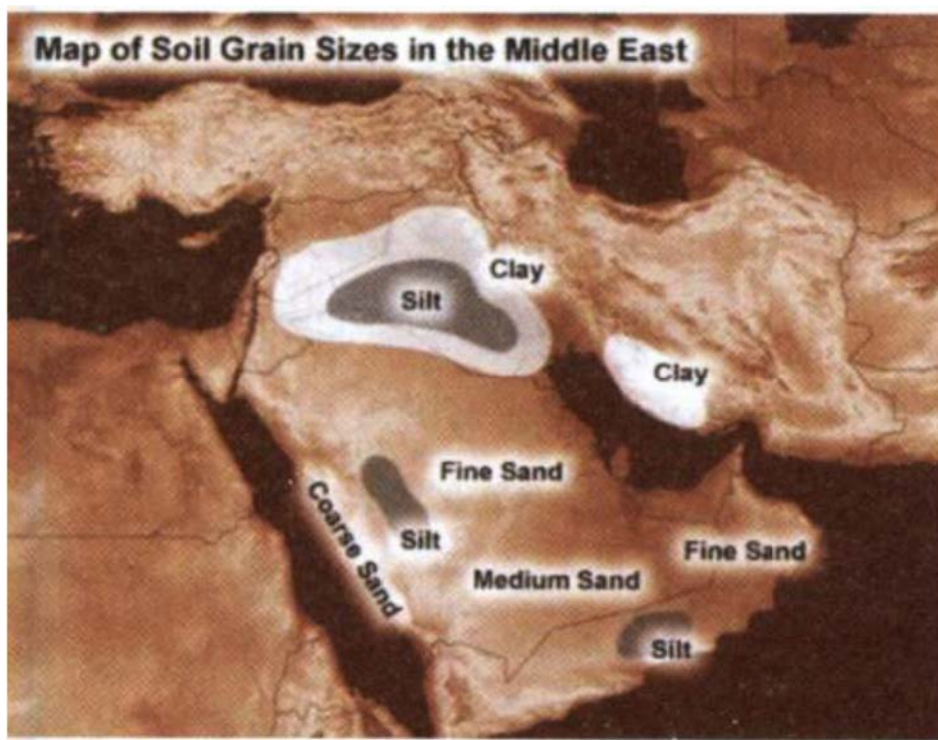


شکل ۱- مناطق مستعد فرسایش بادی و تولید گردوغبار در خاورمیانه و شمال آفریقا بر روی تصویر ماهواره [۳].

به طور کلی منشأ طوفان‌های گردوغبار در منطقه خاورمیانه را می‌توان به سه دسته عمده طوفان‌های شمالی، طوفان‌های جبهه‌ای و طوفان‌های همرفتی طبقه‌بندی نمود. طوفان‌های شمالی فراوان‌ترین و شایع‌ترین طوفان در منطقه خاورمیانه به حساب می‌آید که بر روی کشورهای عراق، کویت و بخش‌هایی از ایران و شبه‌جزیره عربستان به وقوع می‌پیوندد و دارای دو نوع زمستانه و تابستانه است. طوفان‌های جبهه‌ای دارای سیستم سینوپتیکی پویا بوده و حاصل برخورد دو توده‌هوای گرم و سرد است که ذرات گردوغبار را باهم مخلوط نموده و در مقیاس بزرگ‌تری جابجا می‌نماید. طوفان‌های همرفتی که از جمله طوفان‌های گردوغباری محسوب می‌شوند، نسبت به طوفان‌های جبهه‌ای در مقیاس کوچک‌تری اتفاق می‌افتند و بنابراین پیش‌بینی آن‌ها دشوار است. با این حال تأثیر فراوانی بر فعالیت‌های انسانی در مناطق بیابانی دارند.

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده و مقدماتی، مناطق اصلی منشأ طوفان‌های گردوغباری در منطقه خاورمیانه شامل منطقه بین‌النهرین، جنوب غرب آسیا و دریای سرخ می‌باشند. در منطقه بین‌النهرین، ۱۴ نقطه در عراق، غرب و جنوب غرب ایران، جنوب سوریه و شمال شبه‌جزیره عربستان، در منطقه جنوب غرب

آسیا ۱۰ نقطه در قسمت‌های مرکزی فلات ایران و در منطقه دریای سرخ ۱۳ نقطه در مصر، شمال شرق سودان، صحرای سینا، اردن و شمال غربی شبه‌جزیره عربستان شناسایی شده است. این بررسی مربوط به سه دهه گذشته بوده و یقیناً با توجه به تغییرات اقلیمی به وجود آمده در دو دهه اخیر، به‌خصوص در کشور عراق، تعداد کانون‌های گردوغبار در نواحی مذکور به‌خصوص در منطقه بین‌النهرین که تأثیر بسیار زیادی بر کشور ایران دارد به‌شدت افزایش یافته است. بررسی‌ها حکایت از تغییر منشأ گردوغبار تأثیرگذار بر کشور در سال‌های اخیر از عربستان به کشور عراق دارد که علت آن علاوه بر تغییر اقلیمی، ناشی از فعالیت‌های انسانی به‌ویژه رها شدن اراضی کشاورزی در کشور عراق است. در شکل ۲، نوع خاک‌های منطقه از نظر دانه‌بندی و اندازه ذرات که در شکل‌گیری گردوغبار نقش اساسی دارند ارائه شده است [۳].



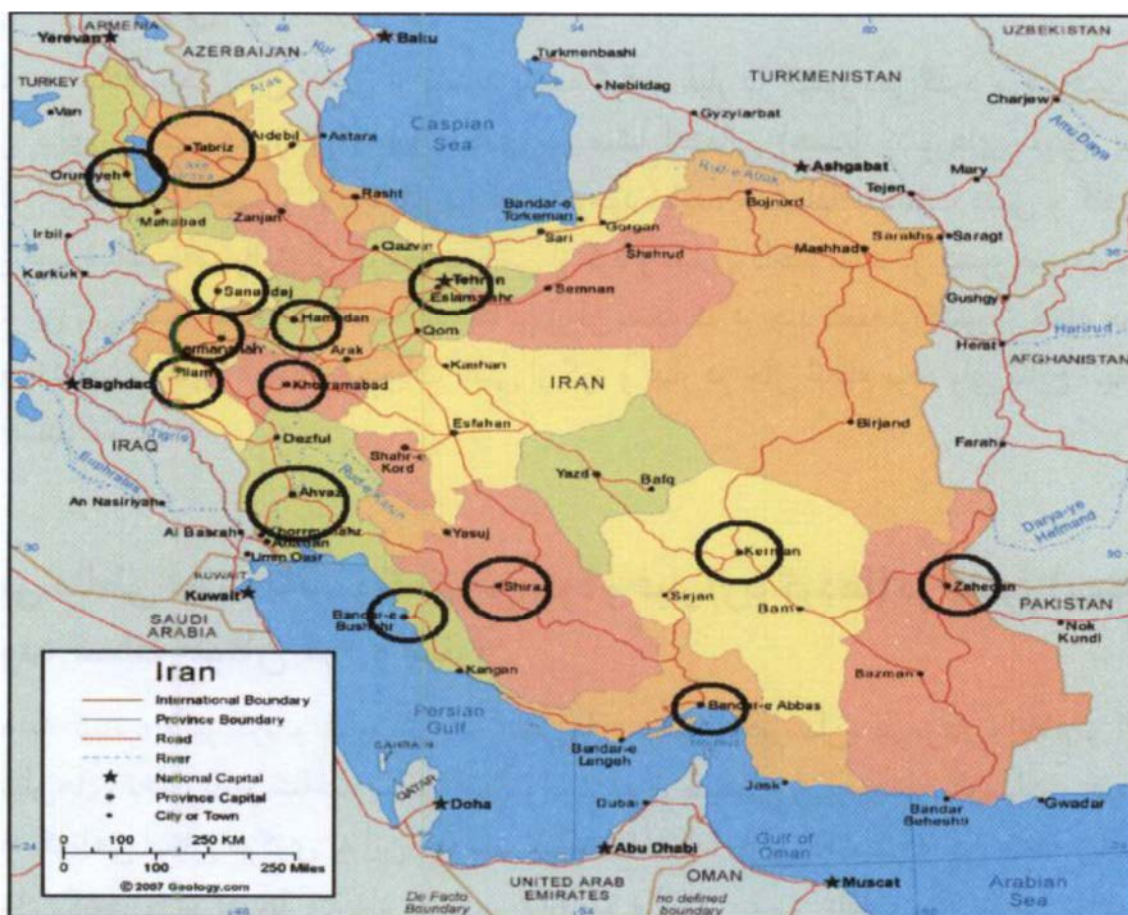
شکل ۲- نقشه اندازه‌های ذرات خاک کشورهای منطقه خاورمیانه [۳].

۲- منشأ مولد ریز گرد‌ها در ایران

سرچشمه اصلی ریز گردهای موجود در کشور ایران در چند سال اخیر، باد شمال است. این باد که از خرداد تا شهریورماه هر سال فعال است، از شمال خاورمیانه شکل گرفته و با گذر از کوه‌های ترکیه و شمال عراق، به سمت بیابان‌های عراق و سوریه سرازیر می‌شود و تا خلیج فارس و رسیدن به آب‌های آزاد پیش می‌رود. چند سالی است که ناحیه جنوب غربی ایران خصوصاً استان خوزستان با پدیده گردوغبار شدید در تابستان‌ها روبرو بوده است. استان خوزستان از سال ۱۳۸۰ با پدیده گردوغبار به صورت جدی روبه‌رو بوده است. در سال ۱۳۸۱، ۱۰ نوبت؛ در سال ۱۳۸۲، ۱۱ نوبت؛ در سال ۱۳۸۳، ۹ نوبت؛ در سال ۱۳۸۴، ۱۲ نوبت؛ در سال ۱۳۸۵، ۱۹ نوبت؛ در سال ۱۳۸۶، ۳۱ نوبت و در سال ۱۳۸۷، ۵۵ نوبت و در سال ۱۳۸۸، ۳۰ نوبت این پدیده در استان خوزستان اتفاق افتاده است. حداکثر میزان غلظت ذرات گردوغبار و آلاینده‌ها در سال‌های مختلف در این استان متفاوت بوده است، به گونه‌ای که در طی این سال‌ها در چندین نوبت غلظت گردوغبار به ۹۳۶۰ میکروگرم در مترمکعب رسید که این مقدار ۳۶ برابر حد مجاز بوده است. اما از سال ۱۳۹۰ تاکنون، غلظت ریز گردها افزایش قابل توجه داشته است. در مورد تأثیرپذیری دیگر استان‌های کشور از سال ۱۳۹۰ تاکنون می‌توان به این موارد اشاره نمود: استان‌های کردستان ۳۶۸۷ میکروگرم، لرستان ۱۴۶۰ میکروگرم، ایلام ۵۱۷۳ میکروگرم، کرمانشاه ۵۳۹۹ میکروگرم، آذربایجان شرقی ۱۰۰۰ میکروگرم، آذربایجان غربی ۱۹۰۳ میکروگرم، تهران ۷۹۹ میکروگرم، اراک ۵۹۵ میکروگرم، زنجان ۳۶۴۳ میکروگرم، بوشهر ۳۳۹ میکروگرم، کهگیلویه و بویراحمد ۳۰۰ میکروگرم، قزوین ۶۲۵ میکروگرم و کرج تا ۶۹۰ میکروگرم از گردوغبار موجود تأثیر پذیرفتند [۵۴].

منشأ اصلی گردوغبار در جنوب شرق ایران که با شدت بیشتر در استان سیستان و بلوچستان حادث شده و دامنه‌های آن تا استان‌های خراسان جنوبی، خراسان رضوی، کرمان و یزد نیز گسترش می‌یابد، ناشی از پدیده بادهای فصلی ۱۲۰ روزه است که از فلات پامیر و صحرای هرات سرچشمه گرفته و از سرحد شرقی

افغانستان وارد خاک ایران می‌شود. از پاکستان و افغانستان این باد در منطقه جنوب شرق ایران به علت خشکی هوا و کمبود رطوبت در خاک، همراه با گردوخاک بسیار شدید ظاهر می‌گردد. در شکل ۳، عمده‌ترین استان‌های متأثر از گردوغبار در سال‌های اخیر نشان داده شده است [۱۲ و ۱۳].



شکل ۳- عمده استان‌های متأثر از گردوغبار در سال‌های اخیر [۳].

نکته بسیار مهم این است که طوفان‌های گردوغبار رخ داده در ۵ سال اخیر در این مناطق از نظر ویژگی‌های زیر از موارد مشابه قبلی متمایز است:

- غلظت ذرات بسیار بالا بوده، تا حدی که در بعضی موارد ۱۰۰۰ برابر استاندارد گزارش شده است.

- اندازه ذرات معلق در طوفان، که در آن ذرات با اندازه ۲/۵ میکرون و یا کمتر از آن به میزان بالایی وجود دارد.
- تداوم دوره زمانی بیشتر از موارد پیشین بوده و از ۵ الی ۱۰ روز گزارش شده است.
- طول دوره وقوع که پیش‌تر معمولاً حدود ۱۵ روز در سال یا کمتر بوده، در حال حاضر در مواردی حتی ۱۰۰ روز و یا بیشتر هم گزارش شده است.
- وسعت و منطقه تحت تأثیر که ابتدا استان‌های خوزستان و بوشهر بوده، اینک سطح وسیعی از دیگر استان‌ها را شامل می‌شود.
- زمان تحت تأثیر طوفان که معمولاً محدود به فصل گرم سال بوده، اینک در سه سال اخیر در فصل زمستان هم گزارش شده است [۳].

۳- کانون‌های شناسایی شده منشأ تولید گردوخاک در غرب و جنوب غرب ایران

هرچند بیشتر طوفان‌های گردوخاک که استان‌های غربی کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند، منشأ خارجی دارند ولی در سال‌های اخیر نسبت طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی افزایش یافته است. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در خصوص شناسایی کانون‌های خارجی گردوخاک انجام شده است. بیشتر این مطالعات بر پایه داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش‌ازدور انجام شده است. با تکیه بر این امر، کانون‌های خارجی اصلی طوفان‌های گردوخاک در این مناطق عبارت‌اند از:

منطقه ۱- شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رودخانه فرات

منطقه ۲- تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین)

منطقه ۳- زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق

منطقه ۴- زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص)

منطقه ۵- مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن

این مناطق در شکل ۴ نشان داده شده‌اند [۶].

کانون‌های داخلی که منشأ طوفان‌های گردوخاک در این مناطق هستند، با مساحتی حدود ۳۵۰،۰۰۰ هکتار، به‌طور عمده از شرق و جنوب شرق اهواز تا خاور هندیجان در جنوب شرق استان خوزستان، گسترش دارند. علاوه بر این در غرب استان خوزستان نیز بخش‌های خشک‌شده تالاب هورالعظیم در غرب هویزه و نواحی پیرامون آن و همچنین بخش‌هایی از شمال خرمشهر نیز جزء مناطق منشأ می‌باشند. در بیشتر این پهنه‌ها کاهش رطوبت سطحی و شور شدن زمین و در نتیجه نفوذ آب‌های زیرزمینی به‌خوبی دیده می‌شود. نفوذ آب‌های زیرزمینی و تبخیر آن در اثر خاصیت موینگی، سبب تبلور نمک در فضای خالی بین ذرات خاک و متلاشی شدن بافت خاک شده است. مناطق مذکور در قالب ۷ محدوده به شرح زیر قابل‌شناسایی هستند:



شکل ۴- کانون‌های اصلی منشأ تولید طوفان‌های گردوخاک در خارج از کشور [۶].

محدوده ۱- ناحیه جنوب غرب هویزه

این محدوده بخش‌های خشک‌شده تالاب هورالعظیم و نواحی پیرامون آن را شامل می‌شود که در مجموع

حدود ۵۰،۰۰۰ هکتار مساحت دارد.

محدوده ۲- ناحیه شمال شرق خرمشهر

این مناطق دشت‌های آبرفتی مسطح و دانه‌ریز هستند که فاقد پوشش گیاهی بوده و شوری زمین در آن‌ها

بالاست. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۲۸،۱۸۴ هکتار است.

محدوده ۳- ناحیه شرق اهواز

این ناحیه دربرگیرنده پلایای خشک شده مالچ و آبگیرهای رودخانه کوپال است که طی خشک‌سالی‌های

اخیر و کاهش آب ورودی خشک‌شده‌اند و به کانون تولید گردوخاک تبدیل شده‌اند. آبگیر مالچ توسط

سیلاب‌های کارون، آبراهه‌های محلی و رودخانه کوپال تغذیه می‌شود. خشک شدن بوته‌زارهای حاشیه

شرقی این آبگیر نقش مهمی در شکل‌گیری کانون تولید گردوخاک دارد. شدت فرسایش و برداشت خاک در

آبگیرهای خشک‌شده انتهای کوپال که در شرق مالچ قرار دارند بیشتر است و عمق برداشت گاه به ۳ تا ۴

سانتیمتر می‌رسد. این بخش‌ها به‌صورت کفه‌های رسی وسیعی هستند که وجود فسیل‌های دوکفه‌ای و شکم

پایان در بخش‌های فرسایش یافته آن‌ها، نشانه محیط‌های تالابی گذشته است. با توجه به این‌که درصد کمی

ماسه نیز همراه نهشته‌های دانه‌ریز و رسی این پهنه‌ها وجود دارد، پس از حمل بخش‌های دانه‌ریز توسط باد،

بخش‌های ماسه‌ای و دانه‌درشت تر سبب شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌بادی کوچکی شده‌اند که با روند گسترش

فعلی، درنهایت به شکل پهنه‌های ماسه‌بادی ظاهر شده‌اند. این عرصه‌ها تقریباً عاری از هرگونه پوشش گیاهی

هستند و اثر فرسایش باد به‌صورت خطواره‌هایی در راستای شمال غرب- جنوب شرق دیده می‌شود.

مساحت این مناطق در مجموع در حدود ۱۵،۶۲۰ هکتار است.

محدوده ۴- ناحیه جنوب و جنوب شرق اهواز

این محدوده بخش‌هایی از غرب نهر مالح را در جنوب اهواز تا نواحی غرب جراحی و رامشیر در بر می‌گیرد. این پهنه گسترش قابل توجهی دارد و شامل مجموعه‌ای از آبگیرهای خشک شده است که در غرب مالح، انتهای رودخانه کوپال و انتهای برخی آبراهه‌های فصلی در پهلوئی جنوبی طاق‌دیس مارون قرار دارند. این پهنه‌ها نیز به صورت کفه‌های رسی وسیع هستند. بخش‌های وسیعی از این محدوده را نیز به‌ویژه در غرب رودخانه جراحی، زمین‌های کشاورزی دیم تشکیل می‌دهد که به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر رها شده و به کانون‌های تولید گرد و خاک تبدیل شده‌اند. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۱۲،۳۸۵ هکتار است.

محدوده ۵- منطقه بندر امام-امیدیه

این محدوده دربرگیرنده کفه‌های رسی بسیار وسیع است که به‌طور عمده تحت تأثیر سیلاب‌های رودخانه جراحی قرار داشته است. در برخی از این مناطق نیز بوته‌زارهای حاشیه این آبگیرها در حال خشک شدن و تخریب هستند. آثار برداشت در این پهنه‌ها بسیار مشهود است و عمق برداشت در برخی نقاط به ۴ تا ۵ سانتیمتر می‌رسد. اراضی کشاورزی نیز به صورت پراکنده در این محدوده دیده می‌شود. شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌بادی نیز قابل مشاهده است. مساحت این مناطق حدود ۸۶،۱۴۷ هکتار است.

محدوده ۶- منطقه ماهشهر-هندیجان

این محدوده نیز دربرگیرنده پهنه‌های رسی وسیع و فاقد پوشش گیاهی است و نشانه‌های فسیل‌ها و بخش‌های فرسایش یافته، نشان‌دهنده تالابی بودن آن در گذشته است. این محدوده نیز همانند سایر آبگیرهای خشک شده، دارای فرسایش شدید با تشکیل و گسترش تپه‌های کوچک ماسه‌بادی است. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۳۱،۹۸۰ هکتار است.

محدوده ۷- منطقه شرق هندیجان

این محدوده شامل پهنه‌های رسی است که در شرق رودخانه زهره شکل گرفته‌اند. این پهنه‌ها بیشتر توسط آبراهه‌های فصلی که از ارتفاعات رگ سفید سرچشمه می‌گیرند، تغذیه می‌شود. خشک‌سالی‌های متمادی در سال‌های گذشته و کاهش رطوبت سطحی سبب تبدیل این عرصه‌ها به کانون‌های گردوخاک شده است. مساحت این مناطق در مجموع حدود ۱۸،۸۳۶ هکتار است [۶-۸].

۴- علل وقوع طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب ایران

بررسی آمار بلندمدت (۵۰ ساله) آب و هوایی نشان می‌دهد که طوفان‌های گردوخاک به‌عنوان یک رویداد طبیعی هرساله وجود داشته است. فراوانی رخداد این طوفان‌ها ارتباط مستقیم با میزان بارندگی سالیانه و وضعیت پوشش گیاهی داشته است، به‌گونه‌ای که با کاهش بارندگی‌ها، رخدادهای طوفان‌های گردوخاک افزایش یافته است. دست‌کم از یک دهه پیش چهار تغییر اساسی در روند رویداد طوفان‌های گردوخاک در کشور رخ داده است که عبارت‌اند از: افزایش فراوانی طوفان‌های گردوخاک، افزایش غلظت، افزایش مدت‌زمان ماندگاری، و افزایش فاصله انتقال از ناحیه منشأ. اگرچه فراوانی طوفان‌های گردوخاک روند افزایشی ثابتی را نشان نمی‌دهد، اما افزایش فراوان شاخص‌هایی مانند غلظت، ماندگاری و فاصله حمل به‌روشنی گویای تشدید طوفان‌های گردوخاک در دهه اخیر است. این تغییر تا حد زیادی ناشی از تغییر در مناطق منشأ این طوفان‌ها بوده است. کانون بسیاری از طوفان‌های گردوخاک در گذشته، صحرای عربستان و شمال آفریقا بوده است. طوفان‌های برخاسته از این مناطق به دلیل درشتی ذرات و نشست سریع، ماندگاری و قدرت انتقال کمتری داشته‌اند. اما بیش از یک دهه پیش، به دلیل تشدید تغییرات آب و هوایی و خشک‌سالی‌ها از یک‌سو و توسعه طرح‌های عمرانی و برداشت بی‌رویه از منابع آب از سوی دیگر، بسیاری از تالاب‌ها و نواحی مرطوب موجود در بین‌النهرین رو به خشکی نهاده و بیابان‌های کوچکی را ایجاد نموده است که منشأ بسیاری از طوفان‌های گردوخاک در سال‌های اخیر بوده است. جنس رسوبات این مناطق از

رسوبات رسی ریزدانه است که تا ارتفاع زیادی در جو بالا رفته و علاوه بر ماندگاری و غلظت زیاد، مسافت‌های بسیار زیادی انتقال می‌یابند [۶].

در عرصه داخلی نیز تشدید تغییرات آب و هوایی در قالب خشک‌سالی‌های پی‌درپی، سبب افزایش دما و کاهش رطوبت سطح زمین شده است. این تغییرات در کنار بهره‌برداری از طرح‌های کلان آبی نظیر تونل‌های انتقال آب، احداث سدها و شبکه‌های آبیاری که به برداشت بی‌رویه و غیراصولی از منابع آب منجر شده، باعث کاهش سطوح آبی و مرطوب و از بین رفتن پوشش گیاهی در بسیاری از مناطق شده است که شکل‌گیری کانون‌های داخلی تولید گردوخاک را به دنبال داشته است. صرف‌نظر از این‌که هر یک از عوامل تغییر اقلیم و یا طرح‌های عمرانی در تشدید طوفان‌های گردوخاک چه سهمی دارند، این عوامل سبب تغییر در سه پارامتر مؤثر در پیدایش کانون‌های تولید گردوخاک شده‌اند، که عبارت‌اند از: دما، رطوبت و پوشش گیاهی [۶].

افزایش دمای زمین که به‌طور عمده ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده، امری شناخته شده است. میزان این افزایش دما در مناطق مختلف، متفاوت و در نواحی که با خشک‌سالی توأم شده بیشتر نمایان گشته است. این افزایش دما که اغلب با کاهش رطوبت به‌ویژه در نواحی خشک نیز همراه است، سبب از بین رفتن تدریجی پوشش گیاهی و درنهایت شکل‌گیری کانون‌های تولید گردوخاک می‌شود. افزایش دما و کاهش رطوبت در هر ناحیه به‌طور طبیعی با از بین رفتن پوشش گیاهی همراه خواهد بود. با توجه به اینکه پوشش گیاهی نقش مهمی در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش دارد، از بین رفتن این پوشش نقش فراوانی در بیابان‌زایی و تشکیل کانون‌های گردوخاک دارد. از بین رفتن پوشش گیاهی در حاشیه و بخش‌های خشک شده تالاب‌هایی چون هورالعظیم، شادگان و سایر آبگیرها و مناطق مرطوب از مهم‌ترین دلایل گسترش کانون‌های داخلی در سال‌های اخیر است [۹۶ و ۱۰].

به‌طورکلی، علل و عوامل مؤثر در تولید طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور را

می‌توان در چهار بخش زیر خلاصه کرد:

الف) رابطه بین طوفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور و خشک‌سالی‌های منطقه

ب) سهم کانون‌های داخلی و خارجی منشأ تولید طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور

ج) سهم عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در طوفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور

د) پیش‌بینی آینده طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور

در ادامه به توضیح هر یک از این بخش‌ها پرداخته شده است.

✓ رابطه بین طوفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور و خشک‌سالی‌های منطقه:

با بررسی آمار مربوط به شاخص خشک‌سالی و طوفان‌های گردوخاک در این مناطق طی ۲۵ سال اخیر،

به‌وضوح مشخص می‌شود که با تشدید خشک‌سالی‌ها، شدت و فراوانی طوفان‌های گردوخاک نیز افزایش

یافته است. علت این امر را می‌توان در این مقوله جستجو نمود که با کاهش آبدهی رودخانه‌های این حوضه

آبریز در درون و برون کشور، رطوبت پهنه‌های آبی و تالاب‌ها کاهش یافته و با تشدید خشک شدن آن‌ها و

پدیده بیابان‌زایی، کانون‌های منشأ طوفان‌های گردوخاک توسعه می‌یابند [۶].

✓ سهم کانون‌های داخلی و خارجی منشأ تولید طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب

کشور:

تفاوت اصلی طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی و خارجی در ماندگاری، غلظت و دامنه اثر آن‌هاست.

طوفان‌های با منشأ خارجی دارای ماندگاری بیشتر، غلظت کمتر و معمولاً دامنه اثر گسترده‌تر هستند به‌طوری

که ممکن است حتی تا ۳ روز هم ماندگاری داشته باشند و گاهی تا استان‌های مرکزی کشور هم نفوذ کنند.

طوفان‌های با منشأ داخلی معمولاً دارای ماندگاری کمتر، غلظت بیشتر و دامنه اثر کمتری می‌باشند. غلظت این نوع طوفان‌ها گاه تا بیش از ۵۰ برابر حد استاندارد نیز می‌رسد.

در مورد سهم طوفان‌های گردو خاک با منشأ داخلی و خارجی، با توجه به تحقیقات انجام شده شاید سهم کمی هر یک را دقیقاً نتوان مشخص کرد، اما با تکیه به این تحقیقات می‌توان گفت که سهم طوفان‌های با منشأ خارجی بیشتر است. لکن در سال‌های اخیر سهم طوفان‌های با منشأ داخلی افزایش یافته و روند آن نیز در حال افزایش است [۷۶].

✓ سهم عوامل طبیعی و انسان‌ساخت در طوفان‌های گردو خاک غرب و جنوب غرب کشور:

برداشت‌های بیش از حد از منابع آب به خصوص منابع آب سطحی (رودخانه‌ها)، باعث کاهش آورد آن‌ها شده و در نهایت باعث کاهش حجم آب ورودی به زیست‌بوم‌ها، تالاب‌ها و پهنه‌های آبی پایین دست شده که عاقبت این پدیده خشک شدن این پهنه‌ها، بیابان‌زایی و برخاستن گردو خاک از این کانون‌هاست. شاید بتوان اصلی‌ترین عامل انسان‌ساخت کاهش آورد رودخانه‌های دجله و فرات را کنترل و مهار آب این رودخانه‌ها توسط کشور ترکیه در سرشاخه‌های این رودخانه‌ها (پروژه گاپ) به حساب آورد. به دلیل این پروژه رودخانه‌های دجله و فرات به ترتیب با کاهش‌های ۴۷ و ۶۶ درصدی در آورد خود مواجه خواهند شد که این امر اثر بسیار چشمگیری را در پایین دست، یعنی کشورهای عراق، سوریه و ایران، ایجاد خواهد نمود. یکی از دلایل اصلی ورود گردو خاک‌ها با منشأ خارجی به کشور ایران را می‌توان پروژه گاپ کشور ترکیه محسوب کرد. به طور حتم کشور ترکیه از این پروژه علاوه بر اهداف اقتصادی، اهداف سیاسی را نیز دنبال می‌کند.

در داخل کشور نیز مهار آب‌های رودخانه‌های کارون، کرخه، زهره و جراحی توسط زنجیره سدهای متعدد و همچنین استفاده فزاینده از آب این رودخانه‌ها، باعث شده که حقابه زیست‌محیطی زیست‌بوم‌های

پایین دست از جمله تالاب‌ها، کاهش‌های چشمگیر یافته و کانون‌های منشأ طوفان‌های گردوخاک شکل گیرند. این امر نیز جزء عوامل طبیعی نبوده و انسان‌ساخت به شمار می‌رود.

خشک‌سالی‌ها از عوامل طبیعی طوفان‌های گردوخاک به شمار می‌روند. البته باید عنوان کرد که وقوع خشک‌سالی‌های موضعی و متناوب، جزء طبیعی چرخه هیدرولوژیک می‌باشند و در منطقه سابقه تاریخی دارند. دوره، تناوب و طول دوره خشک‌سالی بسته به شدت آن متغیر است. تغییرات اقلیم در مقیاس جهانی را نیز می‌توان دلیل دیگر وقوع طوفان‌های گردوخاک به شمار آورد. از آنجاکه علت اصلی تغییرات اقلیم ورود بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای توسط بشر به زمین است، این عامل نیز جزء عوامل انسان‌ساخت بوده، ولی در مقیاس جهانی محسوب می‌گردد.

نکته مهم دیگر که باید مورد توجه و واکاوی قرار گیرد، افزایش شدت و فراوانی طوفان‌های گردوخاک در مواقعی است که انتظار آن نمی‌رود. به دلیل وقوع بارش‌ها و رطوبت سطحی زمین، قاعدتاً در فصول بارش و پرآبی (زمستان و اول بهار) احتمال وقوع طوفان‌های گردوخاک کمتر است، اما در سال‌های اخیر در این مواقع از سال نیز طوفان‌های گردوخاک به وقوع می‌پیوندند [۱۱۶].

تفکیک دقیق سهم هر یک از عوامل ذکر شده در تشکیل، توسعه و تشدید طوفان‌های گردوخاک به آسانی امکان‌پذیر نیست. از آنجایی که برداشت بیش‌ازحد از منابع آب و تغییرات اقلیم در مقابل خشک‌سالی‌های موضعی و موقتی، عواملی انسان‌ساخت بوده و از طرفی دیگر خشک‌سالی حاکم بر خاورمیانه خود می‌تواند ناشی از تغییرات اقلیم باشد تا یک خشک‌سالی طبیعی هیدرولوژیک، می‌توان گفت که در کل سهم عوامل انسان‌ساخت در تشکیل، توسعه و تشدید طوفان‌های گردوخاک نسبت به عوامل طبیعی بیشتر است.

✓ پیش‌بینی آینده طوفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور:

پیش بینی می شود که در افق سال ۲۱۰۰، حوضه آبریز اروندرود (شط العرب) حدود ۶ درجه سانتی گراد گرم تر شود. این امر با توجه به اخطارها و پیش آگاهی های سازمان های ملی و بین المللی مبنی بر تداوم خشک سالی ها در منطقه خاورمیانه نیز قابل تأیید است. از طرف دیگر بر اساس خروجی مدل های GCM و سناریوی بدبینانه، پیش بینی می شود که وضعیت حوضه های آبریز کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره- جراحی طی ۱۵ سال آینده، وضعیتی بحرانی باشد به طوری که بارندگی در این حوضه ها به ترتیب ۲۱، ۲۴/۶، ۰/۵ و ۲۱/۵ درصد و رواناب نیز به ترتیب ۵۵، ۶۰/۵، ۱/۵ و ۵۳ درصد کاهش خواهد داشت. از سوی دیگر، تشدید و ادامه مهار آب رودخانه های دجله و فرات در سرشاخه ها توسط کشور ترکیه و همچنین زنجیره سدهای روی رودخانه ها، قطعاً از ورود آب به زیست بوم ها و تالاب های پایین دست ممانعت خواهد کرد و با توجه به شرایط اقلیمی، هیدرولوژیک و سیاسی منطقه، امکان تغییر در شرایط مذکور در کوتاه مدت بعید به نظر می رسد. در داخل کشور نیز با توجه به فراهم نبودن زیرساخت های مورد نیاز برای تغییر مدیریت منابع آب، بحران آب و شرایط اقتصادی حاکم، تغییر شرایط در افق کوتاه مدت بعید است [۶].

با عنایت به مطالب فوق الذکر به نظر می رسد که در افق کوتاه مدت تغییری در شرایط طوفان های گردو خاک در غرب و جنوب غرب کشور رخ نخواهد داد. با ادامه وضع موجود از مناظر ذکر شده در درون و برون کشور، پیش بینی می شود که رخدادهای مربوط به طوفان های گردو خاک از نظر فراوانی و شدت، روندی افزایشی را داشته باشد.

۵- جمع بندی

طوفان های گردو خاک در غرب و جنوب غرب کشور از دو جنبه قابل بررسی است که عبارت اند از: جنبه خارجی و جنبه داخلی. از منظر برون مرزی با توجه به این که این قسمت از کشور ایران جزء حوضه آبریز بزرگ اروندرود (شط العرب) است، قطعاً روندهای حاکم بر اقلیم و منابع آب در این حوضه آبریز که بین

کشورهای ترکیه، عراق، سوریه، ایران و عربستان مشترک است، بر طوفان‌های گردوخاک ایران به‌طور مستقیم و غیرمستقیم اثرگذار است. با عنایت به وجود خشک‌سالی شدید حاکم بر این منطقه و تغییرات اقلیم، که پیش‌بینی می‌شود ادامه داشته باشد در کنار اقدامات کشور ترکیه در مهار آب سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات (پروژه گاپ) و همچنین نیاز شدید کشورهای عراق و سوریه به آب، به نظر می‌رسد که طوفان‌های گردوخاک با منشأ خارج از کشور ادامه داشته و یا تشدید شود. با بررسی روند خشک‌سالی حاکم بر حوضه‌های آبریز کارون بزرگ، کرخه، مرزی غرب و زهره-جراحی و کاهش آبدهی رودخانه‌های موجود در این حوضه‌ها و همچنین فراوانی و شدت طوفان‌های گردوخاک در این مناطق، کاملاً مشخص می‌شود که با تشدید خشک‌سالی و کاهش آبدهی رودخانه‌ها (به علل خشک‌سالی، تغییر اقلیم و مهار آب آن‌ها در بالادست)، طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی افزایش یافته است. تفاوت‌های اصلی طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی و خارجی در ماندگاری، غلظت و دامنه اثر آن‌هاست. طوفان‌های گردوخاک با منشأ خارجی که بیشتر طوفان‌های غرب و جنوب غرب کشور را تشکیل می‌دهند، معمولاً دارای ماندگاری بیشتر، غلظت کمتر و دامنه اثر گسترده‌تر هستند. طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی نیز که فراوانی و شدت آن‌ها رو به افزایش است، معمولاً دارای ماندگاری کمتر، غلظت بیشتر و دامنه اثر محدودتر هستند.

پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیم و منابع آب منطقه خاورمیانه که دربرگیرنده حوضه آبریز مشترک اروندرود (شط العرب) و همچنین حوضه آبریز خلیج‌فارس و دریای عمان است، حاکی از آن است که روند خشک‌سالی و مهار آب‌ها توسط کشورهای مختلف رو به افزایش بوده که نتیجه آن تشدید طوفان‌های گردوخاک در منطقه غرب و جنوب غرب کشور خواهد بود. نکات کلیدی در خصوص علل و عوامل مؤثر در وقوع طوفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور به‌صورت زیر جمع‌بندی می‌شود:

✓ علل طوفان‌های گردوخاک مناطق غرب و جنوب غرب کشور به دو نوع طبیعی و انسان‌ساخت تقسیم‌بندی می‌شود.

✓ از جنبه طبیعی می‌توان گفت که مناطق غرب و جنوب غرب کشور که در حوضه آبریز داخلی خلیج فارس و دریای عمان و حوضه آبریز خارجی و مشترک اروندرود (شط العرب) قرار دارد، در سال‌های اخیر دچار خشک‌سالی کم‌سابقه بوده به طوری که میانگین بارندگی در این مناطق در ۱۰ سال اخیر حداقل از ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش و دمای متوسط نیز حداقل از ۰/۱ تا ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. به دلیل کاهش بارش، آبدهی رودخانه‌های موجود در این حوضه آبریز به شدت کاهش یافته است.

✓ کاهش بارش و افزایش دمای مذکور از یک طرف به دلیل خشک‌سالی موضعی (خشک‌سالی هیدرولوژیک)، و از طرف دیگر به دلیل تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی صورت گرفته است. لازم به ذکر است که می‌توان تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی را پدیده‌ای انسان‌ساخت در مقیاس جهانی و کمتر به دلیل دخالت‌ها به طور مستقیم در منطقه لحاظ نمود.

✓ کاهش بارندگی و افزایش دما در مناطق نزدیک به کانون‌های داخلی منشأ طوفان‌های گردوخاک، شدت بیشتری داشته که این امر خود مؤید سهم خشک‌سالی و روند رو به فزونی آن در تشکیل طوفان‌های گردوخاک با منشأ داخلی است.

✓ از جنبه انسان‌ساخت، مدیریت ناصحیح منابع آب در منطقه و تأسیس سدهای متعدد روی رودخانه‌های منطقه و مهار آب آن‌ها هم در داخل کشور و هم در خارج از کشور، باعث اختلال در رژیم طبیعی رودخانه‌ها شده که در نهایت به کم آب شدن و خشک شدن زیست‌بوم‌ها و تالاب‌های پایین‌دست این رودخانه‌ها و تبدیل آن‌ها به کانون‌های منشأ طوفان‌های گردوخاک

شده است. انتقال آب بخشی از سرشاخه‌های رودخانه‌های کارون و دز و همچنین رودخانه‌های زهره و جراحی می‌تواند در کاهش آبدهی این رودخانه‌ها مؤثر باشد. همچنین ساخت جاده‌های پی‌درپی در میانه تالاب هورالعظیم و خشکاندن بخش‌های تالابی برای استقرار تأسیسات نفتی، از جمله عوامل انسان‌ساخت است که سبب خشک شدن این تالاب و تبدیل آن به یکی از کانون‌های منشأ گردوغبار استان خوزستان در سال‌های اخیر شده است.

✓ کنترل و مهار آب سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات توسط کشور ترکیه (طرح گاپ)، یکی از عوامل اصلی کاهش آب این رودخانه‌ها توسط بشر است.

✓ اهم کانون‌های خارجی منشأ طوفان‌های گردوخاک عبارت‌اند از: شمال غرب عراق و شرق سوریه، دو طرف رودخانه فرات، تالاب‌ها و زمین‌های خشک‌شده جنوب عراق (بین‌النهرین)، زمین‌های اطراف و شمال دریاچه تارتار در عراق، زمین‌های غرب عراق (استان الانبار) و شرق سوریه (استان حمص) و مناطق مرزی شمال عربستان و شرق اردن.

✓ اهم کانون‌های داخلی منشأ طوفان‌های گردوخاک عبارت‌اند از: ناحیه جنوب غرب هویزه، ناحیه شمال شرق خرمشهر، ناحیه شرق اهواز، منطقه بندر امام-امیدیه، منطقه ماهشهر-هندیجان و منطقه شرق هندیجان.

✓ نتایج مدل‌های پیش‌بینی اقلیم حاکی از تداوم روند خشک‌سالی در مناطق مذکور است که نتیجه آن ادامه و به‌احتمال‌زیاد تشدید طوفان‌های گردوخاک در این مناطق است.

مراجع و منابع:

۱- آموزش و آگاه‌سازی ساکنان همدان در خصوص ریزگردها، گزارش زیست‌محیطی، سازمان نظام‌مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان- معاونت آموزشی، فنی و پژوهشی، ۹۳-۱۳۹۲.

- ۲- دلسوز، مهري، علي دادی، حسين، بررسی چالش‌های ریز گرد‌ها و راهکارهای مقابله با آن.
- ۳- بررسی علل پیدایش گردوغبار و راه‌حل‌های تعدیل و اثرات زیان‌بار آن، جامعه مهندسان مشاور ایران، گزارش نشست علمی-تخصصی برگزار شده در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۰۹ به‌منظور واکاوی پدیده ریز گرد‌ها.
- ۴- ندافی، کاظم، آلودگی هوا با تأکید بر ریز گرد‌ها و اثرات بهداشتی و زیست‌محیطی آن‌ها، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۱۳۸۸، تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی.
- ۵- شعاعی، ضیاء‌الدین، تشدید طوفان‌های گردوغبار چالش مهم زیست‌محیطی دهه اخیر در غرب آسیا و ایران، سازمان حفاظت محیط‌زیست، ستاد ملی مقابله با پدیده گردوغبار، ۱۳۹۴.
- ۶- طوفان‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب کشور: علل، منشأ، کانون‌ها و پیش‌بینی وضعیت آینده، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات زیربنایی، خردادماه ۱۳۹۶.
- ۷- شناسایی و اولویت‌بندی کانون‌های تولید ریز گرد استان خوزستان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مدیریت منطقه جنوب باختری (اهواز)، دی‌ماه ۱۳۹۴.
- ۸- کرمانی، مجید، طاهریان، الهام، ایزانلو، مریم، تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریز گرد‌ها و طوفان‌های گردوغباری در ایران به‌منظور بررسی منشأهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آن‌ها، مجله ره‌آورد سلامت، دوره ۲، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵.
- ۹- جلالی، نادر، حقیقی فشی، فرشته، شناسایی منشأ طوفان‌های گردوغبار در سال‌های اخیر، همایش ملی سنجش و مدل‌سازی محیط، ۱۳۹۱، تهران، دانشگاه تهران.
- ۱۰- احمدی بلوطکی، کوثر، بنی نعیمه، سمیه، اسدی، فاطمه، بررسی منشأ ایجاد گردوغبار و عوامل مؤثر بر آن، اولین اجلاس بین‌المللی گردوغبار، ۱۴-۱۲ اسفند ۱۳۹۴، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
- ۱۱- آرامی، سید عبدالحسین، بردی شیخ، واحد، بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه پدیده گردوغبار و دلایل بروز این پدیده در جنوب و غرب ایران، اولین اجلاس بین‌المللی گردوغبار، ۱۴-۱۲ اسفند ۱۳۹۴، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

12- Modarres, R., Sadeghi, S. (2017), Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran, *Natural Hazards*, pp. 1-14, Article in Press.

Identification of dust storm origin in West and South-West of Iran

Author(s): Mahsa Sedighi, Ashraf Al Sadat Pasandideh

Abstract: Dust storms are among natural and anthropogenic hazards for socioeconomic resources. In recent years dust storms have become a serious problem especially in West and South-West of Iran. The dust events in West and South-West of Iran can be caused by internal and/or external origins. The main differences of dust storms with internal and external origins are in durability, particle concentration and the range of their impacts. Dust storms with external origins, are more sustainable with low concentration of particles and extended range of impacts. In contrast, dust storms with internal origins are not sustainable; however, contain high concentration of particles with limited range of impacts. In recent years the dust storm with internal origins have occurred more. By concerning the climate change, increased drought years and limited water resources in Middle East, it can be concluded that the dust events will occur more repeatedly in future years.



آشنایی با انجمن ارزیابی محیط زیست ایران

انجمن علمی ارزیابی محیط زیست ایران با حضور اساتید، کارشناسان و مدیران برجسته کشور با اهداف زیر تشکیل شده است.

- انجام تحقیقات علمی و فرهنگی در سطح ملی و بین المللی با محققان و متخصصانی که به گونه ای با علم محیط زیست سروکار دارند.
- همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی در زمینه ارزیابی و بازنگری و اجرای طرح ها و برنامه های مربوط به امور آموزش و پژوهش در زمینه علمی موضوع فعالیت انجمن .
- ترغیب و تشویق پژوهشگران و تجلیل از محققان و استادان ممتاز .
- ارائه خدمات آموزشی و پژوهشی و فنی
- برگزاری گردهمایی های علمی در سطح ملی، منطقه ای و بین المللی
- انتشار کتب و نشریات علمی.

این انجمن از وزارت علوم تحقیقات و فناوری مجوز تأسیس دریافت نموده است. اولین مجمع عمومی عادی انجمن در ۱۳۸۱ برگزار شد و هم اکنون ۲۹۱ عضو فعال دارد.

این انجمن دارای نشریه های علمی - پژوهشی و علمی - ترویجی زیر است.

- نشریه علمی - پژوهشی «پژوهش های محیط زیست»
- نشریه علمی - ترویجی «محیط زیست و توسعه»

برای آشنایی بیشتر با این انجمن می توان به وبسایت <http://www.irancia.ir> مراجعه نمود.

بررسی اثر پارامترهای عملیاتی و خواص غشا بر جداسازی SO_2 از گاز دودکش

توسط تماس دهنده غشایی الیاف توخالی

نویسندگان: سمیه علیجانی^۱، زهرا دلاور مقدم^۲

چکیده: با توجه به اثرات مخرب SO_2 بر سلامت انسان و محیط‌زیست، توسعه فناوری‌های مؤثر برای جداسازی دی‌اکسید گوگرد از منابع تولیدکننده آن ضروری است. فناوری‌های گوگردزدایی گاز دودکش (FGD)، متداول‌ترین فناوری برای حذف SO_2 به شمار می‌آیند. اگرچه فرآیندهای FGD با حذف کامل SO_2 همراه هستند اما نیاز به فضای زیاد، هزینه بالای سرمایه‌گذاری، خوردگی و مشکلات عملیاتی (طغیان و کف کردن) از جمله محدودیت‌های این فرآیندها به شمار می‌رود. استفاده از تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی، به‌عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر برای جداسازی SO_2 مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی برای جداسازی SO_2 ، به پارامترهای مختلفی نظیر دبی گاز و مایع، غلظت SO_2 ورودی، طول و هندسه ماژول، ساختار و تخلخل غشا، نوع جاذب، غلظت جاذب، آب‌گریز بودن غشا، دما و فشار عملیاتی و حضور سایر ترکیبات در گاز ورودی بستگی دارد. به‌منظور تجاری‌سازی این فناوری، آنالیز عملکرد فرآیند تحت شرایط واقعی، توسعه ماژول جدید با ضریب انتقال جرم بهینه، پایداری غشا در طولانی‌مدت و توسعه خواص جاذب ضروری است.

کلیدواژه: گوگردزدایی، تماس دهنده غشایی، غشا الیاف توخالی، دود دودکش، پارامترهای عملیاتی

مقدمه

با توجه به افزایش آلودگی محیط‌زیست، به دلیل نیاز روزافزون بشر به تولید انرژی و توسعه صنایع مختلف، استفاده از روش‌های مؤثر برای حذف و یا کاهش آلاینده‌ها ضروری است. گاز دی‌اکسید گوگرد به‌عنوان یکی از آلاینده‌های گازی در اتمسفر محسوب می‌شود که از زمان انقلاب صنعتی، میزان انتشار آن

۱- هیئت علمی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: salijani@nri.ac.ir

۲- کارشناس پژوهشی گروه محیط‌زیست، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: zdelavar@nri.ac.ir

به محیط افزایش یافته است. SO_2 به‌عنوان یکی از منابع اصلی باران اسیدی به شمار می‌آید که به مدت ۱ تا ۷ روز می‌تواند در هوا باقی بماند و در این مدت با تبدیل شدن به سولفات و در مجاورت نور خورشید، باران اسیدی تولید کند [۱]. به‌علاوه، با توجه به سهم SO_2 در تشکیل ریزگردها، این گاز به‌عنوان آلاینده ثانویه نیز اثرات مخربی بر سلامت انسان و محیط‌زیست به همراه دارد [۲]. از سوی دیگر، دی‌اکسید گوگرد با جلوگیری از جذب نور خورشید و ممانعت از فتولیز اکسیژن، نقش بسزایی در تخریب لایه اوزون و سوراخ شدن آن دارد [۳].

گزارشی که اخیراً به چاپ رسیده نشان می‌دهد که ۴۹۱ منبع برای تولید SO_2 وجود دارد که سالانه ۳۰ تا ۴۰۰۰ کیلو تن SO_2 منتشر می‌کنند و در این میان، نیروگاه‌های حرارتی بیشترین سهم انتشار SO_2 را (۵۳٪) به خود اختصاص داده‌اند [۴]. غلظت SO_2 در گاز دودکش نیروگاه‌های حرارتی، ۰/۴-۰/۱ درصد حجمی معادل ۰/۳-۰/۱ درصد وزنی گزارش شده است [۵]، درحالی‌که بر اساس استانداردهای تعریف‌شده، مقدار مجاز SO_2 در هوا، ۷۵ ppb/hr تعیین شده است [۶]. بنابراین و با توجه به اثرات مخرب SO_2 بر سلامت انسان و محیط‌زیست، توسعه فناوری‌های مؤثر برای جداسازی دی‌اکسید گوگرد از منابع تولیدکننده آن ضروری است. فناوری‌های گوگردزدایی گاز دودکش (FGD^۱)، متداول‌ترین فناوری برای حذف SO_2 به شمار می‌آیند [۲]. در این روش که به‌عنوان فرآیند اسکرابر نیز شناخته می‌شود، گاز همراه با SO_2 به‌صورت اسپری، در تماس با جاذب قرار می‌گیرد و با جذب SO_2 ، گاز تصفیه می‌شود.

اگرچه فرآیندهای FGD، با حذف کامل SO_2 همراه هستند اما نیاز به فضای زیاد، هزینه بالای سرمایه‌گذاری، خوردگی و مشکلات عملیاتی (طغیان^۲ و کف کردن^۳) از جمله محدودیت‌های این فرآیندها

^۱ Flue Gas Desulfurization

^۲ Flooding

^۳ Foaming

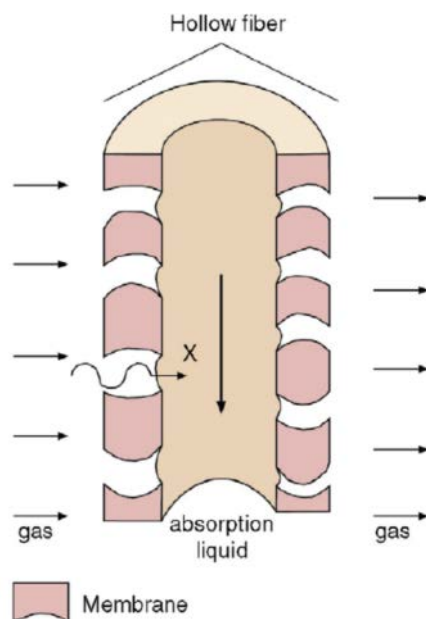
به شمار می‌رود [۷]. بنابراین تلاش‌هایی در جهت توسعه فناوری‌های مؤثر با وزن، حجم و انرژی کمتر و در عین حال بازدهی بالا صورت گرفته است. استفاده از تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی (HFMC)، به عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر در این راستا گزارش شده است [۸].

یک تماس دهنده غشایی الیاف توخالی یک غشا متخلخل است که امکان تماس و انتقال جرم بین دو فاز مایع / مایع یا مایع / گاز را فراهم می‌سازد، بدون اینکه نیاز به توزیع یک‌فاز در فاز دیگر باشد. انعطاف‌پذیری عملیاتی، عدم وابستگی جریان گاز و مایع به یکدیگر، نسبت بالای مساحت سطح به حجم، اندازه فشرده و Scale up خطی از ویژگی‌های این فرآیند محسوب می‌شود [۷]. با توجه به مزایای اشاره شده این روش در مقایسه با فناوری FGD، استفاده از این تماس دهنده‌ها برای حذف SO_2 می‌تواند به عنوان روشی نوین برای جداسازی آن از گاز دودکش مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله، ضمن بررسی اجمالی تماس دهنده‌های غشایی، اثر پارامترهای عملیاتی و خواص غشا بر جداسازی SO_2 از گاز دودکش توسط این روش بررسی شده است و چالش‌های موجود برای تجاری شدن این فرآیند به همراه پیشنهادها ارائه شده است.

۱- شناخت تماس دهنده غشایی الیاف توخالی

در سال‌های اخیر، استفاده از تماس دهنده‌های غشایی بدون نیاز به توزیع گاز، به عنوان گزینه‌ای برای تماس دو فاز گاز و مایع و جداسازی گازهای اسیدی مورد توجه قرار گرفته است [۹]. با استفاده از یک غشا با پیکربندی مناسب، نظیر الیاف توخالی، امکان تماس دو فاز مایع و گاز فراهم می‌شود و فصل مشترک دو فاز در منافذ غشا تشکیل می‌گردد و انتقال جرم در این فصل مشترک انجام می‌شود (شکل (۱)).

¹ Hollow Fiber Membrane Contactor



شکل (۱)- شماتیکی از تماس دهنده غشایی الیاف توخالی [۱۰]

بنابراین، برخلاف سایر روش‌های متداول نظیر میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس، نیروی محرکه برای جداسازی، غلظت است و به گرادیان فشار ناچیزی برای حفظ فصل مشترک در منافذ غشا نیاز است. حجم یک تماس دهنده غشایی به منظور استفاده در یک نیروگاه حرارتی ۶۴۵ MW، 250 m^3 برآورد شده است که در مقایسه با حجم ستون جذب متداول برای جداسازی SO_2 (9000 m^3)، بسیار ناچیز است [۱۰].

همان‌گونه که نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد، تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی در مقایسه با سایر روش‌های متداول جذب گاز، نسبت بالاتری از مساحت سطح به حجم را ارائه می‌دهند. بنابراین، نسبت به سایر روش‌های متداول جذب گاز، می‌توانند به طور مؤثری عمل کنند و اندازه واحدهای جذب و دفع گاز را به اندازه ۶۳ تا ۶۵ درصد کاهش دهند. این نتیجه به دلیل استفاده از غشاهای متخلخل میسر است. نسبت بالای سطح به حجم، کنترل مستقل دبی مایع و گاز بدون طغیان، کف کردن و یا هر مشکل

زیست محیطی، فصل مشترک مشخص مایع - گاز و انعطاف پذیری از جمله مزایای تماس دهنده های غشایی

گاز- مایع نسبت به سایر روش های متداول تماس دهنده گزارش شده است [۹].

جدول (۱)- سطح ویژه تعدادی از تماس دهنده های گاز - مایع

تماس دهنده	مساحت سطح ویژه (m^2/g)	مرجع
ستون حبابی	۱-۱۰	[۱۱]
ستون پر شده	۱۰۰-۸۰۰	[۱۲]
ستون دارای همزن مکانیکی	۵۰-۱۵۰	[۱۱]
تماس دهنده غشایی	۱۵۰۰-۳۰۰۰	[۱۳]

به هر حال، اگرچه تماس دهنده های غشایی گاز - مایع نسبت به دستگاه های متداول جذب گاز، مزایایی را ارائه می دهند اما این فناوری با محدودیت هایی نیز همراه است که نیاز به بررسی بیشتر و رفع این محدودیت ها وجود دارد تا بتوان از این فناوری در جذب گاز اسیدی استفاده کرد. حضور غشا یک مانع در برابر انتقال جرم محسوب می شود که چنین مانعی در ستون های جذب متداول وجود ندارد. این مقاومت، اثر منفی روی انتقال جرم و گزینش پذیری دارد. با کاهش ضخامت غشا و یا افزایش تخلخل آن، می توان مقاومت غشا را مینیمم کرد [۱۴، ۱۵]. در تماس دهنده های غشایی گاز - مایع، غشاهای الیاف توخالی در پوسته قرار می گیرند. غیریکنواخت بودن توزیع الیاف می تواند روی کانالیزه شدن جریان سیال و ایجاد جریان کنارگذر در سمت پوسته اثرگذار باشد و بنابراین فرآیند انتقال جرم کاهش می یابد. به علاوه، عبور سیال داخل الیاف به دلیل قطر کم الیاف، با محدودیت همراه است که این مسئله نیز روی انتقال جرم داخل الیاف اثر دارد.

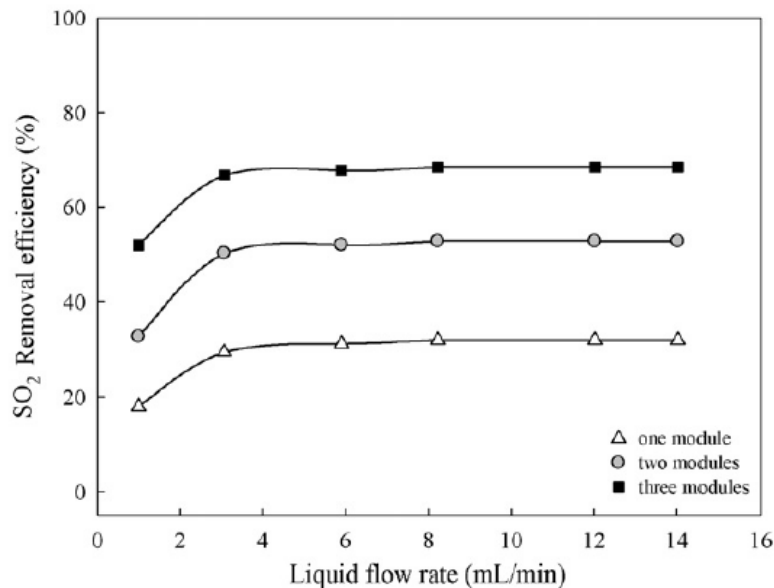
علاوه بر خواص غشا و پیکربندی ماژول، شرایط عملیاتی نظیر دما و فشار محلول جاذب، دبی گاز و مایع و غلظت نیز روی عملکرد جذب غشا به شدت اثر دارد. فشار مایع همواره باید بالاتر از فشار گاز باشد تا از تشکیل حباب داخل مایع جلوگیری شود. تشکیل حباب در مایع منجر به هدر رفتن ترکیبات گازی و ناپایداری عملیاتی می‌شود [۱۶، ۱۷]. از سوی دیگر، فشارهای بالای مایع نیز می‌تواند منجر به خیس شدن غشا در طولانی مدت شود. اگرچه، افزایش دمای جاذب می‌تواند روی سرعت جذب واکنش شیمیایی اثر مثبت داشته باشد، اما این مسئله باعث کاهش کشش سطحی مایع شده و در نتیجه غشا به آسانی خیس می‌شود و یا اینکه خواص آن در طولانی مدت تغییر می‌کند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، از تماس دهنده‌های غشایی گاز - مایع برای حذف گاز دی‌اکسید گوگرد از گاز دودکش نیز استفاده شده است که در ادامه به تحقیقات انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود.

۲- اثر پارامترهای عملیاتی و خواص غشا روی جداسازی SO_2 توسط تماس دهنده‌های غشایی

Park و همکارانش، اثر پارامترهای عملیاتی مختلف از جمله طول ماژول، دبی گاز و مایع، غلظت SO_2 در گاز ورودی، غلظت و ماهیت جاذب برای جداسازی SO_2 را توسط غشاء فیبر توخالی PVDF بررسی کردند [۷]. نتایج نشان می‌دهد که بازده حذف SO_2 در ابتدا با افزایش دبی مایع به شدت افزایش می‌یابد و سپس تقریباً ثابت باقی می‌ماند (شکل (۱)). این مسئله به این دلیل است که در دبی‌های پایین مایع، NaOH در سطح غشاء کم است و در نتیجه فیلم مایع، کنترل‌کننده انتقال SO_2 است. با افزایش دبی مایع، با توجه به کاهش مقاومت فاز مایع، انتقال SO_2 بیشتری صورت می‌گیرد. گروه دیگری از محققان، افزایش بازده SO_2 در دبی‌های بالای مایع را به افزایش سطح تماس مایع و گاز مربوط کردند [۱۸].

به علاوه، همان گونه که داده های شکل (۲) نشان می دهد با افزایش طول ماژول به اندازه دو تا سه برابر، بازده حذف SO_2 از ۳۲٪ به ۵۲/۸٪ رسیده و تا ۶۸/۵٪ افزایش می یابد. این مسئله به دلیل افزایش مساحت سطح غشا است.



شکل (۲)- اثر دبی مایع روی بازده حذف SO_2 در ماژول با طول مختلف [۷]

به علاوه، نتایج نشان داد که با تغییر غلظت SO_2 در محدوده ۲۰۰ - ۲۰۰۰ ppm، با توجه به اینکه دبی مایع ثابت و در نتیجه مقدار جاذب NaOH ثابت است، بازده حذف SO_2 کاهش می یابد. از سوی دیگر، محققان در این بررسی، دریافتند که با افزایش دبی گاز، بازده حذف SO_2 کاهش می یابد. این مسئله به دلیل کاهش مدت زمان اقامت گاز در دبی های بالا است که سرعت نفوذ SO_2 در غشا را کاهش می دهد. در این بررسی، اثر تعداد الیاف ها و طول آنها روی ضریب کلی انتقال جرم بررسی گردید. نتایج نشان داد که ضریب کلی انتقال جرم مستقل از این پارامترها است. به علاوه، اثر غلظت جاذب (NaOH) با تغییر غلظت آن در محدوده ۰.۰۱ - ۲ M بر روی حذف SO_2 بررسی شد. با توجه به تئوری فیلم برای انتقال جرم در فصل مشترک غشا، جذب گاز در داخل فاز مایع، در جاهایی که واکنش رخ می دهد، صورت می گیرد.

بنابراین با افزایش غلظت جاذب، بازده حذف SO_2 افزایش می‌یابد. به‌منظور بررسی نوع جاذب، در این کار از جاذب‌های مختلفی ($NaOH$ ، Na_2SO_3 ، Na_2CO_3 و $NaHCO_3$) استفاده شد. در میان این جاذب‌ها، Na_2CO_3 بهترین عملکرد را نشان داد. در جای دیگر نیز، Lee و همکارانش، اثر نوع جاذب را بر روی جذب SO_2 با غلظت ۴۰۰ ppm توسط غشا پلی سولفون با طول ۰/۲۹۴ m و قطر خارجی ۰/۰۶ m بررسی کردند و به نتیجه مشابه رسیدند [۱۹]. به‌علاوه، بررسی‌ها در این تحقیق نشان داد که افزایش دبی مایع، اندازه منافذ غشا و غلظت جاذب روی بازده حذف SO_2 اثر مثبت به همراه دارد. اثر دبی گاز و مایع بر بازده حذف SO_2 در یک تماس دهنده غشایی الیاف توخالی پلی‌پروپیلن نیز بررسی شده است [۲۰]. نتایج نشان داد که با افزایش دبی مایع و کاهش دبی گاز، سرعت نفوذ SO_2 افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش دبی گاز، منجر به افزایش سرعت انتقال جرم SO_2 نیز می‌شود که این مسئله به دلیل کاهش ضخامت لایه مرزی گاز در دبی‌های بالای آن است.

اثر دبی مایع روی بازده حذف SO_2 در جای دیگر، توسط Park و همکارانش بررسی گردید [۲۱]. آن‌ها دریافتند که زمانی که دبی فاز مایع به حدی می‌رسد که بتواند بر مقاومت فاز مایع غلبه کند (بالاتر از ۴ l/min)، سرعت جذب SO_2 توسط مقاومت فاز گاز و مقاومت غشا کنترل می‌شود. آن‌ها سرعت جذب SO_2 در تماس دهنده غشایی PVDF را بیش از سرعت جذب آن در ستون‌های دیواره مرطوب گزارش کردند. این مسئله به دلیل سطح تماس بالاتر گاز و مایع در تماس دهنده غشایی است. به‌علاوه، نتایج آن‌ها نشان داد که با افزودن PEG به غشا پلیمری، تخلخل سطح و داخل غشا افزایش یافته و در نتیجه سطح تماس گاز و مایع زیاد می‌شود که این مسئله منجر به حذف بهتر SO_2 می‌شود.

پارامترهای مربوط به ساختار منافذ غشا نیز روی ضریب انتقال جرم غشا و در نتیجه عملکرد آن برای جداسازی SO_2 اثر دارند. Li و همکارانش از یک ماژول غشایی الیاف توخالی نامتقارن PVDF برای

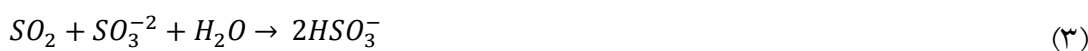
جداسازی SO_2 از نیتروژن، با غلظت ۳۰۰۰ ppb استفاده کردند [۲۲]. آن‌ها اثر اندازه منافذ، توزیع اندازه منافذ و درصد تخلخل مؤثر سطح را روی ضریب انتقال جرم غشا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اگر شعاع منافذ از $1\mu m$ کمتر باشد، اثر نفوذ ناسن روی ضریب انتقال جرم غشا ناچیز خواهد بود. در مورد غشا با اندازه منافذ غیریکنواخت، اگر متوسط اندازه منافذ کاهش یابد، ضریب نفوذ ناسن به‌طور قابل توجهی بر ضریب انتقال جرم غشا اثر دارد. بنابراین در مورد غشا با اندازه منافذ غیریکنواخت، به‌منظور طراحی ماژول غشا برای حذف گاز، توزیع اندازه منافذ باید در نظر گرفته شود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش ضریب نفوذ غشا، ظرفیت ماژول برای حذف SO_2 افزایش می‌یابد.

Jeon و همکارانش نیز نشان دادند که با افزایش تخلخل غشا، بازده حذف SO_2 افزایش می‌یابد. البته این مسئله به مواد سازنده غشا نیز بستگی دارد [۵]. به‌علاوه، اثر غلظت جاذب و نوع آن نیز روی بازده حذف SO_2 بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت جاذب ($NaOH$ و Na_2SO_3) از $0.2 - 0.05 M$ ، بازده حذف SO_2 از ۵۶٪ به ۸۸٪ افزایش می‌یابد. در غلظت‌های بالاتر جاذب، مولکول‌های بیشتری از SO_2 با یون‌های الکترولیت واکنش داده و در نتیجه بازده حذف افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که در غلظت‌های یکسان از جاذب‌ها، بازده حذف SO_2 با محلول آبی $NaOH$ بالاتر است [۵]. مکانیزم واکنش SO_2 با هر دو جاذب در معادلات (۱) تا (۳) داده شده است.

مکانیزم جذب SO_2 در محلول آبی $NaOH$:



مکانیزم جذب SO_2 در محلول آبی Na_2SO_3 :



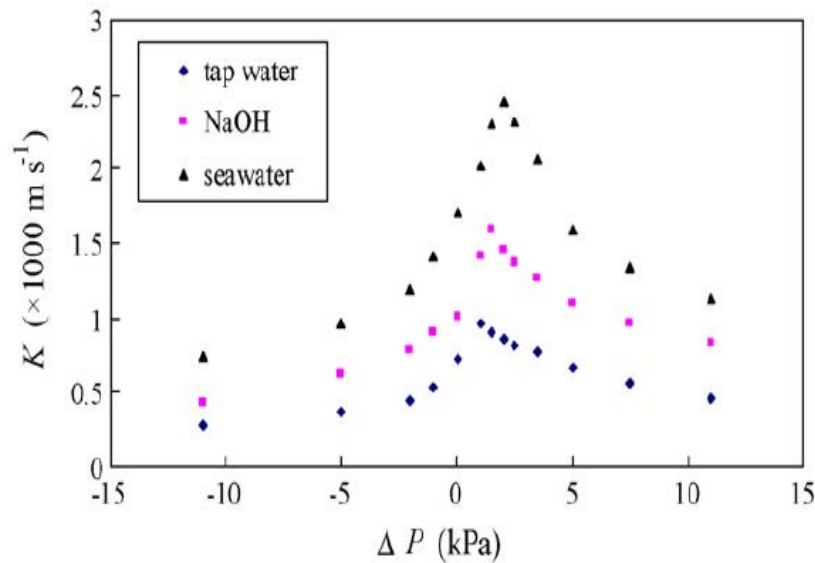
با توجه به مکانیزم‌های ارائه شده، مولکول‌های SO_2 به‌طور برگشت‌ناپذیر با یون‌های OH^- واکنش می‌دهند. اما واکنش یون‌های SO_3^{-2} با مولکول‌های SO_2 ، محدودکننده سرعت واکنش است.

اثر نوع جاذب بر حذف SO_2 توسط Sun و همکارانش نیز بررسی شده است [۲۳]. آن‌ها حذف دی‌اکسید گوگرد را در یک الیاف غشایی PP توسط آب دریا بررسی کرده و نتایج را با آب خالص و محلول NaOH مقایسه کردند. نتایج نشان داد که ظرفیت جذب آب دریا نسبت به محلول NaOH و آب خالص بالاتر است. این مسئله به دلیل حضور یون‌های کربنات در آب دریاست. زمانی که SO_2 در آب دریا جذب می‌شود، واکنش‌های زیر نیز اتفاق می‌افتد:



با توجه به واکنش‌های فوق، کمپلکس سیستم تعادلی دی‌اکسید کربن - آب - بیکربنات - کربنات باعث کاهش قلیائیت سیستم می‌شود. بنابراین، آب دریا، مقاومت کمتری را در برابر انتقال جرم ایجاد می‌کند و در نتیجه ضریب کلی انتقال جرم افزایش می‌یابد [۲۳].

به‌علاوه، نتایج (شکل (۳)) نشان می‌دهد که در صورتی که از آب دریا به‌عنوان جاذب استفاده شود، مازول غشا در اختلاف فشارهای بالا بین گاز و مایع نیز مقاومت می‌کند و عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهد. با توجه به رابطه لاپلاس - یانگ (معادله (۱))، فشار انتقالی به کشش سطحی جاذب وابسته است. آب دریا نسبت به آب خالص و NaOH، کشش سطحی بالاتری دارد و در نتیجه فشار انتقالی آن نیز بالاتر است. بنابراین، ضریب کلی انتقال جرم در صورت استفاده از آب دریا، در اختلاف فشارهای بالای گاز و مایع، همچنان بالا باقی می‌ماند.



شکل (۳) - اثر گرادیان فشار بین فاز گاز و مایع روی ضریب کلی انتقال جرم با جاذب‌های مختلف [۲۳]

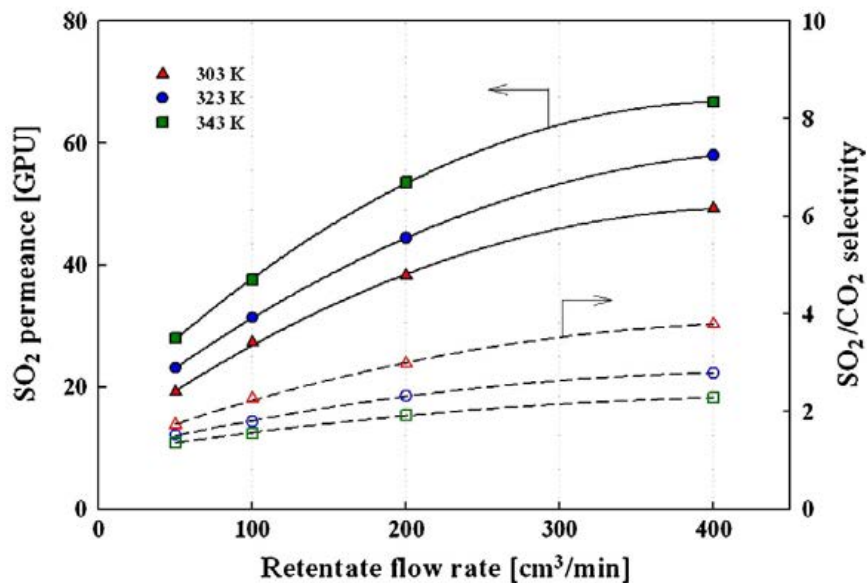
Luis و همکارانش، از مایع یونی ۱- اتیل - ۳- متیل ایمیدازولیوم اتیل ([EMIM][EtSO₄]) به‌عنوان جاذب در یک تماس دهنده غشایی الیاف توخالی سرامیکی استفاده کردند و عملکرد آن را با جاذب N,N-دی متیل آنیلین برای حذف SO₂ مقایسه نمودند [۲۲]. گزارش‌ها نشان می‌دهد که در روش‌های متداول اسکرابر تر، به ازای هر تن دی‌اکسید گوگرد تولیدشده، ۰/۸ - ۰/۶ kg حلال دی متیل آنیلین هدر می‌رود که این بدان معنی است که سالانه ۲۰ تن حلال وارد اتمسفر می‌شود [۲۲]. مایعات یونی از نمک‌هایی با نقطه ذوب کمتر از ۱۰۰ C هستند که فشار بخار بسیار پایینی دارند و در نتیجه مشکل آلودگی هوا در مورد آن‌ها وجود ندارد. به‌علاوه، نتایج نشان می‌دهد که با توجه به ویسکوزیته بسیار بالای مایع یونی در مقایسه با جاذب آمینی، غشا به‌اندازه ۴٪ خیس می‌شود. درحالی‌که در صورت استفاده از حلال آمینی، غشا به‌اندازه ۷۴٪ خیس خواهد شد [۲۲]. از سوی دیگر، در صورت استفاده از مایع یونی، مقاومت مایع در برابر انتقال جرم نسبت به جاذب آمینی بیشتر است و بنابراین ضریب کلی انتقال جرم پایین‌تر است. محققان در این بررسی دریافتند که وجود CO₂ در گاز ورودی، به‌صورت جزئی روی جذب دی‌اکسید گوگرد اثرگذار

است. این مسئله به دلیل واکنش‌پذیری CO_2 با جاذب یونی است و در نتیجه CO_2 با SO_2 برای جذب رقابت می‌کند.

Kim و همکارانش نیز اثر حضور سایر گازها را روی حذف SO_2 توسط یک الیاف غشایی کامپوزیتی بررسی کردند [۲۴]. نتایج نشان داد که افزایش دما باعث کاهش نفوذپذیری SO_2 خالص می‌شود. در حالی که در مورد مخلوط گازی حاوی 200 ppm دی‌اکسید گوگرد، 12% دی‌اکسید کربن و مابقی نیتروژن، شار نفوذی SO_2 با افزایش دما افزایش می‌یابد و این مسئله به دلیل پدیده پلاریزاسیون غلظتی^۱ است. پدیده پلاریزاسیون غلظتی بدین معنی است که غلظت یک عنصر در مخلوط به دلیل کاهش نفوذ سایر ترکیبات افزایش می‌یابد.

در بررسی دیگری که توسط Kim و همکارانش انجام شد، مشخص گردید که نفوذ SO_2 تحت شرایط مخلوط گازی (CO_2 و N_2) به‌طور قابل‌توجهی کمتر از گاز خالص است که این مسئله به دلیل رقابت نفوذکننده‌ها برای دسترسی به مکان‌های جذب است. به دلیل حضور سایر ترکیبات، دسترسی به مکان‌های جذب کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت نفوذ هر ترکیب در مقایسه با حالت خالص کاهش می‌یابد [۲۵]. شکل (۴)، نفوذ SO_2 در یک مخلوط گازی سه‌تایی را به‌صورت تابعی از دبی جریان برگشتی و دما در فشار عملیاتی ثابت نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که از آنجا که مخلوط گازی اساساً از نیتروژن تشکیل شده است، خواص نفوذپذیری مخلوط گازی به حلالیت وابسته نیست. بنابراین با افزایش دما، نفوذ SO_2 در مخلوط گازی سه‌تایی افزایش می‌یابد، در حالی که گزینش‌پذیری آن کاهش می‌یابد از آنجا که CO_2 و N_2 در مخلوط گازی حضور دارند و این دو گاز به‌راحتی از غشا عبور می‌کنند.

^۱ Concentration Polarization



شکل (۴) - اثر دما روی نفوذپذیری SO_2 و گزینش پذیری SO_2/CO_2 در مخلوط سه تایی گاز [۲۵]

محققان دیگری نیز اثر فشار را روی نفوذپذیری SO_2 به صورت خالص و به صورت مخلوط با CO_2

و N_2 بررسی کردند [۸]. آن‌ها دریافتند که نفوذپذیری SO_2 خالص با افزایش فشار، افزایش می‌یابد. این نتیجه به دلیل پدیده پلاستیک شدن پلیمر است. در این پدیده، گاز منجر به تورم پلیمر شده و برهم‌کنش بین بخش‌های مختلف زنجیره پلیمری کاهش می‌یابد و در نتیجه حجم آزاد افزایش می‌یابد، در نتیجه این فرآیند، نفوذپذیری افزایش می‌یابد.

جنس غشا به عنوان پارامتر مهم دیگری معرفی شده که می‌تواند روی عملکرد غشا اثرگذار باشد.

Kim و همکارانش، از یک تماس دهنده غشایی الیاف توخالی کامپوزیتی برای جداسازی SO_2 از مخلوط گازی استفاده کردند [۲۵]. غشاهای کامپوزیتی دارای یک لایه نازک جداسازی و یک پایه متخلخل هستند. در این کار تحقیقاتی، از پلی اترامید (PE) به عنوان پایه متخلخل و از پلی اتر-b-امید ($PEBAX^1$) به عنوان لایه جداکننده استفاده شده است. $PEBAX$ یک الاستومر ترموپلاستیک است که از یک بخش آمید سخت و

¹ Poly (ether-b-amid)

یک بخش اتر نرم و انعطاف‌پذیر تشکیل شده است. بخش سخت این الاستومر، باعث مقاومت مکانیکی، حرارتی و شیمیایی آن می‌شود و بخش نرم آن باعث بهبود نفوذپذیری و گزینش پذیری آن برای گازهای مختلف می‌شود. Kim و همکارانش در کار تحقیقاتی دیگری نیز به نتایج مشابهی رسیدند [۲۴]. آن‌ها در آن کار، از $PVC-g-POEM^1$ به‌عنوان لایه پوشش‌دهنده غشا کامپوزیتی PE استفاده کردند.

اخیراً Yu و همکارانش، حذف SO_2 را در یک ماژول تجاری با جریان متقاطع بررسی کردند [۲۶]. این ماژول تجاری Liqui-Cel Extra-Flow نام دارد که توسط شرکت Celgard LLC ارائه شده است. بازده حذف SO_2 ، در این ماژول تجاری، با نسبت دبی مایع به گاز $0.06-0.02$ ، بیش از ۹۹٪ گزارش شده است. این مقدار نسبت بسیار کمتر از نسبت دبی مایع به گاز در اسکراب‌های متداول است. در اسکراب‌ها، برای جلوگیری از طغیان، دبی گاز پایین نگه‌داشته می‌شود. همچنین آن‌ها دریافتند که با افزایش دبی مایع و کاهش دبی گاز، مشابه نتایج سایر محققان، بازده حذف SO_2 افزایش می‌یابد.

Luis و همکارانش، امکان استفاده از فرآیندهای غشایی را از لحاظ اقتصادی، برای جداسازی SO_2 از گاز دودکش بررسی کردند [۲۷]. آن‌ها این بررسی را با استفاده از غشا سرامیکی الیاف توخالی و مخلوط SO_2 و هوا انجام دادند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت SO_2 در ورودی، نسبت SO_2 تولیدی به ازای مساحت سطح غشا افزایش می‌یابد. با اعمال محدودیت‌های زیست‌محیطی آن‌ها نتیجه گرفتند که اگر خوراک حاوی SO_2 با غلظت پایینی باشد (به‌عنوان مثال 0.625 درصد حجمی) و هدف کاهش غلظت SO_2 تا 300 ppm (حد مجاز) باشد، غشا با مساحت سطح بسیار بالا موردنیاز است تا بتوان به بازده 99.4% رسید. مساحت بالای غشا منجر به افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌شود.

¹ Poly(vinyl chloride)-graft-poly(oxyethylene methacrylate)

در این بررسی، جذب با اسکرابر با روش تماس دهنده غشایی مقایسه شده است. این اسکرابر یک برج عمودی پرشده با سینی‌های مشبک یا آکنه افقی است. هزینه سالانه این فرآیند معادل ۳۶ تا ۹۱۰ فرانک به ازای تناژ SO_2 تولیدی است. هزینه سالانه فرآیند جذب با استفاده از تماس دهنده غشایی ۵۰ تا ۵۰۰ فرانک به ازای تناژ SO_2 تخمین زده شده است. بر اساس محاسبات انجام شده، نتایج نشان می‌دهد که اگر بازده کمتر از ۸۰٪ مدنظر باشد، فرآیند غشایی فناوری مؤثری است و هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری با هم برابر است [۲۷].

۳- نتیجه‌گیری

استفاده از تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی، به‌عنوان یکی از فناوری‌های مؤثر برای گوگردزایی گاز دودکش گزارش شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عملکرد تماس دهنده‌های غشایی الیاف توخالی برای جداسازی SO_2 ، به پارامترهای مختلفی نظیر دبی گاز و مایع، غلظت SO_2 ورودی، طول و هندسه ماژول، ساختار و تخلخل غشا، نوع جاذب، غلظت جاذب، آب‌گریز بودن غشا، دما و فشار عملیاتی و حضور سایر ترکیبات در گاز ورودی بستگی دارد. تاکنون از این فناوری برای جداسازی SO_2 در مقیاس صنعتی استفاده نشده است. اگرچه برخی کاربردهای صنعتی برای حذف گاز اسیدی توسط تماس دهنده‌های غشایی وجود دارد، اما تلاش‌های زیادی لازم است تا جنبه‌های مختلف این فناوری بررسی شود تا به مرحله تجاری‌سازی برسد. به‌منظور دستیابی به این هدف، پیشنهادهایی وجود دارد که می‌تواند در تحقیقات در نظر گرفته شود:

۱- پایداری غشا در طولانی‌مدت از لحاظ اقتصادی حائز اهمیت است. به‌منظور دستیابی به این

هدف، برخی معیارها از جمله بهبود ساختار و مواد سازنده غشا (تخلخل بالا با اندازه منافذ ریز،

آب‌گریزی بالا، پایداری شیمیایی و حرارتی، مقاومت مکانیکی) و توسعه خواص جاذب (غیرفراریت، کشش سطحی بالا، تمایل برای جذب گاز اسیدی، سازگاری شیمیایی با غشا و قابلیت بازیافت) می‌تواند در نظر گرفته شود.

۲- به‌منظور استفاده از تماس دهنده‌های غشایی، ملاحظات فنی و اقتصادی سیستم باید در نظر گرفته شود. این مسئله به‌ندرت در مقالات بررسی شده است.

۳- اگرچه خواص غشا و جاذب، فاکتورهای اصلی برای جذب گاز اسیدی هستند، پیکربندی ماژول نیز نقش مهمی را در بهبود انتقال جرم کلی ایفا می‌کند. بنابراین، توسعه ماژول جدید با ضریب انتقال جرم بهینه می‌تواند زمینه‌ای برای تحقیقات آینده محققان باشد.

به‌منظور تجاری‌سازی فناوری، آنالیز عملکرد فرآیند تحت شرایط واقعی ضروری است. جذب هم‌زمان گازهای اسیدی مختلف در دما یا فشار بالا می‌تواند اثر قابل توجهی روی فرآیند جذب در تماس دهنده غشایی داشته باشد. به‌هرحال، در اکثر کارهای انجام شده، از گاز اسیدی خالص و یا مخلوط با O_2 یا N_2 در دمای محیط و فشار پایین به‌عنوان گاز مدل در فرآیند استفاده شده است.

مراجع

- [1] Rall, D.P., 1974, Review of the health effects of sulfur oxides. Environmental health perspectives. 97.
- [2] Taylor, M.R., Rubin, E.S., and Hounshell, D.A., 2005, Control of SO₂ emissions from power plants: a case of induced technological innovation in the US. Technological Forecasting and Social Change. 6. 697-718.
- [3] Gillespie, A., Climate change, ozone depletion and air pollution: legal commentaries within the context of science and policy. 2006: Brill.

- [4] Fioletov, V.E., McLinden, C.A., Krotkov, N., Li, C., Joiner, J., Theys, N., Carn, S., and Moran, M.D., 2016, A global catalogue of large SO_2 sources and emissions derived from the Ozone Monitoring Instrument. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 18. 11497.
- [5] Jeon, H., Ahn, H., Song, I., Jeong, H.-K., Lee, Y., and Lee, H.-K., 2008, Absorption of sulfur dioxide by porous hydrophobic membrane contactor. *Desalination*. 1. 252-260.
- [6] Agency, U.S.E.P., 2011, Primary National Ambient Air Quality Standard for Sulfur Dioxide. Office of Air Quality Planning and Standards. 119. 35520-35603.
- [7] Park, H.H., Deshwal, B.R., Kim, I.W., and Lee, H.K., 2008, Absorption of SO_2 from flue gas using PVDF hollow fiber membranes in a gas-liquid contactor. *Journal of membrane science*. 1. 29-37.
- [8] Kim, K., Kim, J., and Lee, H., 2015, Hollow fiber membrane process for SO_2 removal from flue gas. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 3. 423-431.
- [9] Mansourizadeh, A. and Ismail, A.F., 2009, Hollow fiber gas-liquid membrane contactors for acid gas capture: a review. *Journal of hazardous materials*. 1. 38-53.
- [10] Klaassen, R., 2003, Achieving flue gas desulphurization with membrane gas absorption. *Filtration & Separation*. 10. 26-28.
- [11] Noble, R.D. and Stern, S.A., Membrane separations technology: principles and applications. Vol. 2. 1995: Elsevier.
- [12] Westerterp, K.R., Van Swaaij, W., Beenackers, A., and Kramers, H., 1984, Chemical reactor design and operation.
- [13] Kumar, P., Hogendoorn, J., Feron, P., and Versteeg, G., 2002, New absorption liquids for the removal of CO_2 from dilute gas streams using membrane contactors. *Chemical Engineering Science*. 9. 1639-1651.
- [14] Wang, K.Y., Chung, T.-S., and Gryta, M., 2008, Hydrophobic PVDF hollow fiber membranes with narrow pore size distribution and ultra-thin skin for the fresh water production through membrane distillation. *Chemical Engineering Science*. 9. 2587-2594.

- [15] Wang, D., Li, K., and Teo, W., 2000, Porous PVDF asymmetric hollow fiber membranes prepared with the use of small molecular additives. *Journal of Membrane Science*. 1. 13-23.
- [16] Poddar, T.K., Majumdar, S., and Sirkar, K.K., 1996, Membrane-based absorption of VOCs from a gas stream. *AIChE journal*. 11. 3267-3282.
- [17] Malek, A., Li, K., and Teo, W., 1997, Modeling of microporous hollow fiber membrane modules operated under partially wetted conditions. *Industrial & engineering chemistry research*. 3. 784-793.
- [18] Karoor, S. and Sirkar, K.K., 1993, Gas absorption studies in microporous hollow fiber membrane modules. *Industrial & engineering chemistry research*. 4. 674-684.
- [19] Lee, H.-K., Jo, H.-D., Choi, W.-K., Park, H.-H., Lim, C.-W., and Lee, Y.-T., 2006, Absorption of SO₂ in hollow fiber membrane contactors using various aqueous absorbents. *Desalination*. 1. 604-605.
- [20] Lv, Y., Yu, X., Tu, S.-T., Yan, J., and Dahlquist, E., 2012, Experimental studies on simultaneous removal of CO₂ and SO₂ in a polypropylene hollow fiber membrane contactor. *Applied energy*. 283-288.
- [21] Park, H.-H., Lim, C.-W., Jo, H.-D., Choi, W.-K., and Lee, H.-K., 2007, Absorption of SO₂ using PVDF hollow fiber membranes with PEG as an additive. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 4. 693-697.
- [22] Luis, P., Garea, A., and Irabien, A., 2009, Zero solvent emission process for sulfur dioxide recovery using a membrane contactor and ionic liquids. *Journal of Membrane Science*. 1. 80-89.
- [23] Sun, X., Meng, F., and Yang, F., 2008, Application of seawater to enhance SO₂ removal from simulated flue gas through hollow fiber membrane contactor. *Journal of Membrane Science*. 1. 6-14.
- [24] Kim, K., Hong, S., Kim, J., and Lee, H., 2014, Preparation and performance evaluation of composite hollow fiber membrane for SO₂ separation. *AIChE Journal*. 6. 2298-2306.

- [25] Kim, K., Ingole, P.G., Kim, J., and Lee, H., 2013, Separation performance of PEBA/PEI hollow fiber composite membrane for $SO_2/CO_2/N_2$ mixed gas. *Chemical Engineering Journal*. 242-250.
- [26] Yu, H., Li, Q., and Tan, Z., Absorption of Sulfur Dioxide in a Transversal Flow Hollow Fiber Membrane Contactor, in *Clean Coal Technology and Sustainable Development*. 2016, Springer. p. 393-399.
- [27] Luis, P., Garea, A., and Irabien, A., 2012, Environmental and economic evaluation of SO_2 recovery in a ceramic hollow fibre membrane contactor. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*. 151-154.

Effect of Operational Parameters and Membrane Properties on SO₂ Removal from Flue Gas Using Hollow Fiber Membrane Contactor

Somayeh Alijani, Zahra Delavar Moghadam

SO₂ emissions are known to cause detrimental impacts on human health and the environment. Electric power generating units account for the majority of SO₂ emissions. Various technologies exist that have been designed to remove SO₂ from flue gas produced by electricity generating plants. The wet scrubbing, known as flue gas desulfurization (FGD), is still the dominant process and has attained quite high SO₂ removal efficiency. However, they suffer from several disadvantages such as large space, high capital cost, corrosion and a variety of operational problems, e.g. liquid channeling, flooding, entrainment and foaming. A hollow fiber membrane contactor (HFMC) has proved as an emerging technology for absorption of toxic gases and has been tested for SO₂ removal. The results show that the performance of HFMC for SO₂ removal is associated with the various parameters including gas/liquid flow rate, initial concentration of SO₂, geometry module, porosity and material of membrane, liquid absorbent concentration, wetting characteristics of membrane, operational pressure and temperature and the presence of other components. In order to commercialize the technology, there is need to analysis the acid gas removal based on real gas stream conditions as flue gas or natural gas streams. The design of module with the enhanced mass transfer coefficient, the long-term stability of the membrane and the improved properties of absorbent are also required.

Key words: Desulfurization, Membrane Contactor, Hollow Fiber Membrane, Flue Gas, Operational Parameters

تویوتا از کود گاوی انرژی پاک تولید می‌کند

به گزارش همشهری آنلاین، شرکت خودروسازی ژاپنی تویوتا به‌تازگی قدم‌های جذابی در قلمرو منابع انرژی پاک و تجدید پذیر برداشته است.

بر اساس گزارش نیواطلس، شرکت تویوتا قصد دارد در ایالت کالیفرنیا آمریکا نیروگاهی بنا کند که می‌تواند گاز متان ایجادشده در کودهای گاوی را به آب، برق و هیدروژن تبدیل کند.

طرح این پروژه که Tri-Gen نام دارد در نمایشگاه خودروی لس‌آنجلس رونمایی شده است. این نیروگاه که قرار است در بندر لانگ‌بیچ در کالیفرنیا بنا شود، اولین نیروگاه تولید مولد برق و هیدروژن ۱۰۰ درصد تجدید پذیر تجاری در جهان به شمار می‌رود. تویوتا انتظار دارد این نیروگاه در سال ۲۰۲۰ به بهره‌برداری برسد.

قرار است این نیروگاه توانایی تولید انرژی روزانه موردنیاز ۲۳۵۰ خانه معمولی و سوخت هیدروژنی موردنیاز ۱۵۰۰ خودروی هیدروژنی را داشته باشد. تویوتا تخمین زده که این نیروگاه روزانه از توانایی تولید ۲,۳۵ مگاوات برق و ۱,۲ تن هیدروژن برخوردار خواهد بود. این مجموعه به یکی از بزرگ‌ترین ایستگاه‌های سوخت‌رسانی هیدروژنی جهان نیز مجهز خواهد بود.

تویوتا تمرکز سرمایه‌گذاری خود را روی فناوری سلول‌های سوختی قرار داده است، سلول‌هایی که از آن‌ها در ساخت خودروی میرای تویوتا و خودروی جدید این شرکت به نام Proect Portal استفاده می‌شود. هدف این شرکت کاهش شدید تأثیر فعالیت‌ها و محصولاتش بر محیط‌زیست است.

این شرکت به‌تازگی هدفی را برای خود تعیین کرده است که تا سال ۲۰۴۰ تولید موتورهای درون‌سوز سنتی را متوقف کند و تا سال ۲۰۵۰ نیز میزان آلودگی کربنی خودروهای خود را ۹۰ درصد کاهش دهد.

اعتیاد به فن‌آوری: واقعاً چرا نمی‌توانیم از صفحه موبایل خود چشم برداریم؟

ترجمه: سارینا یزدانی

مقدمه

مطلب زیر حاصل گفتگوی کلودیا دریفوس به‌عنوان خبرنگار با آدام آلتز به‌عنوان یک محقق است. آدام آلتز با سی‌وشش سال سن استادیار دانشکده اقتصاد استرن در دانشگاه نیویورک و کسی است که درباره روانشناسی و بازاریابی تحقیق می‌کند. بعلاوه آدام آلتز، یک روانشناس اجتماعی است که در کتاب جدید خود به نام "مقاومت‌ناپذیر: رشد فناوری اعتیادآور و موضوع در دام نگه‌داشتن ما" به تحقیق در رابطه با اعتیاد بسیاری از ما انسان‌ها شامل جوانان، نوجوانان و بزرگسالان به محصولات دیجیتال نوین پرداخته و در این خصوص هشدار می‌دهد. (آن‌هم اعتیاد نه به معنای سمبولیک بلکه به معنای واقعی کلمه معتاد شدن). ضمناً این مصاحبه در دفتر روزنامه نیویورک‌تایمز حدود دو ساعت زمان برده است ولی این گفتگو برای شفافیت بیشتر و ایجاز، کمی تصحیح و خلاصه شده است.

سؤال ۱- چه چیزی باعث شده است که شما فکر کنید که مردم به وسایل دیجیتال و رسانه‌های اجتماعی معتاد هستند؟

در گذشته ما فکر می‌کردیم اعتیاد چیزی است که به موادی مثل هرویین، کوکائین و نیکوتین مربوط می‌شود. امروزه ما با یک پدیده اعتیاد رفتاری مواجه هستیم. یک رهبر صنعت فناوری درباره آن به من گفت که مردم در حال حاضر نزدیک به سه ساعت در روز را مشغول کار کردن با موبایل‌هایشان هستند و این در حالی است که پسران نوجوان گاهی اوقات چندین هفته را تنهایی در اتاق‌هایشان در حال بازی با بازی‌های رایانه‌ای سپری می‌کنند. از سوی دیگر در موقعیتی هستیم که صاحبان اپلیکیشن اسنپ چت به این افتخار می‌کنند که کاربران این اپلیکیشن روزانه بیش از هیجده بار این برنامه را باز می‌کنند. اعتیاد رفتاری اکنون

به شدت زیاد شده است. بر اساس یک تحقیق که در سال ۲۰۱۱ انجام گرفت مشخص شد ۴۱ درصد از ما حداقل یک نوع از اعتیاد رفتاری را دارا هستیم. مسلماً در سال‌های اخیر میزان اعتیاد به این وسایل با زیاد شدن شبکه‌های اعتیادآور اجتماعی و تلفن‌های هوشمند و تبلت افزایش یافته است.

سؤال ۲- شما اعتیاد را چگونه تعریف می‌کنید؟

تعریفی که من از اعتیاد دارم این است که اعتیاد چیزی است که شما در کوتاه‌مدت از انجام دادن آن لذت می‌برید و در درازمدت به شما آسیب می‌زند ولی شما به هر صورت به خاطر وسواس بی‌اراده، این کار را بازهم انجام می‌دهید. ما از نظر بیولوژیکی مستعد وابسته شدن به این گونه وسایل هستیم. اگر شما کسی را مقابل یک ماشین بازی قمار قرار دهید، مغز این انسان از لحاظ کیفی همانند زمانی به نظر می‌رسد که هرورین مصرف می‌کند.

اگر شما کسی هستید که به صورت وسواس گونه بازی‌های رایانه‌ای را انجام می‌دهید (البته نه هرکسی بلکه منظور کسانی است که به یک بازی خاص معتاد هستند) همان لحظه‌ای که کامپیوتر، بازی را شروع می‌کند مغز شما همانند شخص معتاد به مواد مخدر، عمل خواهد کرد.

ساختمان مغز ما طوری است که اگر یک تجربه باعث فشار دکمه مناسبی در مغز شود، موجب ترشح دوپامین می‌شود که با ترشح این ماده احساس خوشی کوتاه‌مدتی به ما دست می‌دهد. اما اشکال اینجاست که در طولانی‌مدت نوعی مقاومت ایجاد می‌کند و باعث می‌شود ما به آن ماده بیشتر احتیاج پیدا کنیم. به عبارت دیگر باعث شکسته شدن اراده ما خواهد شد.

سؤال ۳- آیا طراحان فناوری‌های جدید در جریان کاری که انجام می‌دهند، هستند؟

کسانی که بازی‌های رایانه‌ای را خلق می‌کنند، نمی‌گویند که به دنبال خلق کردن اعتیاد هستند. آن‌ها فقط می‌خواهند که شما بیشترین زمان ممکن را صرف محصولاتشان بکنید. بعضی از بازی‌های داخل گوشی‌های هوشمند نیازمند پرداخت پول از جانب شما برای ادامه دادن بازی هستند. طراحان این بازی‌ها امکان برنده شدن مکرر را به شما می‌دهند. شبیه همان ماشین‌های بازی موجود در قمارخانه‌ها که گاه‌به‌گاه به شما امکان برد می‌دهند تا شما را علاقه‌مند نگه‌دارند. جای تعجب نیست که تولیدکنندگان این بازی‌ها اغلب نسخه‌های مختلفی از یک طرف بازی را منتشر می‌کنند و امتحان می‌کنند که کدام نسخه مقاومت مصرف‌کننده را بیشتر می‌شکند و به مدت طولانی‌تری توجه آن‌ها را به خود جلب می‌کند که البته این روش نتیجه نیز داده است. من برای کتابی که در حال نوشتن آن بودم با یک مرد جوان مصاحبه کردم که به مدت چهل و پنج روز متوالی جلوی کامپیوتر نشسته بود و مشغول بازی با بازی‌های رایانه‌ای بود. بازی کردن و سواس گونه باقی عمرش را نیز نابود کرده بود و در نهایت کارش به یک کلینیک ترک اعتیاد به نام "شروع دوباره" در ایالت واشنگتن کشیده شد. و اینجا جایی است که در درمان وابستگی به این بازی‌ها تخصص دارند.

سؤال ۴- آیا ما به قانونی برای حفاظت از خودمان احتیاج داریم؟

در نظر گرفتن قانون ایده بدی نیست. حداقل برای بازی‌های رایانه‌ای در چین و کره‌ی جنوبی چندین طرح پیشنهادی به نام قوانین سیندرلا وجود دارد. هدف از این طرح‌ها، محافظت کردن بچه‌ها در مقابل بازی‌های خاص بعد از نیمه‌شب است. در سراسر آسیای شرقی اعتیاد به بازی‌ها و اینترنت یک مشکل بسیار جدی است. در چین میلیون‌ها جوان با این مشکل مواجه‌اند و برای رفع این مشکل کمپ‌هایی دارند که والدین، فرزندان خود را برای ماه‌ها به آنجا می‌فرستند و در آنجا درمانگران، آن‌ها را با یک برنامه ترک اعتیاد درمان می‌کنند.

سؤال ۵- چرا شما ادعا می کنید که مقدار زیادی از این وسایل الکترونیکی جدید باعث این اعتیاد رفتاری شده اند؟

خوب شما به رفتار مردم نگاه کنید. بر اساس یک نظرسنجی ۶۰ درصد از بزرگسالان می گویند که موبایل هایشان را هنگام خواب در کنار خود می گذارند. نظرسنجی دیگری حاکی است که نیمی از پاسخ دهندگان ادعا کرده اند که در طول شب ایمیل هایشان را باز می کنند.

بعلاوه این ابزارهای جدید به نوعی تبدیل به ابزارهای کامل در خدمت رسانه های اعتیادآور شده اند. یعنی اگر بازی ها و شبکه های اجتماعی قبلاً فقط روی کامپیوترهای خانه های ما بودند، در حال حاضر وسایل همراهی که همواره با ما هستند این امکان را به ما می دهند که در همه جا به آن ها دسترسی داشته باشیم.

امروزه ما بی وقفه در حال سر زدن به شبکه های اجتماعی مان هستیم که باعث به هم ریختن کار و زندگی روزانه ما می شود. به جای اینکه متوجه باشیم که در کجا قدم می زنیم و با چه کسانی صحبت می کنیم دچار این وسواس شده ایم که در اینستاگرام چند تا لایک می گیریم.

سؤال ۶- این کار چه آسیبی به ما می زند؟

اگر شما روزانه به مدت سه ساعت سرگرم گوشی تان باشید، این مدت زمانی است که شما از برخورد چهره به چهره با مردم محروم شده اید. گوشی های هوشمند هر چیزی را که شما در لحظه از آن لذت می برید به شما می دهد ولی این چیزها به ابتکار عمل احتیاج ندارند. شما هیچ وقت نیاز ندارید چیزی را به خاطر بسپارید چون همه چیز در گوشی شما و روبروی شماست.

شما احتیاج ندارید که توانایی به خاطر سپردنتان را افزایش دهید و نیازی به خلق ایده‌های جدید ندارید. من موضوع جالبی را فهمیدم و آن این است که استیو جابز در یک مصاحبه در سال ۲۰۱۰ گفته بود که بچه‌هایش از آی پد استفاده نمی‌کنند.

در حقیقت تعداد باورنکردنی از غول‌های فناوری ساکن در دره سیلیکون اجازه نمی‌دهند که بچه‌هایشان به ابزارهای خاصی نزدیک شوند. در دیگر منطقه مهم شهر یک مدرسه خصوصی وجود دارد که در این مدرسه به بچه‌ها اجازه استفاده از هیچ نوع فناوری مثل آیفون یا آی پد داده نمی‌شود. موضوع جالب درباره این مدرسه این است که ۷۵ درصد از والدین بچه‌ها خود در زمره مدیران اجرایی شرکت‌های صاحب این فناوری‌ها هستند. آگاهی از وجود این مقررات در این مدرسه من را به سمت نوشتن کتاب "مقاومت‌ناپذیر" سوق داد که در این محصولات چه چیزی هست که از دیدگاه متخصصان آن‌قدر احتمال خطرناک بودنشان می‌رود.

سؤال ۷- شما یک پسر یازده‌ماهه دارید، وقتی با او هستید چگونه با فناوری برخورد می‌کنید؟

من سعی می‌کنم وقتی در کنار او هستم از موبایلم استفاده نکنم. در واقع این یکی از بهترین راه‌هایی است که من را مجبور کرده که از گوشی خودم زیاد استفاده نکنم.

سؤال ۸- آیا خود شما به این وسایل اعتیاد دارید؟

بله فکر می‌کنم به آن‌ها اعتیاد دارم. من هم گه گاهی به بازی‌های مختلف روی تلفنم اعتیاد پیدا کرده‌ام. همانند بسیاری از مردم شرکت‌کننده در نظرسنجی اشاره‌شده در قبل، من نیز معتاد به ایمیل‌هایم هستم و نمی‌توانم از نگاه کردن به آن‌ها دست‌بردارم و اگر قبل از خواب ایمیل‌هایم را رسیدگی نکنم، نمی‌توانم بخوابم.

هرچه تلاش می‌کنم این کار را انجام ندهم، اما باز موبایلم را در کنار تختم می‌گذارم. فنآوری برای زنجیر کردن ما به خود طراحی شده است. ایمیل‌ها انتهای ندارند.

برنامه‌های ارتباط جمعی بی‌پایان هستند. سایتی مانند توئیتر مطالبی دارد که پایان‌ناپذیرند. شما می‌توانید بیست و چهار ساعته پای آن‌ها بنشینید و هیچ‌وقت کارتان تمامی ندارد و شما مجدداً برای چیزهای بیشتری به این شبکه‌ها برخواهید گشت.

سؤال ۹- اگر شما بخواهید به دوستی برای ترک اعتیاد رفتاری‌اش توصیه‌ای بکنید، چه چیزی را پیشنهاد می‌دهید؟

من پیشنهاد می‌کنم که آن‌ها در مورد اینکه چگونه به فنآوری اجازه می‌دهند به زندگی‌شان حمله کند، دقت بیشتری داشته باشند و مهم‌تر هم اینکه آن‌ها باید این ابزارها را خاموش کنند.

من از این ایده خوشم می‌آید، برای مثال به مدت شش شب به ایمیل‌هایشان پاسخ ندهند. عموماً من می‌گویم که وقت بیشتری برای گذراندن در طبیعت پیدا کنند. مثلاً به‌طور رودرو با کسی بنشینند و مکالمه طولانی بدون حضور هیچ‌گونه تکنولوژی داشته باشند. باید ساعاتی از روز را طوری گذراند که انگار دهه ۱۹۵۰ است و یا درجایی بنشینید که نتوان گفت در چه عصری قرار دارید و نمی‌توانید بگویید در چه زمانی هستید. نباید همیشه خیره به صفحه‌ی گوشی‌هایتان باشید.

مرجع: نشریه نیویورک تایمز - ۶ مارس ۲۰۱۷

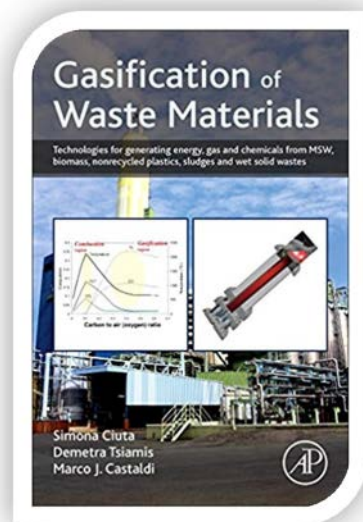
Title: Gasification of Waste Materials: Technologies for Generating Energy, Gas, and Chemicals from Municipal Solid Waste, Biomass, Nonrecycled Plastics, Sludges, and Wet Solid Wastes 1st Edition

Edited by by Simona Ciuta, Demetra Tsiamis , Marco J.Castaldi

عنوان فارسی: گازی سازی مواد زائد: فن آوری ای برای تولید انرژی، گاز و مواد شیمیایی از ضایعات جامد شهری، زیست توده، پلاستیک های غیرقابل بازیافت، زائادات جامد مرطوب

سال انتشار: ۲۰۱۶

ناشر : ASCE



این کتاب به بررسی جدیدترین فن آوری های گاز سازی توسعه یافته در جهان که برای تبدیل جامدات و ضایعات به انرژی و گاز سنتز و محصولات شیمیایی ارائه شده می پردازد. نویسندگان جنبه های ترمودینامیکی، مکانیسم های واکنش و محدودیت های سینتیکی ناشی از استفاده از ضایعات جامد شهری، زیست توده، پلاستیک های غیرقابل بازیافت، لجن و مواد جامد مرطوب را به عنوان مواد ورودی به عنوان خوراک فرایند بررسی کرده اند. تفاوت مابین فناوری های مختلفی نظیر پیرولیز، گازی سازی، پلاسم، گازی سازی هیدروترمال و سامانه های فوق بحرانی در این کتاب بررسی شده اند.

این کتاب در ۷ فصل تدوین شده است که در آن اطلاعات کاملی در مورد جدیدترین فن آوری های ارائه شده در زمینه گازی سازی، نمونه واحدهای آزمایشگاهی و مقیاس بزرگ توسعه یافته، آلاینده های این فناوری ها، نیازهای حیاتی توسعه این فناوری ها و ارزیابی اقتصادی آنها ارائه شده است.