بررسی روند تغییرات وقوع طوفان‌های گرد و غبار در ایران (۱۳۸۸-۱۳۹۹)

ضیاءالدین شعاعی*[۱] ، سیروس کریمی[۲]، علی رضا آذریان[۲]،

*۱- عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، zshoaei@gmail.com

۲- معاونت پایش، اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان

چکیده

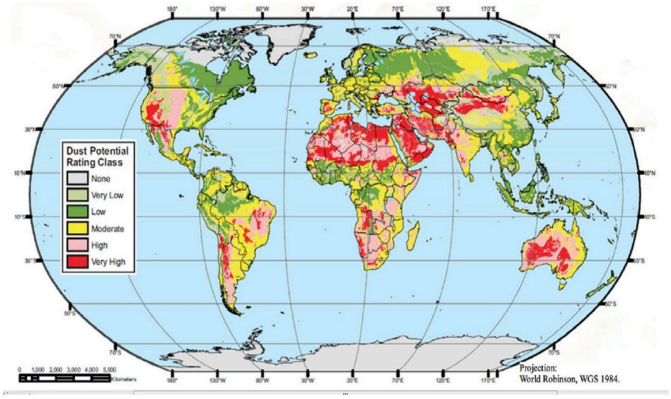
بر اساس جمع‌بندی مطالعات موجود و تجزیه تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده، بخوبی قابل استنتاج است که عامل اصلی تشدید طوفان‌های گرد و غبار استمرار این پدیده خشکسالی‌های مستمر و در پی آن، مدیریت نامناسب منابع آب در منطقه بوده است. متاسفانه بهره‌برداری از منابع آب همواره با حجمی ثابت و بدون توجه به تاثیر خشکسالی‌ها و کاهش دریافت سالانه آب از منابع بارشی صورت می‌پذیرد. استمرار این رویه و عدم مدیریت مصرف متناسب با کسری آب، در بیشتر مناطق عامل اصلی از بین رفتن پوشش زمین، رها شدن زمین‌های کشاورزی، خشک شدن تالاب‌ها و سرانجام فراهم شدن شرایط مستعد وقوع طوفان‌های گرد و غبار است. تشدید طوفان‌های گرد و غبار در ایران و منطقه غرب آسیا از دهه ۸۰ (۱۳۸۲ به بعد) با افزایش قابل توجهی مواجه گردیده است. گرچه از دیرباز عامل اصلی وقوع طوفان‌های شن و به ندرت طوفان‌های گرد و غبار، اقلیم خشک و نیمه خشک بوده است، ولی تشدید طوفان‌های گرد و غبار در دو دهه اخیر و بخصوص در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ در منطقه غرب آسیا و ایران چه از نظر تعداد روزهای آلوده به گرد و غبار و چه از نظر غلظت غلظت گرد و غبار در هوا به حدی بوده که موضوع طوفان‌های گرد و غبار به عنوان یکی از مهمترین چالش زیست محیطی اعلام گردیده است. مرور منابع و بررسی‌های اولیه بخوبی نشان داده است که کاهش شدید بارش‌ها در طی دو دهه اخیر و قبل از آن، به همراه عدم تغییر در الگوی مصرف و عدم تدوین برنامه‌های بهره‌برداری از آب متناسب با کاهش منابع در ایران و همسایگان غربی، رابطه معنی داری با افزایش و تشدید طوفانه‌های گرد و غبار داشته است. در این مقاله ضمن مرور علل تشدید طوفان‌های گرد و غبار در دو دهه اخیر، تعداد روزهای گرد و غباری دردو دوره ۵ ساله منتهی به سال ۱۳۹۴ و ۵ سال منتهی به سال ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی بخوبی نشان داد که روند افزایشی و کاهشی بارش‌ها در منطقه، تاثیر مشهودی بر روی تعدادروزهای گرد و غباری داشته و شدت طوفانهای گرد و غبار داشته است.

واژه های کلید: گرد و غبار، مدیریت آب، بارش، روند تغییرات

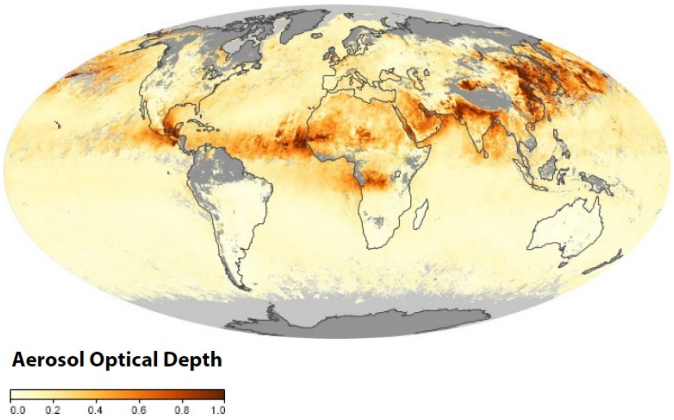
مقدمه

طوفان‌های شن (Sand Storm) و گرد و غبار (Dust Storm) از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی در کمربند خشک جهان بوده است. این کمربند از شمال آفریقا تا غرب آسای و شرق جین امتداد دارد (شکل ۱). در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ ، تشدید طوفان‌ها گرد و غبار از لحاظ شدت، وسعت و تکرار در منطقه غرب آسیا بخصوص در بازه زمانی ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ چه از نظر تعداد روزهای آلوده به گرد و غبار و چه از نظر شدت و غلظت آن به حدی بوده است که موضوع طوفان‌های گرد و غبار را در زمره مهمترین چالش زیست محیطی قرار داده است (شکل ۲). کشور ایران با پوشش نسبتا وسیع اقلیم خشک و نیمه خشک از دیرباز همیشه تحت تاثیر طوفان‌های شن و گرد و غبار قرار داشته است. به دنبال کاهش شدید میزان بارش در منطقه غرب آسیا و خشک شدن تالاب‌ها، کاهش وسعت زمین‌های زیر کشت، مدیریت نامتناسب آب و زمین با شرایط خشکسالی، تشدید وقوع طوفان‌های گرد و غبار را به دنبال داشته است. افزایش وسعت عرصه‌های تولید کننده طوفان‌های گرد و غبار از منشاء داخلی و کشورهای همسایه غربی ایران، به حدی بوده است که در ایران نیز این پدیده به عنوان یکی از بلایای طبیعی مورد توجه ستاد مدیریت بحران قرار گرفته است. مطالعات اولیه حکایت از این واقعیت

دارد که بخش اعظم طوفان‌های گرد و غبار تاثیرگذار بر استانهای غربی، دارای منشاء خارجی و عمدتا از کشورهای عراق، سوریه اردن و در مواردی عربستان سعودی بوده است. این بلای نوظهور علاوه تخریب اراضی، موجب ایجاد محیط نامناسب زندگی برای ساکنان این مناطق، تهدیدی جدی برای سلامت مردم، آسیب‌های جدی به اقتصادی و تولیدات کشاورزی و دامداری شده است(شکل ۳).



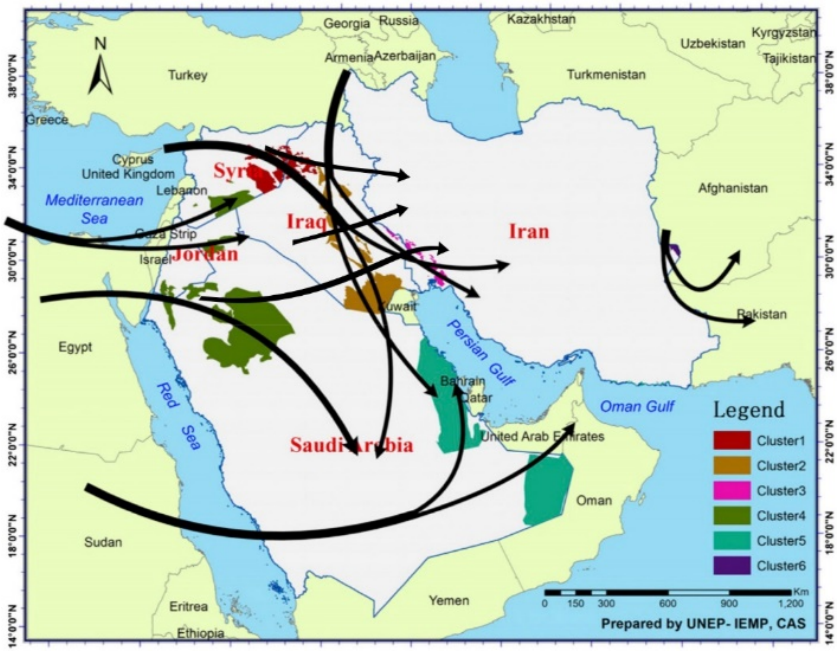
شکل ۱- پتانسیل وقوع وقوع طوفان‌های گرد و غبار در سطح کره خاکی (DTF, 2013)



شکل ۲- نقشه پوشش جهانی طوفان‌های گرد و غبار، مدل محاسبه ضخامت توده ذرات معلق در هوا بر اساس عمق دید در نیمکره شمالی که عمدتاً در یک باند وسیع از شمال آفریقا، غرب آسیا تا چین گسترش یافته اند (NASA ، 2014). برای مشاهده مدل متحرک و تجزیه و تحلیل حرکت رنگ‌ها به وبگاه https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MODAL2_M_AER_OD مراجعه شود.

تشدید طوفان‌های گرد و غبار

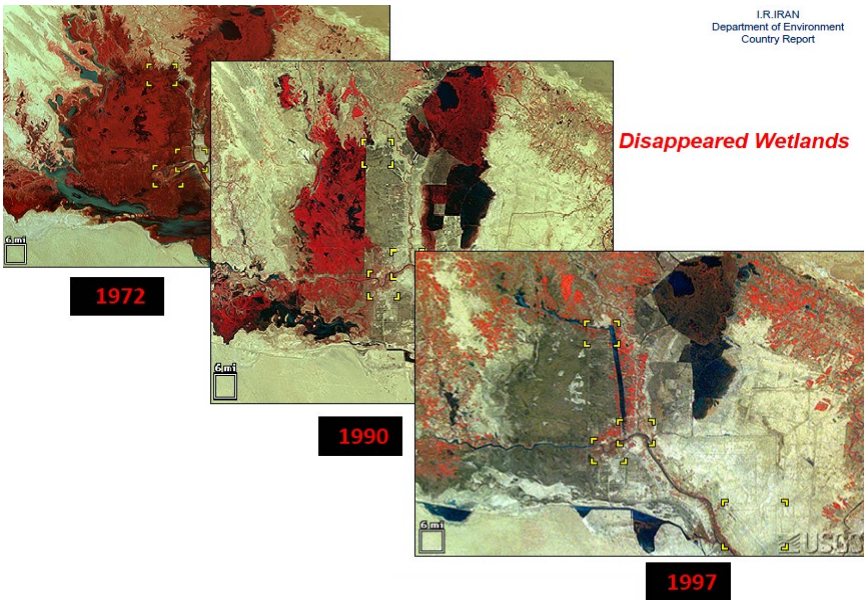
برر سی منابع حکایت از این واقعیت دارد که اولین عامل موثر در ت شدید گرد و غبار در بازه ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴، وقوع خ شک سالی طولانی اســت که در طول یک دهه منطقه را تحت تاثیر قرارداده و مســتعد تشــدید طوفان‌های وقوع پدیده گرد و غبار نموده اســت. به منظور برر سی نقش میزان بارش‌ها و وقوع خ شک‌سالی بر افزایش طوفان‌های گرد و غبار، ابتدا حو ضه‌هایی که در آن‌ها کانون‌های جدید گرد و غبار ت شکیل و یا کانون‌های موجود قدیمی گسترش قابل توجهی دا شته‌اند باید مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. در کنار اثر این مو ضوع، همچنین نقش مواردی نظیر نگاه یک سویه به مدیریت منابع آب در سر شاخه ها با ایجاد سدهای ذخیره‌ای و انحرافی و ایجاد اختلال در چرخه طبیعی آب در سطح حو ضه‌های داخلی و حو ضه‌های م شترک مرزی که در خ شکیدگی کانون های تجمع آب مثل آبگیرها و تالاب‌ها نقش مهمی داشته‌اند، باید مورد بررسی قرار گیرد.



شکل ۳- مسیر جابجایی طوفان‌های گرد و غبار در کشورهای همسایه ایران و خوشه‌های منشاء گرد و غبار (Cao et al., 2015) ، (بازنگری توسط شعاعی۱۳۹۳)

البته باید اشاره نمود که طوفان‌های گرد و غبار و تشدید آن در دو دهه اخیر در مناطق مختلف دارای علت‌های متنوعی می‌تواند باشد. بطور مثال عامل اصلی تشدید طوفان‌های گرد و غبار در شرق کشور و شمال استان سیستان و بلوچستان، مدیریت یکجانبه آب در سرشاخه‌های حوزه آبخیز هامون و احداث سدها و بندهای انحرافی متعدد در کشور افغانستان و در مسیر رودخانه‌های ورودی به این تالاب بین‌المللی است. مشابه همین رویه با مقیاسی بسیار بزرگتر، کنترل آب در سرشاخه‌های رودخانه‌های دجله و فرات توسط کشور ترکیه است، که متاسفانه بدون رعایت حقوق بین‌المللی و رعایت حقابه های پائین دست و ظرفیت کافی برای کنترل ۱۰۰٪ آب رودخانه فرات و ۶۵٪ آب رودخانه دجله آینده مبهمی را برای محیط زیست منطقه ترسیم کرده است. بیم آن می‌رود تا در آینده و پس از آبگیری سدهای احداث شده منطقه با بحران‌های عظیم زیست محیطی و طوفان‌های گرد و غبار مواجه گردد که در این فرآیند مناطق غرب ایران نیز تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. لذا تاکید می‌گردد که جهت مقابله با پدیده طوفان‌های گرد و غبار، لازم است ابتدا عامل اصلی وقوع آن شناسایی گردد، و سپس تلاش گردد تا با برنامه‌ریزی لازم عامل تشدید کننده آن حذف گردد. در موارد فوق‌الذکر، اصلاح نظام مدیریت منابع آب و احیای تالاب‌های پائین دست از اهم اقدامات می‌تواند باشد. در فاصله سال های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۹، مجموع آب شیرین دو رودخانه دجله و فرات بیش از ۱۱۴ کیلومتر مکعب کاهش داشته است که این رقم کاهش پس از هندوستان دومین کاهش بزرگ منابع آب شیرین در جهان محسوب می شود. بر اساس مطالعات انجام شده در همین فاصله خشکیدگی بیش از ۹۴٪ از وسعت تالاب های بین النهرین کاملا قابل اثبات است. که این منطقه بزرگترین تقویت کننده طوفان‌های گرد و غبار عبوری از منطقه است که بر اثر جریان بادهای غربی و شمالغربی شکل میگیرد (شکل ۴).

در بعد بین‌المللی و در راستای کنترل طوفان‌های گرد و غبار با منشاء خارجی، همکاری‌های دو جانبه و چند جانبه منطقه ای ضروری است. برنامه‌های مشترک باید همراه با ارائه راهکارهائی موثر و عملیاتی با مشارکت کلیه کشورهای در بر دارنده کانون‌های تولید کننده گرد و غبار و کشورهای تحت تاثیر باشد و در آن الزامات قانونی با کمک نهادهای بین‌المللی دیده شود. با عنایت به اینکه تشدید پدیده گرد و غبار در یک بازه زمانی طولانی شکل گرفته، طبعا تدوین راهکارهای مقابله و عملیاتی نمودن آنها نیاز به زمانی طولانی داشته، ولی اجرای عملیات اضطراری برای تدوین برنامه‌های سازگاری و حفظ سلامت مردم باید در اولویت قرار گیرد.



شکل ۴- تغییرات سطح تالاب‌ها در بین‌النهرین بر اثر کاهش سطح آب رودخانه‌ای دجله وفرات

بررسی شدت گرد و غبار

وقوع طوفان‌های شن و گردوغبار با روند متناسب با شرایط خاص هر اقلیم دارای ویژگی‌هائی است که مردم در طول سالیان دراز روش‌های سازگاری با آن را تجربه کرده اند. ولی تشدید این طوفان‌ها چه از لحاظ تعداد روزهای آلوده و نا سالم و چه از نظر غلظت ذرات PM10 و PM2.5 در دهه دهه منتهی به سال ۱۳۹۴، مشکلات زیادی را برای زندگی مردم منطقه غرب کشور ایجاد کرده است. به عنوان مثال، بر اساس سنجش‌های انجام شده توسط ایستگاه‌های سازمان حفاظت محیط زیست که بر اساس سنجش مستقیم ذرات انجام می‌شود، غلظت آلاینده PM10 و PM2.5 در منطقه شهرستان اهواز در ۱۵ تا ۲۲ بهمن ماه ۱۳۹۳ به میزان ۱۰۰۰۰ میکروگرم بر متر مکعب رسید. بررسی‌ها نشان دهنده این واقعیت است که بطور معمول در ۸ استان مرزی غربی که تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار با منشاءهای خارجی قراردارند، غلظت این آلاینده ذرات گرد و غبار (PM10 و PM2.5) بین ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میکروگرم/مترمکعب متغیر است، که از سطح هشدار (۱۵۰ میکروگرم/مترمکعب) بسیار فراتر است. همچنین پایش‌های انجام شده در دو دهه گذشته در سطح کشور نشان می‌دهد که میزان این ذرات در هوای تهران در حدود ۱۵ برابر حد مجاز، در قم ۲۰ برابر، در اهواز ۶۰ برابر و در اراک به ۱۵ برابر حد مجاز رسید (شعاعی، ۱۳۹۳).

در گزارش ارائه شده به اجلاس تغییرات اقلیمی (COP18, 2012) بانک جهانی اعلام نمود که خشکسالی طولانی در منطقه و کاهش منابع آب شیرین در منطقه خاورمیانه و شمال آفریقا به عنوان یکی از چالش های عمده و مهم این منطقه می‌باشد. در گزارشی سازمان ناسا (NASA, 2013) اعلام نمود که بر اساس تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، در بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸ کاهش محسوس و کم سابقه منابع آب رودخانه‌های مهم منطقه از جمله دجله و فرات که میان ۴ کشور ترکیه، عراق ، سوریه و ایران مشترک هستند مشاهده می‌شود. شاید در مجموع بتوان ادعا کرد که منطقه خاورمیانه در طی دهه گذشته یکی از کم سابقه‌ترین روندهای کاهش منابع آب شیرین را پشت سرگذاشته است. در این گزارش تاکید شده است که در حالی که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۴۵ تقاضای مصرف آب شیرین در خاورمیانه ۶۰ درصد افزایش یابد اما طبق مطالعات انجام شده منابع آب شیرین خاورمیانه تا سال ۲۰۵۰ حتی به رقمی ۱۰ درصد کمتر از میزان کنونی خواهد رسید. بنابراین مدیریت منابع آب در منطقه در مدیریت این بحران نقش کلیدی ایفا می‌کند. در قطعنامه مصوب مجمع عمومی سازمان ملل در سال ۲۰۱۶ (UNGA, 2016) به وضوح مسئله طوفان‌های گرد و غبار را یک بحران فرامرزی نامیده و ضمن تقاضا از کشورها برای همکاری مشترک زیر مجموعه‌های سازمان ملل را مکلف به تهیه گزارش و ارائه برنامه نموده است.

دلایل عمده کاهش سهم سرانه آب در منطقه را می‌توان افزایش تقاضا به دلیل افزایش جمعیت و تغییر شدید الگوی مصرف مردم، سوء

مدیریت آب و عدم توجه به مدیریت حوضه‌ای آب و آبخیز و روند ناپایدار مدیریت منابع آب، سوء مدیریت منابع اعم از منابع سطحی و زیر زمینی و نیز بروز خشکسالی کم سابقه سال ۱۰ ساله اخیر در منطقه غرب آسیا و ایران دانست. یکی از اثرات مشهود کمبود منابع آب در منطقه رها شدن زمین‌های کشاورزی، خشک شدن مخازن سد ها و آب بندان‌های مصنوعی، تشدید فشار و بهره برداری بیش از حد از جنگل ها ومراتع، خشک شدن تالاب ها است که تشدید بیابان زایی و طوفان‌های گرد و غبار را بدنبال دارد.

وقوع طوفان‌های گرد و غبار علاوه بر تاثیر مستقیم بر زندگی روزمره مردم و اخلال در زندگی خارج از منزل، بر بخش کشاورزی اعم از زارعت، باغبانی، دامداری، و منابع طبیعی، محیط زیست و بهداشت و سلامت کشور مشکلات عدیده‌ای را فراهم کرده است. در زمینه بهداشت و سلامت یافته‌های پژوهشگران نشان می‌دهد که تماس طولانی مدت با ذرات ریزگرد و غبار ابتلا به سرطان ریه و بیماری‌های قلبی را می‌تواند افزایش دهد. استنشاق هوای آلوده به ذرات معلق و گرد و غبار باعث نفوذ این هوا به کیسه‌های هوایی شده و بی نظمی ضربان قلب، حملات قلبی و مشکلات تنفسی، سردردهای شدید و مزمن، حساسیت و ضعف در بینایی و بیماری‌های پوستی را ایجاد می‌کند. استمرار این روند بنا بر اظهار نظر متخصصین سلامت ، منجر به حادتر شدن بیماری‌های قلبی و عروقی شده و خطرات جدی برای سلامتی کودکان و سالمندان را به همراه دارد.

در بخش کشاورزی، تاثیر طوفان‌های گرد و غبار دارای ابعاد متفاوتی است. وقوع طوفان‌ها در واقع یک نوع فرسایش بادی است که حاصل آن باعث برداشت خاک غنی سطحی و از بین رفتن نیتروژن و کربن خاک و مواد ارگانیک و مغذی خاک است، که در نهایت منجر به کاهش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد. از دیگر آثار این فرسایش تسریع و توسعه بیابان‌ها است که خود زمینه تشدید طوفان‌های گرد و غبار را فراهم می‌کنند. کاهش جذب انرژی خورشید در گیاهان زراعی و باغبانی موجب اختلال در فوتوسنتز و در نهایت کاهش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی می‌شود. از مناطق غربی و شرق کشور گزارشاتی مبنی بر کاهش تولیدات باغی از جمله خرما در نخیلات خوزستان و سیستان و بلوچستان واصل شده است. همچنین در گزارشات واصله از استان‌های غرب کشور به کاهش شدید تولید عسل به دلیل تاثیر ذرات گرد وغبار بر کاهش گلدهی گیاهان و نشست گرد و خاک بر روی گل‌ها اشاره شده است. تاثیر بر ترافیک شامل کاهش دید و افزایش تصادفات، اختلال در پرواز هواپیماها و حمل و نقل جاده‌ای از جمله خساراتی است که برآورد اقتصادی دقیقی هنوز از آن صورت نگرفته است. تعطیلی مراکز آموزشی در سطوح مختلف، موسسات تولیدی و اقتصادی، ادارات و مراکز خدماتی هم از دیگر خسارات مستقیم وقوع طوفان‌های گرد و غبار است. در گزارشاتی اشاره گردیده است که پدیده غبار از طریق جذب و پراکنش اشعه خورشیدی باعث گرم شدن هوای زمین نیز می‌شود، همچنین از طریق تغییر دما و دخالت در تشکیل هسته‌ها، روی پتانسیل باران‌زایی ابرها نیز موثر است (Goudie et al. 2001). در این مقاله ضمن بررسی روند تشدید طوفان‌های گرد و غبار به بررسی علل اصلی آن اشاره می‌شود.

تنوع اقلیمی در منطقه غرب آسیا از جمله ایران بسیار بالا بوده به گونه‌ای که اختلاف دمای هوا در زمستان میان گرم‌ترین و سردترین نقطه گاهی به بیش از ۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد. میانگین دمای ایران ۱۸ درجه سلسیوس است که نسبت به میانگین ۱۵ درجه‌ای جهانی ۳ درجه گرمتر است. میزان متوسط بارندگی ایران در حد ۲۵۰ میلی‌متر تقریباً یک سوم میانگین جهانی (۸۶۰ میلیمتر) و ۳۵ درصد متوسط بارندگی آسیا (۷۳۲ میلیمتر) و نیز پتانسیل میزان تبخیر و تعرق آن حدود سه برابر میانگین جهانی است. در نتیجه، ایران در کنار بارش کم از گرمای بالا و شدت تبخیر نیز برخوردار است. بطور کلی ایران را می توان به هشت ناحیه دمایی به شرح زیر تقسیم نمود. ناحیه گرم جنوب غربی، سرد دامنه ای، سرد کوهپایه‌ای، گرم کرانه‌های خلیج فارس، معتدل دشت‌سری، معتدل خزری، گرم دشتی و ناحیه سرد کوهستانی که به ترتیب میانگین دمای سالیانه آنها ۲۴/۷، ۱۴/۶، ۹/۴، ۲۷/۰، ۱۷/۲، ۱۶/۷، ۲۰/۲، ۱۲/۱ درجه سانتی گراد است. تفاوت شدید دمای شب و روز در کویر کاملا مشهود است و گاهی به ۷۰ درجه سلسیوس می رسد. روزهای بسیار داغ و شب های سرد و منجمد، فرایندی مداوم و همیشگی است که باعث یخبندان و ذوب متناوب و در نتیجه افزایش شدید تخلخل در لایه سطحی خاک می شود. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و بر خورداری از نواحی کوهستانی گسترده، دارای تنوع اقلیمی مختلفی است بطوری که نواحی با شرایط اقلیمی بسیار خشک تا بسیار مرطوب را شامل می‌شود. در ایران مناطقی با بارندگی حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر (در حاشیه غربی دریای خزر) و مناطقی با میزان بارندگی کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر (در نواحی خشک مرکزی و جنوبی) و کمتر از ۲۵ میلی‌متر (در کویر لوت) وجود دارد. به طور کلی، حدود ۹۰٪ مساحت کشور از بارندگی کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر برخودار می باشد. بنابراین، بخش وسیعی از مساحت ایران دارای اقلیمی خشک و نیمه خشک است. سالانه حدود ۷۱ درصد از ریزش‌های جوی کشور بدون اینکه

مورد استفاده قرار گیرد به صورت تبخیر و تعرق از سطح زمین، جنگل‌ها، مراتع، دیم زارها و پیکره‌های آبی تلف می‌شوند. در مناطق بیابانی حتی ممکن است تا ۹۵٪ درصد بارندگی‌ها بلافاصله و یا کمی پس از بارندگی تبخیر و به اتمسفر برگردد. در نتیجه، کمبود بارش، توزیع نامتوازن آن و دمای بالا سبب شده است تا در مناطقی که میزان بارش بسیار اندک می‌باشد بیابان‌های وسیع با پتانسیل بالای ایجاد گرد و غبار پدید آید.

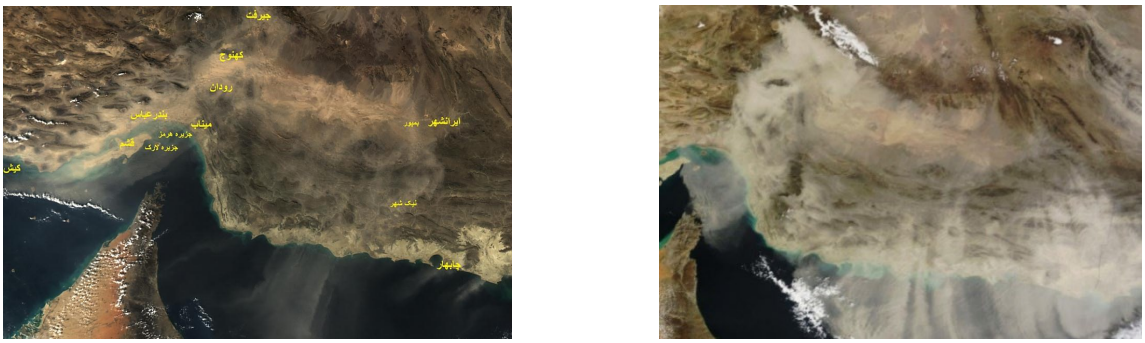
از کل مساحت ۱۶۴ میلیون هکتاری کشور، ۳۲ میلیون هکتار آن نواحی بیابانی است. براساس آمار موجود ۱۰۰ میلیون هکتار از این سرزمین‌ها در معرض خطر بیابان‌زایی می‌باشند که ۷۵٪ آن بوسیله فرسایش آبی، ۲۵٪ تخریب بوسیله فرسایش بادی و سایر اشکال تخریب همچون شور شدن شکل گرفته‌اند. مساحت تپه‌های ماسه‌ای فعال کشور ۵ میلیون هکتار و حجم کل ماسه‌زارهای کشور را ۱۳ میلیون هکتار می‌باشد. در حالیکه کشور با مقدار سالیانه ۲ میلیارد تن فرسایش روبرو است، نسبت مساحت ناحیه بیابانی به کل مساحت کشور ۶۱٪ بوده که این مقدار بیش از ۳ برابر نسبت اراضی بیابانی به سطح خشکی‌های جهان است. متوسط حجم بارش سالیانه ۴۳۰ میلیارد متر مکعب است که در مواقع خشکسالی و سال‌های استثنائی به ۱۸۶ میلیارد مترمکعب هم کاهش می‌یابد. بررسی آمار فوق نشان می دهد که مناطق زیادی از کشور ایران دارای پتانسیل بالا در ایجاد طوفان‌های گرد و غبار و ماسه است. بطور کلی، می‌توان انواع خاک‌های ایران را به لحاظ بافت در گروه‌های عمده ذیل قرار داد. خاک‌هایی که در آنها اثر هوازدگی مکانیکی نسبت به سایر عوامل ایجاد کننده غالب بوده و نیز خاک‌های تکامل نیافته با درصد بالای قطعات گراول و شن که خاک غالب منطقه محسوب می‌شوند. آنتی‌سول‌ها و اریدی‌سول‌ها در این دسته جای می‌گیرند. از مجموع خاک‌های ایران، آنتی‌سول مجموعا با مساحت تقریبی ۳۳۴۶۹ هزار هکتار معادل ۲۰/۶۲ ٪ از مساحت کشور را در برگرفته‌اند. اریدی‌سول‌ها خاک‌های بخش اصلی مناطق بیابانی را تشکیل می‌دهند و با وسعت ۳۰۴۳۴ هزار هکتار از نظر مساحت دومین رده در سطح کشور بوده و بیش از ۱۸ درصد خاک‌های کشور را شامل می‌شوند. پوشش گیاهی در سطح این رده از خاک‌ها پراکنده و مواد آلی خاک نیز اندک است. دسته دیگر خاک‌هایی هستند که عمدتا از تخریب و انحلال سازندهای زمین‌شناسی سست بالادست پدید می‌آیند که خاک‌های کفه‌های نمکی و دق‌های رسی را تشکیل می‌دهند. این خاک‌ها غالب در کویرهای مرکزی و بعضی نقاط بیابان‌های شرق و جنوب شرق کشور مشاهده می‌شوند. مشخصه بارز این نوع خاک‌ها شور و قلیایی بودن و درصد بالای ذرات در اندازه سیلت و رس است و اغلب فعالیت‌های گرد و غباری نسبتا شدید در سطح این خاک‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به خصوصیات خاک‌های بیابان‌های ایران، وقوع رخداد طوفان‌های گرد و غبار از دیر باز جزو خصوصیات ذاتی منطقه بوده است. شدت طوفان‌های گرد و غبار از گذشته در برخی از کشورهای غرب آسیا از جمله عراق، اردن، سوریه، شبه جزیره عربستان و کویت به حدی بوده است که این پدیده جزئی از زندگی مردم تلقی می‌شده است. ولی آنچه که این پدیده را در طی دهه اخیر در صدر توجهات قرار داده است، افزایش تعداد وقوع طوفان‌های گرد و غبار و روزهای آلوده در منطقه و افزایش غیر قابل تصور شدت و غلظت گرد و غبار است. گزارشات دریافتی از استان‌ها نشان می‌دهد که در برخی از استان‌ها نظیر خوزستان، ایلام و سیستان و بلوچستان تعداد روزهای گرد و غباری به چندین برابر در طی دهه اخیر رسیده است(شکل ۵ و ۶). تصاویر نشان داده شده در شکل های ۴ و ۵ به همراه مدل جابجایی ارائه شده در شکل ۳ نشان دهنده منشاءهای متنوع گرد و غبار تاثیر گذار بر کشور ایران است.

مسیر این طوفان‌های گرد و غبار تابعی از جریان‌های غالب بادهای منطقه است. بطور کلی پهنه کشور ایران تحت تأثیر چندین سامانه گرد و غبار خارجی قرار دارد:

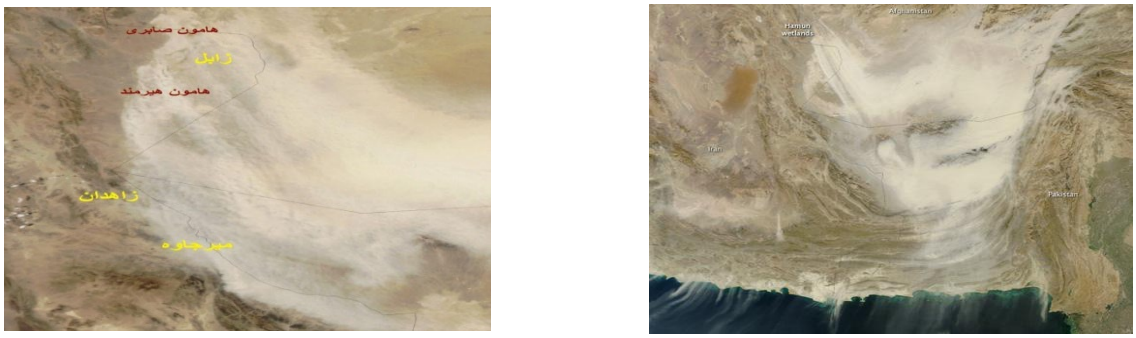
اول: سامانه گرد و غباری که تحت تاثیر بادهای غربی تولید شده و استان‌های جنوبی و غربی را تحت تاثیر قرار می دهد. این سامانه از منشاءهای شرق سوریه، غرب عراق، مرکز عراق و منطقه بین‌النهرین بارگیری کرده و در صورت داشتن انرژی لازم، وارد ایران شده و ضمن تاثیرگذاری بر استان‌های غرب کشور در برخی مواقع تا ایران مرکزی و تهران نیز ادامه پیدا می‌کند.

دوم: سامانه جنوبی است که معمولا حاصل تغییر جهت جریان‌های شمالی و شمال غربی در داخل خاک عربستان بوده و به همین علت گرد و غبار را از داخل عربستان به ایران منتقل کرده و در صورت مساعد بودن شرایط از جنوب استان خوزستان، استان هرمزگان و بوشهر نیز بارگیری می‌نماید.

سوم: سامانه شرقی و جنوب شرقی است که اغلب با زمان وقوع بادهای ۱۲۰ روزه سیستان نیز همراه است. این جریان از شمال استان سیستان و بلوچستان وارد و پس از بارگیری از تالاب هامون شمال استان سیستان و بلوچستان را تحت تاثیر قرار داده و در برخی مواقع تا خلیج فارس و کشورهای ساحل جنوبی آن ادامه پیدا می‌کند.



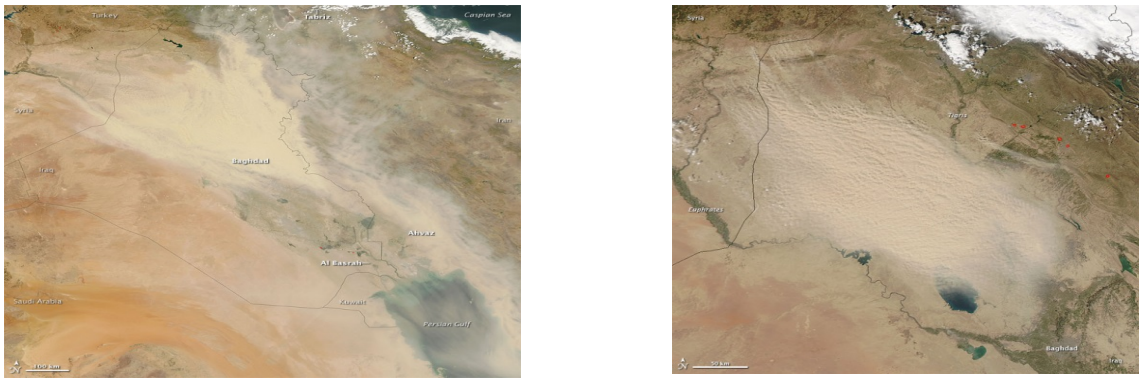
الف: طوفان ایجاد شده در اثر بادهای شمال غربی از منشاء جنوب استان کرمان و سیستان و بلوچستان (20/02/2010، راست) (11/22/2003، چپ)



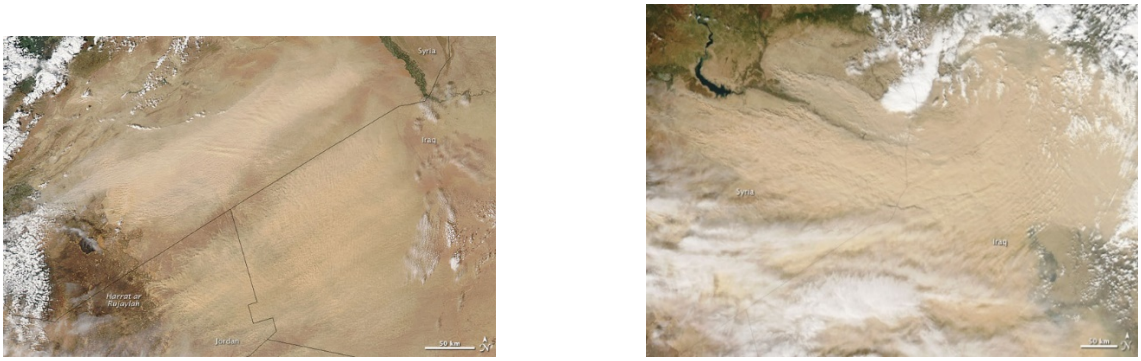
ب: طوفان گرد و غبار کانون‌های جنوب شرق ایران، تصویر مادیس ۲۰/۱۲/ ۲۰۱۲ (راست)، ۲۰۰۸/۱۲/۱۴ (چپ) منطقه مرزی ایران، پاکستان و افغانستان

شکل ۵- نمونه‌هایی از تصاویر ماهواره‌ای طوفان‌های گرد و غبار با منشاء داخلی و مناطق مرزی کشور

سامانه‌های گرد وغباری دیگری در نواحی ایران مرکزی و جنوب کرمان شکل می‌گیرد. زبانه های این سامانه در جنوب کرمان و منطقه جازموریان بارگیری کرده و طوفان‌های گرد و غبار جنوب کرمان را شکل داده و به سمت جنوب استان امتداد پیدا می کند. همچنین در عبور باد از روی کویرهای مرکزی ایران همواره غبارها و توفان‌های گرد و خاک و شن، بسته به تندی و جهت باد در حاشیه کویر وجود دارند. یکی دیگر از عوامل تشدید طوفان‌های گرد و غبار، عدم مدیریت منابع آب کاهش یافته به موارد اساسی مرتبط با سلامت محیط زیست مثل عدم رها سازی حق‌السهم تالاب‌های بزرگ است. این مسئله که در نوع خود یک سوء مدیریت ناشی از مسائل پیچیده سیاسی و فرهنگی در منطقه است، در هر دو بخش غرب و شرق کشور ما مشکلات متعددی را در مقوله تشدید طوفان‌های گرد و غبار ایجاد نموده است. در شرق کشور علاوه بر مشکلات ناشی از خشکسالی، متاسفانه عدم توجه همسایه شرقی به ضرورت حفظ و احیای تالاب هامون به عنوان یک سرمایه بین‌المللی، سطح وسیعی از تالاب را به عرصه تولید گرد و غبار بخصوص در ایام بادهای موسوم به بادهای ۱۲۰ روزه تبدیل کرده است.



الف: گرد و غبار منشاء گرفته از مناطق شمال و مرکز عراق



ب: گرد و غبار تولید شده در اثر بادهای غربی از سمت شرق کشور سوریه و اردن

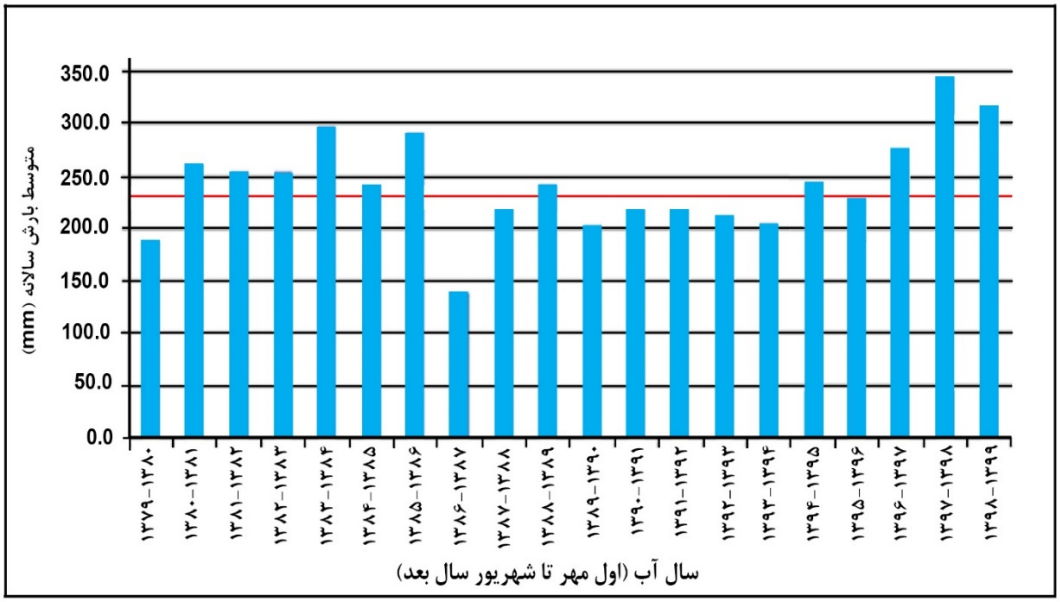
شکل ۶- تصاویری از طوفان‌های گرد و غبار با منشاء خارجی تاثیر گذار بر کشور ایران

بررسی تغییر روند

ایران در منطقه‌ای قرار دارد که متوسط دریافت بارش سالانه آن تا قبل از خشکسالی اخیر به حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال می‌رسید. در حال حاضر میزان متوسط بارندگی ایران در حد ۲۳۶ میلی‌متر گزارش شده است که این میزان تقریباً یک سوم میانگین جهانی (۸۶۰ میلیمتر) و ۳۵ درصد متوسط بارندگی آسیا (۷۳۲ میلیمتر) و نیز پتانسیل میزان تبخیر و تعرق آن حدود سه برابر میانگین جهانی است. بر این اساس کل دریافت سالانه بر اساس متوسط دراز مدت با احتساب آمار ۲۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۲ به میزان ۴۳۰ میلیارد متر مکعب رسیده است. بررسی آمار ۴۵ ساله نشان می‌دهد که در یک دوره خشکسالی حاد در دهه ۴۰ میزان دریافت بارش کشور در یک سال به کمتر از ۲۰۰ میلیارد متر مکعب تنزل کرده است، در حالی‌که در یک تر سالی در دهه ۵۰، کل دریافت بارش به حدود ۵۸۰ میلیارد متر مکعب نیز رسیده است. ملاحظه می‌گردد که تناوب تر سالی و خشکسالی در ایران یک پدیده کاملا طبیعی و از خصوصیات اقلیم این منطقه است. متاسفانه در ۲۳ سال اخیر میزان دریافت بارش سالانه در کشور به شدت کاهش پیدا کرده به طوری‌که در ۱۵ سال منهی به سال ۱۳۸۲ دریافت کل بارش تقریبا در در حد سطح متوسط بوده است. همانطور که در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است، متاسفانه دربین ۱۵ سال آبی اخیر (۱۳۸۰-۱۳۹۵) در اغلب سال‌های آبی متوسط بارش در کشور در حد و یا پایین تر از حد متوسط دراز مدت بوده است.

طبیعی است که این میزان کاهش در طول یک بازه دراز مدت، اثرات مستقیم و غیر مستقیمی بر شرایط زمینی دارد که تشدید طوفان‌های گرد و غبار را به دنبال داشته است. البته در این مطالعه فرض بر این است که به دلیل موقیت جغرافیایی و تاثیر پذیری کشورهای مولد گرد و غبار نظیر سوریه و عراق و در برخی مواقع اردن، از سیستم‌های باران‌زای غربی، بطور نسبی میزان بارندگی مشابه در سال‌های متوالی دارند. بررسی آمار قبل از سال ۸۰ حکایت از وقوع یک دوره ۱۳ ساله خشکسالی دارد که اثر این دوره خشکسالی در شروع دوره تشدید گرد و غبار از سال ۱۳۸۲ در ایران و کشورهای همسایه غربی کاملا قابل رصد است. شروع طوفان‌های شدید و متناوب گرد و

غبار در دهه ۱۳۸۰ و به دنبال آن استمرار خشکسالی تا سال ۱۳۹۴ و استمرار طوفان‌های گرد و غبار حکایت از رابطه مستقیم و معنا دار میزان گرد و غبار و وقوع این چالش زیست محیطی دارد.



شکل ۷- متوسط کشوری میزان بارش در طی ۲۰ سال آبی اخیر

بحث و نتیجه گیری

از جدول ۱ که بر اساس اطلاعات پایش شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست و اداره کل محیط زیست اهواز تنظیم گردیده است روند تاثیر خشکسالی و کاهش شدید بارش بر تعداد روزهای گرد و غباری قابل اثبات است. این اطلاعات به دلیل موقعیت دستگاه سنجنده نصب شده در منطقه بیشتر شامل گرد و غباری است که با منشاء خارجی استان‌های غربی بخصوص استان‌های خوزستان را تحت تاثیر قرار میدهد، میشود. همانطور که ملاحظه می‌گردد تعداد روزهای گرد و غباری اعم از روزهای پاک، روزهای قابل قبول، روزهای ناسالم برای افراد حساس، روزهای ناسالم برای همه، روزهای بسیار ناسالم و روزهای خطرناک رابطه معنا داری با روند بارش‌ها (شکل ۷) دارد.

همانطور که در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است، با گذر از دوره کم بارش منتهی به سال ۹۴-۹۳ منطقه وارد یک دوره نسبتا تر شده است، بطوریکه بارش متوسط کشور و منطقه همسایگان غربی با ۲۴۱ میلی‌متر بارندگی در سال آبی منتهی به شهریور ۱۳۹۵ رسید. که میزان بارش‌های کشور در مقایسه با متوسط بلند مدت ۲ درصدی و نسبت به سال قبل رشد ۲۲ درصدی افزایش را تجربه کرد. سال آبی بعد نیز به همین روال شاهد افزایش بارش با یک شیب ملایم بودیم. بطوریکه منتهی به شهریور ۱۳۹۶ میزان بارش نزدیک به متوسط دراز مدت یعنی حدود ۲۳۰ میلیمتر رسید.

استمرار سال‌های ترسالی، در سال آبی منتهی به شهریور ۱۳۹۷ با افزایش چشمگیر نسبت به سال قبل به متوسط ۲۷۷/۶ میلیمتر رسید، که افزایش حدود ۲۰ درصدی نسبت به سال قبل را نشان می‌دهد. خوشبختانه در سال آبی منتهی به سال ۱۳۹۸ یک ترسالی استثنایی با متوسط بارش سالانه ۳۴۲ میلیمتر بوقوع پیوست که این میزان بارش در ۵۰ سال گذشته بی سابقه بود. این روند در سال آبی بعد یعنی سال منتهی به شهریور ۱۳۹۹ ادامه داشته و میزان متوسط بارش سالانه در کشور به میزان۳۱۷/۷ رسد یعنی کاهشی برابر ۷ درصد نسبت به سال گذشته داشته است.

انتظار می‌رود با توجه به تغییر شدید در میزان بارش نسبت به دو دهه گذشته، تغییرات مشهودی در تعداد روزهای گرد و غباری اعم از از روزهای پاک، روزهای قابل قبول، روزهای ناسالم برای افراد حساس، روزهای ناسالم برای همه، روزهای بسیار ناسالم و روزهای خطرناک

کاهش معناداری را مشاهده نماییم. جدول ۲ گزارش روزهای گرد و غباری است و سالم است که بر اساس اطلاعات پایش دستگاه سنجش گرد و غبار مستقر در شهر اهواز می‌باشد. همانطور که ملاحظه

جدول ۱- ماهیانه شاخص AQI بر- حسبPM10 درایستگاههای سنجش آلودگی هوای شهرستان اهواز-۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴

	۹۱						۹۲						۹۳						۹۴					
ماه	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
فروردین	۰	۱۶	۷	۵	۲	۱	۰	۱۱	۱۷	۱	۲	۰	۰	۲۷	۳	۱	۰	۰	۱	۲۲	۴	۲	۰	۲
اردیبهشت	۰	۷	۱۶	۵	۱	۲	۰	۱۹	۵	۲	۰	۱	۰	۱۹	۷	۲	۰	۰	۰	۶	۲۰	۳	۲	۰
خرداد	۰	۷	۹	۴	۳	۸	۱	۱۳	۳	۷	۲	۴	۰	۲۴	۷	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱۴	۴	۰	۱
تیر	۰	۴	۱۲	۶	۲	۷	۰	۱۴	۹	۳	۰	۰	۰	۱۹	۹	۱	۰	۲	۰	۱۰	۱۵	۴	۰	۱
مرداد	۰	۴	۱۵	۵	۰	۵	۰	۲۱	۵	۲	۰	۲	۰	۲۱	۴	۱	۲	۱	۰	۱۲	۱۵	۳	۱	۰
شهریور	۰	۲	۱۸	۵	۴	۲	۰	۱۵	۱۲	۳	۱	۰	۰	۲۹	۱	۱	۰	۰	۰	۱۳	۸	۶	۱	۳
مهر	۰	۱	۲۳	۵	۱	۰	۰	۱۱	۱۹	۱	۰	۰	۲	۲۰	۶	۱	۱	۰	۰	۱۳	۱۳	۲	۰	۲
آبان	۱	۸	۱۴	۳	۲	۱	۱	۱۲	۴	۱۲	۰	۰	۷	۲۲	۱	۰	۰	۰	۲	۲۵	۳	۰	۰	۰
آذر	۲	۱۸	۶	۱	۱	۰	۰	۱۳	۶	۳	۳	۵	۵	۲۳	۱	۰	۰	۰	۲	۲۷	۰	۱	۰	۰
دی	۰	۱۳	۱۲	۲	۰	۳	۲	۲۰	۸	۰	۰	۰	۲	۲۷	۲	۱	۰	۰	۲	۲۷	۱	۰	۰	۰
بهمن	۰	۱۳	۱۱	۰	۰	۶	۰	۱۰	۱۸	۱	۰	۱	۰	۱۲	۶	۲	۳	۸	۲	۲۴	۴	۰	۰	۰
اسفند	۰	۸	۵	۰	۱	۱۷	۰	۱۷	۱۱	۰	۰	۰	۱	۱۸	۵	۱	۰	۱	۳	۱۸	۱	۳	۰	۴
جمع کل	۳	۱۰۱	۱۴۸	۴۱	۱۷	۵۲	۴	۱۷۶	۱۱۷	۳۵	۸	۱۳	۱۷	۲۶۱	۵۲	۱۱	۶	۱۲	۱۲	۲۰۹	۹۸	۲۸	۴	۱۳

جدول ۲- ماهیانه شاخص AQI بر حسب PM10 درایستگاه‌های سنجش آلودگی هوای شهرستان اهواز-۱۳۹۵ الی ۲۸ دی ۹۹

	۹۵						۹۶						۹۷						۹۸						۹۹					
ماه	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک	پاک	قابل قبول	ناسالم حساس	ناسالم	بسیار ناسالم	خطرناک
فروردین	۴	۲۵	۱	۱	۰	۰	۳	۲۴	۳	۱	۰	۰	۳	۲۳	۳	۲	۰	۰	۳	۲۶	۱	۱	۰	۰	۶	۲۵	۰	۰	۰	۰
اردیبهشت	۰	۲۱	۹	۱	۰	۰	۰	۱۶	۱۱	۳	۱	۰	۰	۱۹	۹	۳	۰	۰	۲	۲۲	۷	۰	۰	۰	۰	۲۵	۴	۲	۰	۰
خرداد	۰	۱۷	۱۰	۱	۰	۳	۰	۲۵	۵	۰	۱	۰	۰	۱۴	۱۴	۳	۰	۰	۰	۲۴	۵	۲	۰	۰	۰	۲۱	۹	۱	۰	۰
تیر	۰	۱۴	۱۶	۱	۰	۲	۰	۱۹	۱۲	۰	۰	۰	۰	۱۵	۱۲	۲	۰	۲	۰	۲۸	۳	۰	۰	۰	۰	۳۰	۱	۰	۰	۰
مرداد	۰	۲۲	۸	۱	۰	۰	۰	۲۴	۷	۰	۰	۰	۰	۱۰	۱۴	۵	۰	۲	۰	۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۶	۵	۰	۰	۰
شهریور	۰	۱۴	۱۱	۰	۰	۰	۰	۲۸	۲	۰	۰	۱	۰	۱۸	۱۳	۰	۰	۰	۰	۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۲۹	۲	۰	۰	۰
مهر	۰	۱۸	۷	۰	۰	۵	۰	۱۵	۱۳	۲	۰	۰	۰	۱۱	۱۸	۰	۰	۱	۰	۲۷	۳	۱	۰	۰	۰	۲۳	۷	۰	۰	۰
آبان	۰	۱۱	۱۶	۰	۰	۱	۳	۲۰	۵	۱	۱	۰	۰	۶	۲۰	۳	۰	۰	۱	۲۱	۷	۱	۰	۰	۲	۱۳	۱۵	۰	۰	۰
آذر	۰	۱۹	۵	۰	۰	۰	۱	۲۲	۵	۱	۰	۰	۰	۰	۲۵	۵	۰	۰	۲	۲۳	۴	۱	۰	۰	۸	۲۲	۰	۰	۰	۰
دی	۰	۱۵	۴	۰	۰	۰	۰	۶	۹	۹	۴	۲	۲	۲۳	۲	۱	۰	۰	۲	۲۵	۳	۰	۰	۰	۱	۲۰	۷	۰	۰	۰
بهمن	۳	۱۹	۴	۲	۲	۰	۰	۱۳	۹	۱	۰	۷	۲	۲۲	۴	۰	۲	۰	۵	۲۲	۱	۱	۱	۰	۰	۲۳	۰	۰	۰	۰
اسفند	۲	۲۴	۳	۰	۱	۰	۰	۱۹	۷	۲	۰	۱	۰	۲۵	۲	۰	۰	۲	۰	۲۴	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۰	۰	۰	۰
جمع کل	۱۲۷	۱۶۴	۵۵	۲	۱۴	۱۴	۱۵	۲۳۱	۸۸	۲۰	۷	۱۵	۱۷	۲۲۵	۹۷	۲۰	۲	۸	۱۵	۳۰۴	۳۹	۶	۱	۰	۱۷	۲۳۴	۵۰	۳	۰	۰

می‌گردد روند کاهشی تعداد روزهای خطرناک در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹ از چهارده روز در سال ۱۳۹۵ به صفر در سال ۱۳۹۹ می‌رسد. متقابلا روزهای پاک از ۴ روز در سال ۱۳۹۵ به ۱۷ روز در سال ۱۳۹۹ ارتقاء پیدا کرده است. همچنین روزهای قابل قبول از ۱۲۷ روز در سال ۱۳۹۵ به ۳۳۴ روز در سال ۱۳۹۹ تا ۲۸ دی ماه ۱۳۹۹ می‌رسد. رابطه کاهش خطر گرد و غبار با افزایش متوسط بارش نشان دهنده این واقعیت است که مدیریت آب در ایام ترسالی و خشکسالی و تخصیص منابع کافی به محیط زیست برای کنترل طوفان‌های گرد و غبار می‌تواند راهکاری موثر در کنترل آن و حفاظت از سلامت مردم باشد.

ارائه راهکارهای مدیریتی و اجرائی مدیریت آب

الف: راهکارهای مدیریتی

راهکارهای مدیریتی آب به کلیه فرآیندهایی اطلاق می‌گردد که به نوعی با کنترل آب و رطوبت خاک وقوع و تشدید با وقوع طوفان‌های گرد و غبار مقابله نماید. با توجه به محدودیت حجم مقاله ذیلا به تعدادی از آن‌ها بصورت فهرست‌وار اشاره می‌گردد:

- توسعه روش‌های آبیاری کم مصرف
- ترویج رقم‌های زراعی با مصرف کم و مقاوم به خشکی
- توجه به سیاست واردات آب مجازی و جلوگیری از صادرات آب مجازی با اصلاح الگوی‌های کشت
- نظارت مستمر بر میزان آب قابل تخصیص به کشاورزی در هر دشت و تدوین برنامه نظارت فصلی و برخط و برنامه‌های مدیریت مصرف
- آموزش و فرهنگ سازی به منظور افزایش سطح آگاهی مردم و مشارکت مستقیم مردم در مدیریت منابع آب در واحد دشت و حوضه‌های فرعی
- توسعه اجرای طرح‌های آبخیزداری در آبخیزهای بالادست به منظور استحصال آب و افزایش ظرفیت نگهداری آب در زمین و کسر سهم تبخیر در حوضه میانی و پائین دست
- اجرای طرح‌های آبخوانداری و سدهای زیرزمینی جهت نگهداشت آب در پروفیل خاک و آبرفت با توجه ویژه به حقابه تالاب‌ها و آبگیرهای پائین دست.
- استفاده از روش‌های نوین حفظ رطوبت در پروفیل خاک سطحی و استفاده از آن در ایجاد باغات دیم به منظور تثبیت زمین و ایجاد باد شکن

ب: راهکارهای اجرائی

در کنار راهکارهای ارائه شده در بند الف که بصورت غیر مستقیم در جلوگیری از گسترش اراضی مستعد تولید گرد و غبار موثر است. راهکارهای اجرائی کنترل منشاء گرد و غبار در اراضی منشاء نیز توصیه می‌گردد:

- توجه به طرح های اجرایی مدیریت آب در فصول بارش جهت افزایش رطوبت زمین و ایجات پوشش گیاهی
- تنظیم سیستم‌های سازه‌ای رها سازی حقابه تالاب‌ها و نظارت بر خط اجرای آن
- تنظیم مدیریت چرای ویژه متناسب با وضعیت هر سال آبی، جهت حفظ رطوبت و پوشش‌های یکساله ایجاد شده جهت حفظ استحکام خاک با جلوگیری از ورود دام به اراضی حساس
- استفاده از مالچ‌های مختلف در تثبیت موقت زمین در فصول مرطوب جهت حفظ رطوبت و توسعه پوشش سبز
- استفاده از آبهای نامتعارف در نهالکاری و کشت گیاهان مقاوم به گرما و باد با استفاده از توان جوامع محلی

مراجع

- پژوهشکده حفاظت خاک و ابخیزداری کشور، ۱۳۸۵، بررسی نقش مدیریت منابع آب منطقه بر ایجاد و تشدید طوفان های گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور، "گزارش فنی مطالعات ۲۱۹ صفحه.
- درویشی علی و همکاران، ۱۳۹۲. کانون های فعال طوفان های گرد و غبار جهت اجرای طرح های پایلوت برنامه محیط زیست سازمان ملل در جمهوری اسلامی ایران، گزارش مطالعات، سازمان حفاظت محیط زیست ۳۰ صفحه.
- شعاعی ضیاءالدین ۱۳۹۳، گزارش ستاد مقابله با پدیده گرد و غبار، سازمان حفاضت محیط زیست گزارش فنی ۲۵ صفحه.

- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., Zhou, N., 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. Sci. Total Environ. 502, 224–235.
- COP18, 2012 .Climate Change Conference,: http://climate.uu-uno.org/view/article/203328/
- DTF, 2013. Integrated desert terrain forecasting for military operations). Earth Ecosys. Sci. https://www.researchgate.net/figure/276048930_fig1_Figure-10-Global-Dust -Potential-Map-After-DTF-2013.

- Goudie. A. S, Middletone. N. J.,2001, Saharan dust storms: nature and consequences, Earth Scientific Reviews, 56-179-204
- NASA, 2014. http://geo-pickmeup.com/atmospheric-aerosol-eddies-nasa-animated-map/
- NASA, Feb. 12 2013. NASA Satellites Find Freshwater Losses in Middle East.
- https://www.nasa.gov/mission_pages/Grace/news/grace20130212.html
- UN. General Assembly resolution, 2016-2017. Combating sand and dust storms General Assembly, 71st sess., https://digitallibrary.un.org/record/858712?ln=en