

## اثر رخدادهای گردوغبار بر بازخورد برخی عوامل اقلیمی استان ایلام

ملیحه سادات ظریف معظم<sup>۱</sup>، رسول مهدوی<sup>۲\*</sup>، سهیلا جوانمرد<sup>۳</sup>، مرضیه رضائی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران  
zarif\_info@yahoo.com

۲. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی- مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران  
sohailajavanmard2018@gmail.com

۳. استادیار، پژوهشکده هواشناسی تهران، ایران  
۴. استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی- مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران  
Ma.rezai8011@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۴

### چکیده

یکی از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت عوامل اقلیمی، هواپزه‌های گردوغبار هستند. از طرفی مناطق غرب کشور ایران از جمله استان ایلام به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور، بیشتر در معرض سامانه‌های گردوغبار و پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوب قرار دارند. به منظور شناخت عملکرد وقوع گردوغبار بر عوامل اقلیمی دما، رطوبت نسبی و ابرناکی از مدل آماری تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد. همچنین با استفاده از شاخص نسبت آماری و ارزیابی آن توسط آزمون جایگشت مونت کارلو تغییرات احتمالی بارش تحت تأثیر گردوغبار بررسی شد. نتایج حاصله نشان داد که میانگین دما در روزهای وقوع گردوغبار در ایستگاه‌های سینوپتیک ایلام، ایوان و دهلران به ترتیب  $-۱/۳۴$ ،  $-۱/۳$  و  $-۱/۶۴$  درجه سانتی‌گراد در مقایسه با روز قبل کاهش یافته است. همچنین رطوبت نسبی این ایستگاه‌ها به ترتیب  $۳/۹۱$  درصد،  $۳/۳۱$  درصد و  $۳/۱۳$  درصد و ابرناکی آن‌ها به‌طور میانگین  $۰/۵۳$ ،  $۰/۵$  و  $۰/۱$  نسبت به روز قبل افزایش یافته است. نتایج آزمون جایگشت مونت کارلو برای شاخص نسبت‌های آماری ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران با مقادیر  $۰/۹۸$ ،  $۰/۸$  و  $۰/۷$  نشان داد که بازخورد وقوع گردوغبار بر عوامل اقلیمی به کاهش بارندگی منجر شده است.

### کلیدواژه

استان ایلام، بارش، دما، رطوبت، گردوغبار.

### ۱. سرآغاز

بسیاری بر سلامتی انسان دارند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن منشأ تولید می‌توان هواپزه‌ها را در چهار دسته کلی شامل گردوغبار، نمک دریا، مواد زیست‌توده<sup>۱</sup> و غبار صنعتی- شهری قرار داد. تقریباً ۴۰ درصد هواپزه‌های لایه تروپوسفر، ذرات گردوغبار ناشی از فرسایش بادی هستند (Terradellas et al., 2015). هواپزه‌ها و ذرات گردوغبار می‌توانند بر تعادل و توازن انرژی تابشی زمین به‌طور

عوامل اقلیمی همچون دما، رطوبت و بارش، نقش مهمی بر زیست‌بوم‌ها و عملکرد آن‌ها داشته و شرایط اقتصادی- اجتماعی جوامع بشری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یکی از عوامل تأثیرگذار بر کیفیت و کمیت عوامل اقلیمی «هواپزه‌ها» هستند. ذرات معلق موجود در هوا (هواپزه‌ها) نقش مهمی در تعیین شرایط آب و هوایی ایفا کرده و تأثیر

تعداد زیادی هسته‌های میعان‌ساز ابر را تشکیل داده و بارندگی متوقف می‌شود. همچنین Rosenfeld (۲۰۰۰) با استفاده از برخی داده‌های ماهواره‌ای، فرایندهای شکل‌گیری بارش در مناطق شهری و صنعتی استرالیا بررسی کرد. نتایج حاصله حاکی از آن بود که شعاع مؤثر قطرک‌های شکل گرفته در ابرهای تحت تأثیر هواویزهای آلودگی صنعتی و انسان‌ساز کوچک شده و در نتیجه به هم آمیختگی قطرک‌ها برای تشکیل قطرات باران ناکارآمد بوده و بارندگی تشکیل نمی‌شود. Yu و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از شبیه‌سازی در مدلی عددی، اثر هواویزها را بر تغییر برخی عوامل اتمسفری بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که جذب و پراکنش تابش توسط هواویزها به کاهش تابش رسیده به سطح زمین می‌انجامد. چنانچه واداشت سطحی به کاهش گرمای محسوس و تبخیر منجر شود رطوبت نسبی لایه سطحی کم شده درحالی‌که اگر تنها دمای سطحی را کاهش دهد، به افزایش رطوبت نسبی می‌انجامد. در نهایت بازخورد تأثیر هواویزها بر رطوبت نسبی می‌تواند روی تغییر و تحول پوشش ابری تأثیر بگذارد. Shepherd و Burian (۲۰۰۳) نیز بارش چند شهر ساحلی در آمریکا را با استفاده از داده‌های رادار، ماهواره و ایستگاه‌های باران‌سنجی مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند وزش هوای مرطوب از دریا یا دریاچه به سمت شهرهای ساحلی که دارای مقادیر زیادی هواویز صنعتی و انسان‌ساز هستند شرایط مطلوبی برای تقویت ابر و افزایش بارش ایجاد می‌کند. Koren و همکاران (۲۰۰۵) نیز با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های روزانه ماهواره Terra روی اقیانوس اطلس شمالی اثر هواویزها را بر ساختار ابر ارزیابی کردند. آن‌ها نشان دادند که بین حضور هواویزها و ویژگی‌های خردفیزیک ابرهای همرفتی همبستگی قوی وجود دارد. در فرایندهای همرفت مورد مطالعه آن‌ها هواویزها روی شعاع مؤثر قطرک تأثیر گذاشته و آن را کاهش می‌دهند. قطرک‌های حاصله در بالاسوهای شدید با بادهای قوی بالا

مستقیم یا غیرمستقیم، دینامیک و خردفیزیک ابرها اثرگذار هستند (Andreiczuk et al., 2014). ذرات هواویز و گردوغبار راه یافته به ابر، بستر مناسبی برای چگالش بخار آب ایجاد می‌کنند. این ذرات هسته‌های میعان‌ساز ابر<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند (Jung et al., 2015). علاوه بر آن هواویزها می‌توانند نقش عمده‌ای در تشکیل هسته یخ<sup>۳</sup> برای تولید بلورهای یخ ناهمگن در ابرهای سرد برعهده داشته باشند (DeMott et al., 2015). این نقش هواویزها سبب افزایش قطرک‌ها، اندازه آن‌ها و فرایندهای هم‌آمیزی شده و در نهایت باعث تغییر بارش گرم می‌شوند (Jung et al., 2015)، از طرف دیگر با تولید هسته‌های یخ، فرایندهای بارش سرد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (Koehler et al., 2010). در صورت عدم حضور هواویزها، میعان بخار به مایع یا تشکیل هسته‌های یخ به دمای ابرسرد<sup>۴</sup> در حدود ۱۳- درجه سانتی‌گراد و شرایط فوق اشباع در حدود ۴۰۰ درصد احتیاج دارد (Levin & Ganor., 1996). با این حال فرایندهای چگونگی تشکیل و عملکرد هسته‌های میعان‌ساز و هسته‌های یخ به‌طور کامل شناخته‌شده نیستند (DeMott et al., 2015). از این‌رو مطالعات متعدد و گسترده‌ای به‌منظور شناخت و درک عملکرد هواویزها بر فرایندهای جوی در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت و نیز شرایط طبیعی و شبیه‌سازی شده انجام گرفته که نشان‌دهنده متغیر بودن پاسخ چرخه‌های اقلیمی نسبت به متغیرهای محیطی است.

Rosenfeld و Nirel (۱۹۹۶) در مطالعات انجام شده در فلسطین اشغالی نشان دادند که برهم‌کنش ذرات گردوغبار و سیستم‌های بارانی متغیر است. آن‌ها بیان کردند که جریان گردوغبار با وارد شدن به ابر قادر به باروری ابرها با ذرات گردوغبار بیابانی بوده و باعث تشکیل هسته‌های میعان‌ساز در ابر می‌شوند. این فرایند در نهایت در صورت وجود منابع رطوبت مناسب، مقدار بارش را افزایش داده و در صورت عدم وجود رطوبت کافی تنها

بارندگی می‌شود. آن‌ها اشاره کردند که تقویت حرکات بالاسو تحت اثر هواویزهای گردوغبار در مقایسه با تضعیف آن در تغییرات بارش مهم‌تر است. Yi و Wu (۲۰۱۷) با استفاده از مشاهدات لیدار در منطقه‌ای از چین طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ لایه‌های هواویز و رطوبت را طی فصل زمستان بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد با افزایش رطوبت نسبی و افزایش آب محتوی ابر، هواویزهای فعال شده به‌عنوان هسته‌های تراکم و هسته‌های یخ رشد کرده و مقدار بارش حاصله افزایش می‌یابد.

مشایخی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل جفت شده هواویز HAM و مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا WRF به شبیه‌سازی هواویزها و واداشت تابش ناشی از آن‌ها در دوره‌ای شش روزه پرداختند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد هواویزهای گردوغبار به واداشت تابشی منفی و در نتیجه ایجاد سرمایش منجر شده، درحالی‌که حضور هواویزهای کربن سیاه به واداشت تابشی مثبت و تولید گرمایش منجر می‌شود. عبد منافی و همکاران (۱۳۹۵) در دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۳-۲۰۱۲ با استفاده از سنجنده مادیس اثر هواویزها را روی ساختار خردفیزیک ابر در شهر تهران بررسی کردند. آن‌ها در نتایج خود نشان دادند که شاخص هواویز همبستگی منفی با قله ابر، مسیر آب ابر و شعاع مؤثر قطرک‌های ابر دارد و دلیل آن را پدیده فراباروری بیان کردند. در فراباروری<sup>۵</sup> تحت تأثیر افزایش غلظت هواویز رقابت هواویزها برای جذب رطوبت بالا رفته و باعث افزایش تعداد هسته‌های میعان‌ساز ابر می‌شوند. ساری صراف و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه آثار هواویزها گردوغبار بر برخی متغیرهای اقلیمی پرداختند. آن‌ها با استفاده از مدل WRF-CHEM آثار تابشی و مستقیم گردوغبار بر سامانه اقلیم در منطقه غرب ایران را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصله نشان داد که گردوغبار تابش موج کوتاه را به میزان  $(Wm^{-2}) -50$ ، تابش موج بلند به میزان  $(Wm^{-2}) 5$  و همچنین تابش خالص را به مقدار  $(Wm^{-2}) -46$  در سطح منطقه مورد

کشیده شده و در ارتفاع‌های بالاتر یخ می‌زنند؛ گرمای نهان آزاد شده حاصل از این انجماد باعث افزایش همرفت می‌شود. Koehler و همکاران (۲۰۱۰) اثر چند نوع هواویز گردوغبار را بر شکل‌گیری ابرهای سرد با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد در دماهای گرم‌تر، رطوبت نسبی کمتری برای تشکیل هسته یخ ناهمگن مورد نیاز است. همچنین ذرات پوشیده شده با مواد آلی ثانویه برای تشکیل هسته یخ در دماهای پایین، رطوبت نسبی بیشتری لازم دارند. همچنین در دماهای پایین‌تر رطوبت نسبی مورد نیاز برای تشکیل هسته یخ همگن بیشتر بوده است. Nabat و همکاران (۲۰۱۵) در منطقه مدیترانه، اروپا و شمال آفریقا آثار مستقیم و غیرمستقیم هواویزها را بر برخی از متغیرهای جوی بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از شبیه‌سازی در مدلی اقلیمی تغییرات پارامترهای جوی همچون تابش‌های موج کوتاه و بلند، دما، رطوبت، پوشش ابر و بارش را تحت تأثیر هواویزهای جوی از جمله گردوغبار مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که هواویزها روی بودجه تابشی زمین اثر گذاشته که در نتیجه آن دمای سطح زمین عمدتاً کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به میزان واداشت طول موج بلند، گرمای نهان تغییر کرده که باعث تغییر در رطوبت مخصوص و در نتیجه پوشش ابر می‌شود. Gu و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از مدل گردش عمومی جو اثر هواویزهای گردوغبار را بر اقلیم شمال آفریقا و جنوب/شرق آسیا بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که اثر گردوغبار بر بارش متغیر بوده و می‌تواند بارندگی را افزایش داده یا حتی آن را متوقف کند. گرمایش ستون هوا تحت تأثیر جذب و پراکنش موج کوتاه خورشیدی با گردوغبار به حرکات بالاسوی قوی منجر شده که بارندگی را افزایش می‌دهد. در مقابل در اثر واداشت تابش در سطح که به سرد شدن هوا می‌انجامد، حرکات بالاسو ضعیف‌تر شده و توده هوا پایدار شده که باعث کاهش یا قطع

می‌شود. علاوه بر آن توفان‌های گردوغبار چرخه‌های هیدرولوژیکی و عوامل اقلیمی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، که این امر به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر شرایط زیست‌محیطی تأثیر می‌گذارد. با شروع دوره سرد سال الگوهای فشار به عرض‌های پایین‌تر گسترش می‌یابند، بنابراین نیمه سرد سال دوره ناپایدار جوی در ایران است (Azizi et al., 2012). همچنین استان ایلام جزء منطقه زاگرس غربی بوده که در این منطقه به ترتیب زمستان و پاییز بالاترین سهم بارندگی را دارند (رضیئی و عزیزئی، ۱۳۸۸). از این رو اثر گردوغبار بر برخی عوامل اقلیمی همچون دما، رطوبت، ابرناکی و بارندگی در استان ایلام که حایز شرایط رخدادهای متعدد گردوغبار بوده، مد نظر قرار گرفته و با استفاده از اطلاعات موجود در فصل‌های پاییز و زمستان سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۳ بررسی شد.

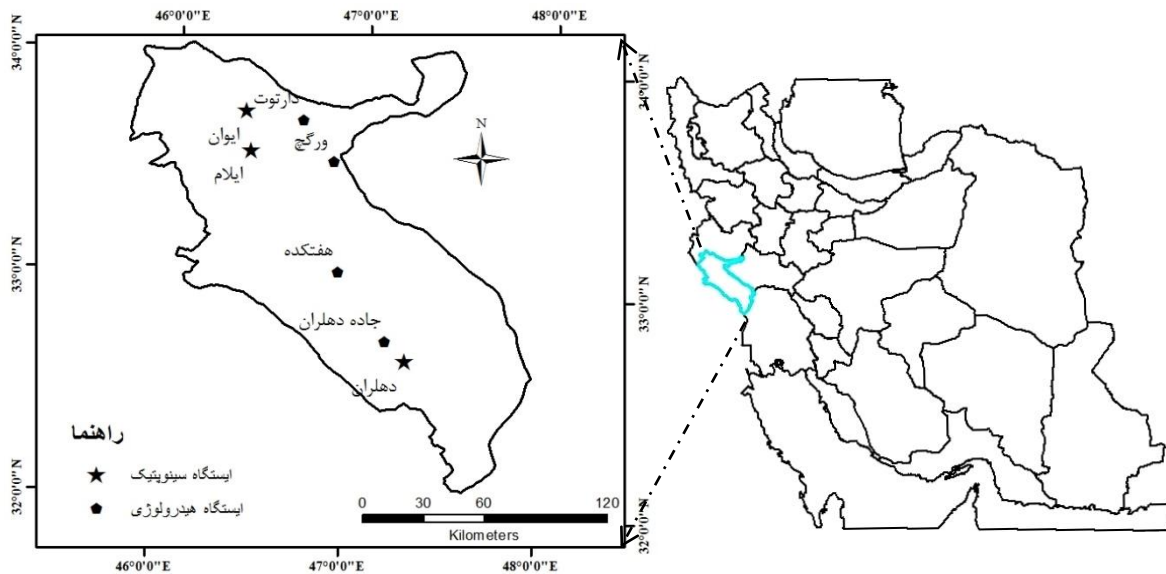
## ۲. مواد و روش بررسی

### منطقه مورد مطالعه

استان ایلام با مساحت ۱۹۰۸۶ کیلومتر مربع، حدود ۱/۴ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این استان در غرب سلسله جبال زاگرس بین ۵۸' ۳۱° تا ۱۵' ۳۴° عرض شمالی و ۲۴' ۴۵° تا ۱۰' ۴۸° طول شرقی در بخش غربی کشور قرار گرفته است. در پهنه‌بندی بارش برای ایران (دارند، ۱۳۹۵) استان ایلام در پهنه نیمه پربارش با میانگین بارش سالانه حدود ۴۱۰ میلی‌متر قرار گرفته است. بارش‌های فصلی استان ایلام تحت تأثیر سیستم‌های جوی متنوعی قرار می‌گیرد. به‌طور کلی نفوذ توده‌های هوا از سمت دریای مدیترانه و دریای سیاه باعث بارش‌های پاییزی و زمستانی می‌شوند. جریانات سودانی، دریای سرخ و صحرای عربستان علاوه بر آنکه در بارش‌های زمستانی و پاییزی مؤثرند، سبب گرم شدن هوا در تابستان شده و نفوذ توده‌های هوای سیبری از مناطق سیبری باعث کاهش دما و یخبندان در مناطق شمالی استان در زمستان می‌شوند (اداره هواشناسی استان ایلام).

مطالعه تغییر داده و به‌طور کلی باعث کاهش دما در بخش زیرین جو شده است. جوادنیا و آبکار (۱۳۹۶) به بررسی خصوصیات اپتیکی و تابشی هواویزهای گردوغبار در منطقه خاورمیانه با استفاده از داده‌های آرونوت پرداختند. آن‌ها نشان دادند که توفان گردوغبار موجب کاهش ۱۵ تا ۲۰ درصد تابش موج کوتاه خورشیدی در روزهای گردوغباری شده و این کاهش باعث افزایش ۶۶ درصدی واداشت تابشی هواویز در سطح منطقه شده است. زارعی و همکاران (۱۳۹۶) نیز با استفاده از مدل WRF تأثیر هواویز بر بارش را در شرایط متفاوت رطوبت نسبی مطالعه کردند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد که بالا رفتن رطوبت نسبی می‌تواند روی افزایش رشد هواویزهای آب‌دوست اثر گذاشته و بارش را افزایش دهد، درحالی‌که با کاهش رطوبت نسبی جو بارش کاهش‌یافته و در برخی موارد متوقف شده است. مطالعات متعدد انجام شده در زمینه اثر گردوغبار بر کمیت و کیفیت فرایندهای هیدرولوژیکی در مناطق مختلف جهان، دلالت بر تأثیر این وقایع روی مشخصات چرخه‌های بارندگی داشته و متغیر بودن آثار مورد نظر در مطالعات منطقه‌ای و محلی تحت تأثیر متغیرهای محیطی را نشان می‌دهد.

اکثر سامانه‌های جوی از شمال غرب، غرب و جنوب غرب به کشور ایران وارد می‌شوند؛ حال اگر هوای ناپایدار ناشی از این سامانه‌ها همراه با رطوبت کافی باشد به بارش منجر شده و در غیر این صورت باعث توفان گردوغبار می‌شود (ناصرزاده و فتحی، ۱۳۹۵). همچنین مناطق غرب کشور به دلیل موقعیت جغرافیایی، اقلیمی و نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور مانند عراق، سوریه و عربستان، بیشتر در معرض سامانه‌های گردوغبار هستند (ناصرزاده و فتحی، ۱۳۹۵). استان ایلام که در غرب کشور واقع شده به صورت گسترده تحت تأثیر توفان‌های گردوغبار بوده که موجب پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی از جمله اختلال در ناوگان حمل‌ونقل هوایی و زمینی، تأثیرات منفی بر سلامت انسان، کاهش محصولات کشاورزی و غیره



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان ایلام و محل قرارگیری ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرولوژی

ایستگاه‌های فاقد آمار در برخی زمان‌ها، در صورت وجود نواقص آماری از بازسازی آن‌ها اجتناب و این ایستگاه‌ها حذف شده و سال‌های آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۰ برای فصل‌های پاییز و زمستان انتخاب شدند (Kaiser & Horenko., 2014).

به منظور شناخت و آگاهی از عملکرد و میزان ارتباط بین وقوع گردوغبار و عوامل اقلیمی دما، رطوبت نسبی و ابرناکی از مدل آماری تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد. با استفاده از آزمون دانکن در نرم‌افزار SPSS، جفت میانگین‌های متغیرهای مطالعاتی در روزهای وقوع گردوغبار و روزهای قبل و بعد از آن، تیمارهای دو به دویی مقایسه شد. با توجه به حجم بالای مشاهدات ثبتی، جدا کردن متغیرهای مطالعاتی در روزهای مورد نظر که شامل روزهای وقوع گردوغبار و روزهای قبل و بعد از آن بوده با استفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

برای شناسایی تغییرات ناشی از اثر هواویزهای رسوبات بادی روی بارش، روش آماری رگرسیون تاریخی<sup>۶</sup> استفاده شد (Rosenfeld & Nirel., 1996)، از این رو ۳ ایستگاه سینوپتیک در استان ایلام حائز شرایط ذکر شده، ایستگاه هدف انتخاب شدند (شکل ۱). دلیل انتخاب

در استان ایلام عموماً انتقال گردوغبار در حین رخدادهای مربوطه دو مسیر کلی قابل تشخیص است. ۱. مسیر شمال غربی - جنوب شرقی، این مسیر با عبور از روی هسته‌های گردوغبار شکل گرفته در شمال عراق و شرق سوریه عمل انتقال گردوغبار به نیمه غربی ایران را انجام می‌دهد. ۲. مسیر غربی - شرقی که شامل گردوغبارهای شکل گرفته در غرب و جنوب عراق و همچنین در مواردی منطقه شرق و شمال شرق عربستان بوده که به منطقه مطالعاتی وارد می‌شوند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱).

### روش بررسی

در مطالعه پیش رو، از داده‌های روزانه دما، رطوبت نسبی، ابرناکی، رخدادهای گردوغبار و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی و همچنین داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو استفاده شد. به دلیل عدم استفاده دو سازمان فوق از مبدأ تاریخی مشابه، تاریخ داده‌های وزارت نیرو به تاریخ میلادی تبدیل شد. در مرحله بررسی اولیه داده‌ها و صحت‌سنجی آن‌ها به منظور اجتناب از خطا و عدم ورود خطاهای ناشی از برآورد

ایستگاه‌های سینوپتیک به‌عنوان ایستگاه هدف داشتن اطلاعات وقوع گردوغبار و زمان رخداد آن در ایستگاه است که ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو فاقد این داده‌ها هستند. برخی دگرگونی‌های جوی در قرن ۲۱ سبب تغییر الگوهای فشار و جابجایی شمال‌سوی جت‌بادهای منطقه خاورمیانه شده که بر اثر آن غالباً بارش‌ها در این مناطق تحت تأثیر عوامل منطقه‌ای قرار می‌گیرند (Black et al., 2010). از این رو تمام ایستگاه‌های دارای اطلاعات کامل در اطراف ایستگاه هدف به‌عنوان ایستگاه‌های بالقوه شاهد بررسی شدند. از این رو در مرحله نخست همبستگی بارش‌های روزانه این ایستگاه‌ها با ایستگاه هدف مورد نظر به‌دست آمده و ایستگاه‌هایی که بالاترین ضریب همبستگی با ایستگاه هدف داشتند، ایستگاه‌های شاهد انتخاب شدند (Mehrotra et al., 2015) (شکل ۱). سپس معادلات رگرسیون با روش حداقل مربعات برای هر ایستگاه هدف برای پیش‌بینی مقدار بارش آن ایستگاه به‌دست آمد. حال با داشتن مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده بارش، شاخص نسبت آماری رگرسیون تاریخی<sup>۷</sup> (RSHR) بارش‌های مناطق هدف محاسبه شد. شاخص نسبت آماری به‌صورت گسترده در ارزیابی پروژه‌های تغییرات تصادفی<sup>۸</sup> آب و هوایی و ارزیابی اثربخشی باروری روی مقدار بارش یا میزان جریان رودخانه منطقه هدف به‌کار می‌رود (Gabriel., 2002; Silverman., 2010). شاخص نسبت آماری حاصل از نتایج آماری مقایسه‌ای نشان‌دهنده میزان تأثیر عامل اصلاحی روی مقدار بارش منطقه هدف است. بدان معنی که هر چه شاخص آماری (RSHR) به‌دست آمده از یک بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده افزایش بارش، همچنین مقادیر کوچک‌تر از یک بیانگر کاهش بارندگی است. در این مطالعه با در نظر گرفتن نقش گردوغبار به‌عنوان هواویز از روش نسبت آماری برای ارزیابی اثر گردوغبار روی بارش استفاده شده است:

$$RSHR = \frac{RS_{OBS}}{RS_{PRED}} \quad (1)$$

**RSHR**: نسبت آماری برای رگرسیون تاریخی  
**RS<sub>OBS</sub>**: نسبت بین بارش مشاهده شده به میانگین بارش کل دوره آماری منطقه هدف  
**RS<sub>PRED</sub>**: نسبت بین بارش پیش‌بینی شده به میانگین بارش پیش‌بینی شده کل دوره آماری  
نسبت‌های به‌دست آمده (رابطه ۱) با توجه به وقوع یا عدم وقوع گردوغبار معرف نمونه‌های آماری اثر گردوغبار بر بارش و روزهای پایه بارندگی هستند. برای تحلیل معناداری نسبت‌های آماری بین روزهای وقوع گردوغبار و روزهای پایه با توجه به محدودیت نمونه‌ها از روش بازنمونه‌گیری از طریق آزمون جایگشت مونت کارلو و با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. یکی از روش‌های بازنمونه‌گیری در آزمون‌های آماری روش جایگشت است. آزمون جایگشت به معنی دوباره چینش یا تصادفی کردن مؤلفه‌های مجموعه‌ای متناهی است. تجزیه و تحلیل جایگشت روشی ناپارامتریک بوده که صرفاً براساس داده‌های آزمایشی استوار است. آزمون جایگشت به هیچ فرضیه‌ای در ارتباط با شکل توزیع، ویژگی‌های مرتبط با آن یا درباره استقلال داده‌ها نسبت به زمان وابستگی ندارد. هنگامی که تمام جایگشت‌های ممکن آزمایش شوند آزمون جایگشت دقیق و اگر فقط تعداد زیادی از جایگشت‌های ممکن آزمایش شود آزمون جایگشت تصادفی نامیده می‌شود. از جمله روش‌های نمونه‌برداری در آزمون جایگشت، نمونه‌برداری و شبیه‌سازی مونت کارلو است. مونت کارلو نمونه تصادفی نسبتاً کوچکی را از تکرارهای احتمالی شبیه‌سازی می‌کند. این روش از نظر شبیه‌سازی روشی ایستا به حساب آمده و کاربرد آن در استنباط آماری «حل تصادفی مسئله آزمون فرض» است (Silverman., 2010). با در نظر گرفتن دو نمونه آماری از محاسبات به‌دست آمده، آزمون جایگشت فاصله اطمینان نتایج به‌دست آمده را محاسبه می‌کند. در آزمون جایگشت تعدادی قرعه تصادفی از نسبت‌های آماری داده‌های پایه بارش در روزهای بدون گردوغبار و همچنین تعدادی دیگر

کاهش از لحاظ آماری معنادار است. در روز بعد مقدار دما تا حدودی افزایش داشته و به  $10/8^{\circ}\text{C}$  رسیده است. میانگین دما برای روزهای مطالعاتی ایستگاه ایوان در شکل ۲ آمده است. مقادیر دما برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) به ترتیب  $12/9^{\circ}\text{C}$ ،  $11/7^{\circ}\text{C}$ ،  $10/4^{\circ}\text{C}$ ،  $10/5^{\circ}\text{C}$  و  $11/3^{\circ}\text{C}$  است. در روز سوم که هم‌زمان با وقوع گردوغبار است، کاهش معنادار دما مشاهده می‌شود. در روزهای بعد از وقوع گردوغبار دما همچنان دارای روند افزایشی معنادار بوده است. در ایستگاه دهلران میانگین‌های دما  $21/2^{\circ}\text{C}$ ،  $21/4^{\circ}\text{C}$ ،  $19/8^{\circ}\text{C}$ ،  $20/1^{\circ}\text{C}$  و  $20/2^{\circ}\text{C}$  به ترتیب برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) است. دمای میانگین روزانه هم‌زمان با وقوع گردوغبار در مقایسه با روزهای قبل دارای کاهش معنادار است و در روزهای بعد نیز دما به‌صورت نسبی افزایش یافته است.

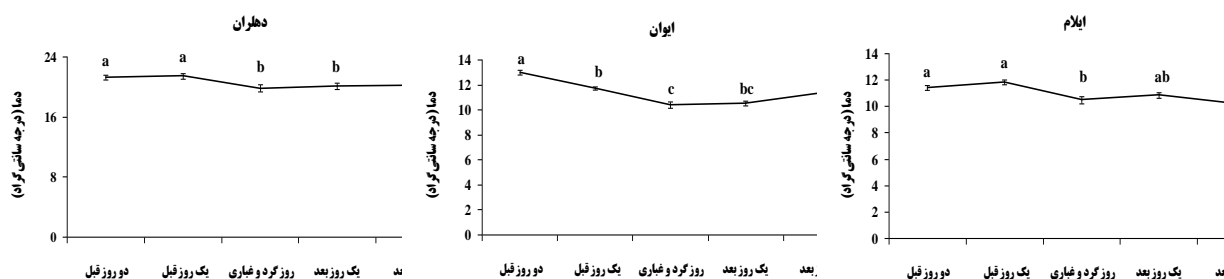
که در روزهای وقوع گردوغبار به‌دست آمده‌اند (به‌عنوان اثر گردوغبار روی بارش) توسط روش مونت کارلو شبیه‌سازی شد. فرایند آزمون معناداری جایگشت شامل مقایسه اطلاعات مشاهده شده با نمونه‌های تصادفی تولید شده مطابق با فرضیه آزمون است (Griffith et al., 1997; Silverman., 2010).

### ۳. نتایج

اثر گردوغبار روی عوامل اقلیمی دما، رطوبت و ابرناکی، در روزهای وقوع گردوغبار با روزهای قبل و بعد از آن با روش مدل آماری تجزیه و تحلیل واریانس و آزمون دانکن ارزیابی شد.

### دما

نتایج حاصله از آزمون میانگین‌های آماری دما در روزهای گردوغباری با روزهای قبل و بعد از آن برای سه ایستگاه ایلام، ایوان و دهلران در شکل ۲ ارائه شده است. تغییرات دمایی ایستگاه ایلام کاهشی معنادار در مقدار دمای روز وقوع گردوغبار در مقایسه با دمای روزهای قبل نشان می‌دهد (شکل ۲). چنانچه دما در دو روز قبل (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار) و روز قبل (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار) از مقدار  $11/4^{\circ}\text{C}$  و  $11/8^{\circ}\text{C}$  به  $10/5^{\circ}\text{C}$  در روز وقوع گردوغبار رسیده است که این



شکل ۲. مقایسه تغییرات دما در روزهای وقوع گردوغبار و روزهای قبل و بعد از آن

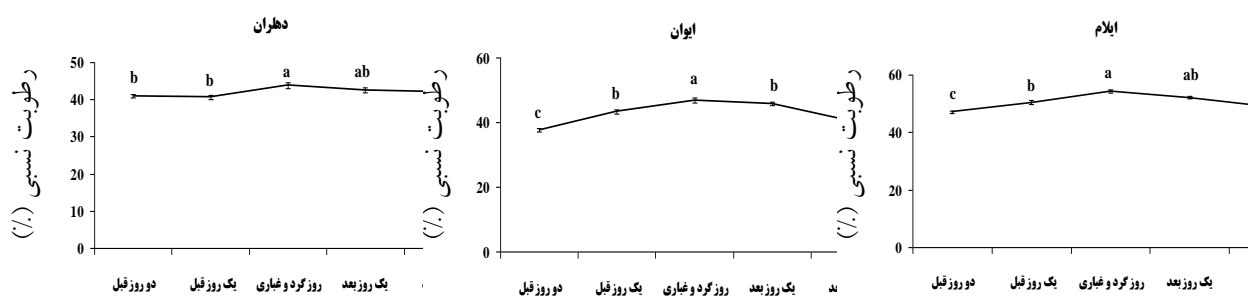
(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار در سطح ۹۵ درصد است)

پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) است. دمای میانگین روزانه هم‌زمان با وقوع گردوغبار در مقایسه با روزهای قبل دارای کاهش معنادار است و در روزهای بعد نیز دما به‌صورت نسبی افزایش یافته است.

### رطوبت نسبی

شکل ۳ نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین‌های آماری درصد رطوبت نسبی در روزهای گردوغباری با روزهای قبل و بعد در ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران را نشان می‌دهد. در ایستگاه ایلام میانگین درصد رطوبت نسبی برای روزهای مقایسه‌ای شامل روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) به‌ترتیب ۴۷ درصد، ۵۰/۵ درصد، ۵۴/۴ درصد، ۵۲ درصد و ۴۹ درصد بوده است. این نتایج نشان‌دهنده افزایش معنادار رطوبت نسبی در روز وقوع گردوغبار تا مقدار ۵۴/۴ درصد و کاهش آن در روزهای بعد است. روند تغییرات رطوبت نسبی در ایستگاه ایوان (شکل ۳) هم نشان‌دهنده افزایش معنادار در مقدار رطوبت نسبی روز وقوع گردوغبار با مقدار ۴۶/۹ درصد در مقایسه با دیگر روزهای مطالعاتی است.

تغییرات دمایی ایستگاه ایلام کاهشی معنادار در مقدار دمای روز وقوع گردوغبار در مقایسه با دمای روزهای قبل نشان می‌دهد (شکل ۲). چنانچه دما در دو روز قبل (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار) و روز قبل (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار) از مقدار  $11/4^{\circ}\text{C}$  و  $11/8^{\circ}\text{C}$  به  $10/5^{\circ}\text{C}$  در روز وقوع گردوغبار رسیده است که این کاهش از لحاظ آماری معنادار است. در روز بعد مقدار دما تا حدودی افزایش داشته و به  $10/8^{\circ}\text{C}$  رسیده است. میانگین دما برای روزهای مطالعاتی ایستگاه ایوان در شکل ۲ آمده است. مقادیر دما برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) به‌ترتیب  $12/9^{\circ}\text{C}$ ،  $11/7^{\circ}\text{C}$ ،  $10/4^{\circ}\text{C}$ ،  $10/5^{\circ}\text{C}$  و  $11/3^{\circ}\text{C}$  است. در روز سوم که هم‌زمان با وقوع گردوغبار است، کاهش معنادار دما مشاهده می‌شود. در روزهای بعد از وقوع گردوغبار دما همچنان دارای روند افزایشی معنادار بوده است. در ایستگاه دهلران میانگین‌های دما  $21/2^{\circ}\text{C}$ ،  $21/4^{\circ}\text{C}$ ،  $19/8^{\circ}\text{C}$ ،  $20/1^{\circ}\text{C}$  و  $20/2^{\circ}\text{C}$  به‌ترتیب برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز



شکل ۳. مقایسه تغییرات رطوبت نسبی در روزهای وقوع گردوغبار و روزهای قبل و بعد از آن

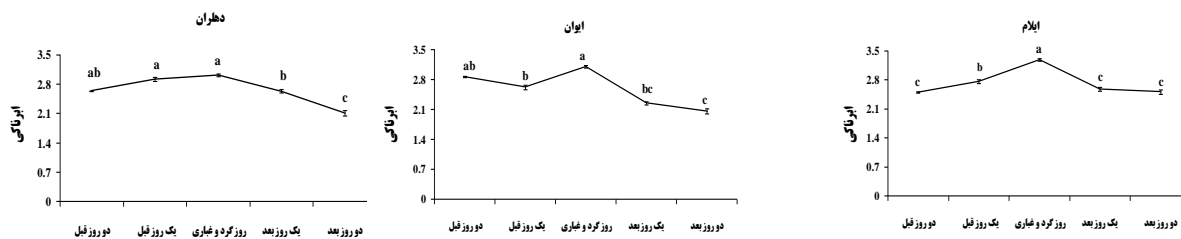
(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار در سطح ۹۵ درصد است)



بعد از رخداد گردوغبار) رطوبت نسبی به‌ترتیب دارای مقادیر ۴۰/۹ درصد، ۴۰/۷ درصد، ۴۳/۸ درصد، ۴۲/۵ درصد و ۴۲ درصد است. در این ایستگاه بیشترین مقدار رطوبت نسبی در روز وقوع گردوغبار با مقدار ۴۳/۸ درصد مشاهده می‌شود. در روزهای بعد از وقوع گردوغبار کاهش تقریبی رطوبت نسبی مشاهده می‌شود.

### ابرناکی

مقایسه میانگین‌های آماری ابرناکی ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران در شکل ۴ برای روزهای مقایسه‌ای مورد نظر آورده شده است.



شکل ۴. مقایسه تغییرات ابرناکی در روزهای وقوع گردوغبار و روزهای قبل و بعد از آن

(حروف لاتین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف آماری معنادار در سطح ۹۵ درصد است)

معنادار است. مقادیر ابرناکی برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) به‌ترتیب ۲/۸، ۲/۶، ۳/۱، ۲/۲ و ۲/۰۵ بوده است. میانگین ابرناکی روزهای مورد بررسی در ایستگاه دهلران (شکل ۴) ۲/۹، ۳، ۲/۶ و ۲/۱ به‌ترتیب برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) بوده است. در این

رطوبت نسبی این ایستگاه دارای مقادیر ۳۷/۷ درصد، ۴۳/۳۱ درصد، ۴۶/۹ درصد، ۴۵/۷ درصد و ۴۰/۶ درصد به‌ترتیب برای روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) است. همچنین با توجه به شکل ۳ در ایستگاه دهلران در روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت

نتایج میانگین ابرناکی ایستگاه ایلام در روز نخست (۴۸ ساعت قبل از رخداد گردوغبار)، روز دوم (۲۴ ساعت قبل از وقوع گردوغبار)، روز سوم (هم‌زمان با رخداد گردوغبار)، روز چهارم (۲۴ ساعت بعد از وقوع گردوغبار) و روز پنجم (۴۸ ساعت بعد از رخداد گردوغبار) به‌ترتیب ۲/۴، ۲/۷، ۳/۲، ۲/۵ و ۲/۵ است. بیشترین میزان ابرناکی با مقدار ۳/۲ در روزهای وقوع گردوغبار به‌دست آمده که نسبت به روزهای قبل دارای روند افزایشی معنادار بوده و در روزهای پس از آن نیز میزان ابرناکی کاهش معناداری یافته است. همچنین در ایستگاه ایوان (شکل ۴) نیز بیشترین میزان ابرناکی در روزهای هم‌زمان با گردوغبار به مقدار ۳/۱ بوده که نسبت به روزهای دیگر دارای اختلاف

مطالعاتی ایلام، ایوان و دهلران پس از محاسبه شاخص‌های نسبت آماری با استفاده از آزمون جایگشت مونت کارلو انجام شد. جدول ۱ مقادیر آزمون جایگشت مونت کارلو برای شاخص نسبت آماری دوره تاریخی را نشان می‌دهد.

ایستگاه نیز بیشترین میزان ابرناکی با مقدار ۳ در روزهای وقوع گردوغبار رخ داده و تفاوت آن با روزهای قبل و بعد از لحاظ آماری معنادار است.

## بارندگی

برای بررسی اثر گردوغبار روی کمیت بارش ایستگاه‌های

جدول ۱. مقادیر آزمون جایگشت مونت کارلو برای شاخص نسبت آماری ایستگاه‌های هدف

ایستگاه	نسبت آماری	سطح معناداری	فاصله اطمینان ۹۰ درصد	
			حد بالا	حد پایین
ایلام	۰/۹۸	۰/۰۵	۱/۲۸	۰/۶۸
ایوان	۰/۸	۰/۰۴	۱/۱	۰/۵
دهلران	۰/۷	۰/۰۳	۱	۰/۴

سولفات در بخش‌های آلوده با غبار صنعتی، شهری و غیره در اتمسفر که مانند پوششی ذرات گردوغبار را در بر می‌گیرند، یا حضور اجزایی از مواد آلی و گازهای محلول در اتمسفر مانند  $\text{HNO}_3$  (Kaufman et al., 2002) توانایی این ذرات به عنوان قطره‌های فعال شده را برای جذب رطوبت در نتیجه کاهش کشش سطحی افزایش می‌دهند (Okado et al., 1990).

## دما

مطالعه حاضر که با هدف بررسی اثر گردوغبار روی تغییرات جوی برخی متغیرهای اقلیمی استان ایلام صورت گرفته است، نشان داد که دمای هوا در روزهای وقوع گردوغبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهش یافته است. هواویزهای جوی از جمله گردوغبار نقش برجسته‌ای در تغییر بودجه تابشی جو دارند. این ذرات با جذب و پراکنش تابش طول موج کوتاه خورشیدی و نیز جذب و گسیل طول موج بلند زمینی تأثیر مستقیمی بر بودجه تابشی سطح زمین می‌گذارند (Nabat et al., 2015). هنگام رخداد توفان‌های گردوغبار، شار طول موج کوتاه پایین‌سوی رسیده به سطح، به خاطر جذب لایه هواویز کم شده که در

شاخص نسبت آماری به دست آمده برای ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران به ترتیب ۰/۹۸، ۰/۸ و ۰/۷ است. از آنجا که شاخص‌های به دست آمده کمتر از یک هستند، نشان‌دهنده اثر منفی گردوغبار روی بارش این ایستگاه‌ها است. ولی این اثرگذاری در هر کدام از ایستگاه‌ها متفاوت بوده، به نحوی که اثر منفی گردوغبار در ایستگاه دهلران با مقدار ۰/۷ بیشتر از ایستگاه‌های ایلام و ایوان بوده و مقدار بارش احتمالی را به میزان بیشتری کاهش داده است. حداقل اثر منفی گردوغبار در ایستگاه ایلام با شاخص نسبت آماری ۰/۹۸ است که مقدار بارش احتمالی به میزان نسبتاً کمتری کاهش داده است.

## ۴. بحث و نتیجه‌گیری

توفان‌های گردوغبار شامل ذرات متنوع با اندازه‌های از چند نانومتر تا حدود ۱۰۰ میکرون بوده (Seinfeld & Pankov., 2003) و از لحاظ شیمیایی نیز ترکیبات متنوعی را در بر می‌گیرند. عمده ذرات تشکیل دهنده توفان‌های گردوغبار شامل انواع سیلیکات‌ها با ذرات  $\text{Ca}$ ،  $\text{Si}$ ،  $\text{Al}$ ،  $\text{Mg}$  هستند (Okado et al., 1990). صرف نظر از اینکه مواد اولیه تشکیل دهنده ذرات گردوغبار توانایی جذب آب را داشته یا نداشته باشند، وجود موادی همچون ذرات نمک و

طول موج کوتاه رسیده به سطح، به کاهش تبخیر منجر می‌شود که در نتیجه آن رطوبت مخصوص کاهش یافته و در نهایت رطوبت نسبی کم می‌شود (Yu et al., 2002). از طرفی با کاهش دما و ثابت بودن رطوبت مخصوص، رطوبت اشباع کم شده که متعاقباً رطوبت نسبی افزایش می‌یابد (Gu et al., 2016). یافته‌های Yu و همکاران (۲۰۰۲) و Gu و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند وقوع گردوغبار و حضور هواویزها به تغییر بودجه تابشی و دما منجر شده و در نتیجه آن‌ها رطوبت نسبی تحت تأثیر قرار گرفته است. در مطالعه حاضر میانگین رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد مطالعه استان تحت تأثیر گردوغبار در مقایسه با روزهای قبل و بعد از آن که بدون رخداد گردوغبار بوده‌اند افزایش یافته است. درصد رطوبت نسبی ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران به طور میانگین ۳/۹۱، ۳/۳۱ و ۳/۱۳ درصد نسبت به روز قبل بیشتر بوده است. همچنین در مقایسه با روز بعد به طور میانگین ۲/۲۶، ۱/۱۹ و ۱/۲۵ درصد بالاتر بوده است. افزایش رطوبت نسبی به دست آمده را می‌توان به کاهش دمای مشاهده شده (شکل ۲) در این ایستگاه‌ها نسبت داد. با توجه به آنکه دما و رطوبت نسبی تا حدودی همبستگی منفی با یکدیگر دارند، اثر هواویزهای گردوغبار روی کاهش دما باعث افزایش رطوبت نسبی شده است به طوری که کاهش در دمای سطحی به کاهش رطوبت اشباع منجر شده و در نتیجه رطوبت نسبی افزایش می‌یابد (Dessens & Bücher., 1995).

### ابرناکی

ابرها جزء درونی سیستم آب و هوایی هستند. نتایج آزمون‌های آماری انجام شده و مقایسه پوشش ابری در روزهای وقوع گردوغبار با روزهای قبل و بعد از آن (شکل ۴) نشان می‌دهد که پوشش ابر در روزهای وقوع گردوغبار افزایش یافته است. از جمله مکانیسم‌های شناسایی شده برای شکل‌گیری ابر وجود رطوبت نسبی لازم در جو است (Weare & Mokhov., 1995). شکل‌گیری و تغییرات

اثر آن دمای سطح کاهش می‌یابد (مشایخی و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین هواویزهای گردوغبار با ایفای نقش به‌عنوان هسته‌های میعان‌ساز و هسته‌های یخ، تأثیر بسزایی در تغییر میدان‌های ابر و بارندگی و در نتیجه واداشت تابشی غیرمستقیم سامانه اقلیمی دارند (جوادنیا و آبکار، ۱۳۹۶). تغییر خردفیزیک ابر تحت تأثیر حضور هواویز منجر به تغییر غلظت قطرک‌های ابر شده که در صورت افزایش غلظت قطرک‌ها آلودگی از سطح ابر را افزایش و طول موج کوتاه خورشیدی رسیده به سطح زمین کاهش می‌یابد (Warren et al., 2007). در نتیجه کاهش طول موج کوتاه رسیده به سطح زمین تحت تأثیر هواویزهای گردوغبار، دمای سطحی کاهش می‌یابد (Sum et al., 2000). ساری صراف و همکاران (۱۳۹۶) و Nabat و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعات خود بیان داشتند که گردوغبار با جذب و پراکنش موج کوتاه پایین‌سوی خورشیدی باعث کاهش دمای هوا شده که با نتایج به دست آمده در این مطالعه مطابقت دارد. چنانچه در ایستگاه ایلام، ایوان و دهلران کاهش دما نسبت به روز قبل به طور میانگین  $1.34^{\circ}\text{C}$ ،  $1.3^{\circ}\text{C}$  و  $1.64^{\circ}\text{C}$  - بوده است (شکل ۲). همچنین افزایش دما در روز بعد از وقوع گردوغبار برای ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران به طور میانگین  $0.35^{\circ}\text{C}$ ،  $0.12^{\circ}\text{C}$  و  $0.2^{\circ}\text{C}$  + بوده است.

### رطوبت نسبی

نتایج به دست آمده از آزمون آنالیز واریانس‌ها (شکل ۳) و مقایسه رطوبت نسبی در روزهای گردوغباری با روزهای قبل و بعد از آن در ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که در روزهای وقوع گردوغبار درصد رطوبت نسبی افزایش یافته است. تغییر انرژی رسیده به سطح زمین تحت تأثیر اثر هواویزها در جذب و پراکنش موج کوتاه پایین‌سو، موجب تغییر در گرمای نهان سطح می‌شود. دگرگونی گرمای نهان سطح موجب تغییر رطوبت مخصوص می‌شود (Nabat et al., 2015). کاهش گرمای نهان در اثر کاهش

## بارش

ارزیابی شاخص نسبت‌های آماری دوره تاریخی ایستگاه‌های ایلام با استفاده از آزمون جایگشت مونت کارلو (جدول ۱) نشان‌دهنده اثر منفی گردوغبار روی بارش ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران است. بخشی از ذرات گردوغبار به‌عنوان بستری مناسب برای چگالش بخار آب عمل کرده، سپس قطره‌های فعال تشکیل شده و هسته‌های میعان‌ساز ابر را می‌سازند، همچنین این ذرات با کاهش دما تبدیل به هسته‌های یخ می‌شوند. یکی از مهم‌ترین عواملی که اثر هواویزها بر سیستم‌های بارشی را تحت تأثیر قرار می‌دهد رطوبت نسبی است (Chakraborty et al., 2016). اثر دما عمدتاً به نوع شکل‌گیری بارش (Groisman et al., 2005) و فعالیت انواع هسته‌های تراکم و هسته‌یخ ابر منجر می‌شود (Koehler et al., 2010)، در حالی که تغییرات رطوبت نسبی تعداد هسته‌های تراکم و هسته‌های یخ ابر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wu & Yi., 2017). رطوبت موجود در هوا به مقدار زیادی نرخ بارش سطحی را کنترل می‌نماید (Ackerman et al., 2004). رخداد گردوغبار و افزایش هواویزهای موجود در جو تعداد قطره‌های میعان‌ساز ابر و هسته‌های یخ را افزایش می‌دهد (Rosenfeld., 2000; Tosca et al., 2015) که در اثر آن و با نبود رطوبت نسبی کافی بارندگی کاهش یافته یا قطع می‌شود (زارعی و همکاران، ۲۰۱۷). در ایستگاه‌های مورد مطالعه گردوغبار باعث کاهش بارش شده است. افزایش غلظت هسته‌های میعان‌ساز و هسته‌های یخی در صورت نبود رطوبت کافی به پدیده فراباروری می‌انجامد. با مقایسه شاخص نسبت آماری هر ایستگاه با میانگین رطوبت نسبی مربوطه می‌توان نتیجه گرفت که اثر گردوغبار به‌عنوان هسته‌های میعان‌ساز و هسته‌های یخی روی تغییرات بارش تحت تأثیر مقدار رطوبت نسبی قرار گرفته است (Twomey., 1977). چنانچه در ایستگاه ایلام با بیشترین شاخص نسبت آماری ۰/۹۸ در مقایسه با ایستگاه‌های ایوان و دهلران دارای بیشترین مقدار میانگین

پوشش ابری و آثار تابشی ابر ارتباط نزدیکی با رطوبت جو دارد (Groisman et al., 2000). همچنین تغییرات رطوبت موجود در جو اثر مهمی بر تغییرات خصوصیات فیزیکی ابر همچون میزان پوشش و دوره زندگی ابر دارد (McFiggans et al., 2006). تغییرات دمایی عمدتاً دینامیک ابر را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Warren et al., 2007) و همچنین این تغییرات دما در سطوح بالایی تروپوسفر و سطح زمین با تأثیر بر میزان رطوبت نسبی (Yu et al., 2002) موجب انحرافات آماری متفاوتی روی پوشش ابرناکی می‌شوند (Miller & Tegen., 1998). اتمسفر زمین به‌صورت مستقیم تحت تأثیر چرخه روزانه تابش خورشیدی است. تابش روزانه خورشید، جو سطح زمین را گرم می‌کند که این افزایش دما به ناپایداری، حرکات همرفت و در صورت وجود رطوبت کافی به تشکیل ابر می‌انجامد (Yu et al., 2002). هواویزهای جوی از جمله گردوغبار با تأثیر بر تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و تابش طول موج بلند شده از سطح زمین، تعادل حرارتی و بودجه تابشی را تغییر داده و در نتیجه دمای سطح و جو بالایی را متأثر می‌سازند، که این تغییر دما فرایندهای جوی از جمله رطوبت نسبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پدیده گردوغبار ابرناکی را در ایستگاه‌های مطالعاتی استان ایلام افزایش داده است. میانگین ابرناکی روزهای وقوع گردوغبار ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران نسبت به روز قبل ۰/۵۳، ۰/۵ و ۰/۱ افزایش داشته است. حال آنکه ابرناکی ایستگاه‌های ایلام، ایوان و دهلران در روز بعد از وقوع گردوغبار به طور میانگین ۰/۷۳، ۰/۹ و ۰/۳۶ کمتر از ابرناکی روز رخداد گردوغبار بوده است. در روزهای وقوع گردوغبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهش دما مشاهده می‌شود (جدول ۲) که می‌توان افزایش رطوبت نسبی به دست آمده را ناشی از اثر کاهش دما دانست. McFiggans و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیان کردند که اثر گردوغبار در اثر کاهش دما به افزایش پوشش ابر منجر شده است که با نتایج به دست آمده در این مطالعه همخوانی دارد.

## یادداشت‌ها

1. biomass
2. cloud condensation nuclei
3. ice nucleus
4. supercooled
5. overseeding
6. historical regression
7. The Ratio Statistical for Historical Regression
8. randomized weather modification

رطوبت نسبی ۵۴/۴ درصد در روزهای گردوغباری در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها بوده است. حال آنکه کمترین شاخص نسبت آماری در ایستگاه دهلران با مقدار ۰/۷ به دست آمده که پایین‌ترین میانگین رطوبت نسبی در روزهای گردوغباری را با مقدار ۴۳/۸ درصد دارا است. Rosenfeld و Nirel (۱۹۹۶) و Wu و Yi (۲۰۱۷) هم بیان کردند، در شرایط کم و نامناسب رطوبت نسبی با ورود هواویزهای گردوغبار به ابر، تشکیل هسته‌های میعان‌ساز به میزان چشمگیری به کاهش بارش می‌انجامد.

## منابع

اداره هواشناسی استان ایلام، [www.ilammet.ir](http://www.ilammet.ir)

- جوادنیا، ا. و آبکار، ع.ا. ۱۳۹۶. اثر طوفان گردوغبار بر روی خصوصیات اپتیکی و تابشی هواویزها در منطقه خاورمیانه، نشریه علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۷(۱): ۱۵۷-۱۷۳.
- دارند، م. ۱۳۹۵. شناخت نواحی همگن بارشی ایران بر پایه پایگاه داده افرویدیت (۰/۲۵ درجه قوسی). ۲۳(۲): ۹۹-۱۱۴.
- رضیئی، ط. و عزیزی، ق. ۱۳۸۸. شناخت مناطق همگن بارشی در غرب ایران، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۲): ۶۵-۸۶.
- زارعی، ف.، قریلو، م. و غلیزاده چوبری، ا. ۱۳۹۶. تأثیر هواویزها بر بارش در شرایط رطوبت‌های نسبی متفاوت، مطالعه موردی، مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۱(۲): ۱۳۵-۱۵۵.
- ساری صراف، ب.، رسولی، ع.ا.، زرین، آ. و نجفی، م.س. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی واداشت‌های تابشی گردوغبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۶(۲۲): ۱۲۳-۱۴۰.
- عبد منافی، د.، مشکوتی، ا.ح.، حجام، س. و وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۵. مطالعه تأثیرات هواویزها بر خردفیزیک ابرها در شهر تهران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۵(۱۹): ۷۹-۹۳.
- عزیزی، ق.، میری، م. و نبوی، س.ا. ۱۳۹۱. ردیابی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲(۷): ۶۳-۸۱.
- مشایخی، ر.، ایران‌نژاد، پ. و علی اکبری بیدختی، ع. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی هواویزها و واداشت تابشی ناشی از آن‌ها با استفاده از مدل جفت شده هواویز HAM و مدل میان‌مقیاس پیش‌بینی وضع هوا WRF، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۶(۲): ۹۱-۱۰۷.
- ناصرزاده، م.ح. و فتحی، ح. ۱۳۹۵. شناسایی عوامل سینوپتیک و محلی مقیاس در رویدادهای گردوغباری استان ایلام، فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۶(۲۱): ۵۷-۷۳.

Ackerman, A.S., Kirkpatrick, M.P., Stevens D.E. and Toon O.B. 2004. The impact of humidity above stratiform clouds indirect aerosol climate forcing. J. Nature, 432: 1014-1017.

Andreiczuk, M., Gadian A. and Blvth A. 2014. Numerical simulations of stratocumulus cloud response to aerosol perturbation. J. Atmospheric Research, 140-141: 76-84.

- Azizi, G., Shamsipour, A., Miri, M. and Safarrad, T. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *J. Natural Hazards*, 64 (2): 1625-1638.
- Black, E., Brayshaw, D.J. and Rambeau, C.M.C. 2010. Past, present and future precipitation in the Middle East: insights from models and observations. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 368: 5173-5184.
- Chakraborty, S., Fu, R., Massie, S.T. and Stephens, G. 2016. Relative influence of meteorological condition and aerosol on the lifetime of mesoscale convective systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 (27).
- Dessens, J. and Bücher, A. 1995. Changes in minimum and maximum temperatures at the pic du midi in relation with humidity and cloudiness, 1882-1982. *J. Atmospheric Research*. 37: 147-162.
- DeMott, P.J., Prenni, G.R., McMeeking, R.C., Sullivan, M.D., Petters, Y., Tobo, M., Niemand, O., Möhler, J.R., Snider, Z. and Kreidenweis, S.M. 2015. Integrating laboratory and field data to quantify the immersion freezing ice nucleation activity of mineral dust particles. *J. Atmospheric Chemistry and Physics*, 15:393-409.
- Gabriel, K.R. 2002. Confidence regions and pooling-some statistics for weather experimentation. *Journal of Applied Meteorology*, 41: 505-518.
- Griffith, D., Yorty, D., Beall, S. and Flanagan, T. 2017. Feasibility/Design study for a winter cloud seeding program in the Lake Lopez and Salinas Reservoir drainages, California. North American Weather Consultants, Inc. Report No. WM 16-17, Project No. 15-379.
- Groisman, P.Y., Bradley R.S. and Sun, B. 2000. The relationship of cloud cover to near-surface temperature and humidity: comparison of GCM simulations with empirical data. *Journal of Climate*. 13: 1858-1878.
- Groisman, P.Y., Knight, R.W., Easterling, D.R., Karl, T.R., Gabriele, C.H. and Razuvaev, V.N. 2005. Trends in intense Precipitation in the climate record. *Journal of Climate*. 18: pp. 1326-1350.
- Gu, Y., Xue, Y., De Sales, F. and Liou, K.N. 2016. A GCM investigation of dust aerosol impact on the regional climate on North Africa and Africa and South/East Asia. *J. Climate dynamics*. 46: 2353-2370.
- Jung, E., Albrecht, B.A., Jonsson, H.H., Chen, Y.C., Seinfeld, J.H., Sorooshian, A., Metcalf, A.R., Song, S., Fang, M. and Russell, L.M. 2015. Precipitation effects of giant cloud condensation nuclei artificially introduced into stratocumulus clouds. *J. Atmospheric Chemistry and Physics*. 15:5645-5658.
- Kaiser, O. and Horenko, I. 2014. On inference of statistical regression models for extreme events based on incomplete observation data. *J. Communications in Applied Mathematics and Computational Science*. 9 (1):143-174.
- Koehler, K.A., Kreidenweis, S.M., DeMott, P.J., Petters, M.D., Prenni, A.J. and Möhler, O. 2010. Laboratory investigations of the impact of mineral dust aerosol on cold cloud formation. *J. Atmospheric Chemistry and Physics*. 10: 11955-11968.
- Kaufman, Y.J., Tanré, D. and Boucher, O. 2002. A satellite view of aerosols in the climate system, *J. Nature*. 419: 215-223.
- Koren, I., Kaufman, Y.J., Rosenfeld, D., Remer, L.A. and Rudich, Y. 2005. Aerosol invigoration and restructuring of Atlantic convective clouds. *J. Geophysical Research Letters*, 32: L14828.
- Levin, Z. and Ganor, E. 1996. The effects of desert particles on cloud and rain formation in the eastern mediterranean, the impact of desert dust the Mediterranean. *J. Springer Netherlands*, 11:77-86.
- McFiggans, G., Artaxo, P., Baltensperger, U., Coe, H., Facchini M.C., Feingold, G., Fuzzi, S., Gysel, M., Laaksonen, A., Lohmann, U., Mentel, T.F., Murphy, D.M., O'Dowd, C.D., Snider, J.R. and Wiengartner, E. 2006. The effect of physical and chemical aerosol properties on warm cloud droplet activation. *J. Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 2593-2649.
- Mehrotra, R., Li, J. and Sharma, S., 2015. A programming tool to generate multi-site daily rainfall using a two-stage semi parametric model. *Environmental Modeling and Software*, 63: 230-239.
- Miller, R.L. and Tegen, I. 1998. Climate response to soil dust aerosols, *Journal of Climate*, 11: 3247-3267.
- Nabat, P., Somot, A., Mallet, M., Sevault, F., Chiacchio, M. and Wild, M. 2015. Direct and semi-direct aerosol radiative effect on the Mediterranean climate variability using a coupled regional climate system model. *J. Climate Dynamic*, 44 (3-4): 1127-1155.
- Okado, K., Naruse, H., Tanaka, T., Nemoto, O., Iwasaka, Y., Wu, P.M., Ono, A., Duce, R., Uematsu, M., Merrill, J. and Arao, K. 1990. X-ray spectrometry of individual Asian dust-storm particles over the Japanese islands and the North Pacific Ocean. *J. Atmospheric Environment, Part A General Topics*, 24 (6): 1369-1378.

- Rosenfeld, D. and Nirel, R. 1996. Seeding effectiveness - the interaction of desert dust and the southern margins of rain cloud systems in Israel. *Journal of Applied Meteorology*. 35: 1502 - 1510.
- Rosenfeld, D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Journal of Science*. 287: 1793-1796.
- Silverman, B.A., 2010. An evaluation of eleven operational cloud seeding programs in the watersheds of the Sierra Nevada Mountains. *Atmospheric Research*, 97: 526-539.
- Shepherd, J.M., Burian, S.J. 2003. Detection of urban-inland rainfall anomalies in a major coastal city. *J. Earth Interactions* 7: 1-17.
- Seinfeld J. H. and Pankov J. F. 2003, Organic atmospheric particulate material, *Annual Review of Physical Chemistry*, 54: 121-140.
- Sum, B., Groisman, P.Y., Bradley, R.S. and Keiming, F.T. 2000. Temporal changes in the observed relationship between cloud cover and surface air temperature. *J. American Meteorological Society*, 13: 4341-4357.
- Terradellas, E., Nickovic, S. and Zhang, X. 2015. Airborne dust: a hazard to human health, environment and society. *WMO Bulletin*. 64: (2).
- Tosca, M.G., Diner, D.J., Garay, M.J. and Kalashnikova, O.V. 2015. Human-caused fires limit convection in tropical Africa: First temporal observations and attribution. *Geophysical Research Letters*, 42(11): 6492-6501.
- Twomey, S. 1977. The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. *Journal of Atmospheric Science*. 34: 1149-1151.
- Warren, S.G., Eastman, R.M. and Hahn, C.J. 2007. A survey of changes in cloud cover and cloud types over land from surface observations, 1971-96. *Journal of Climate*. 20: 717-738.
- Weare, B.C. and Mokhov, I.I. 1995. Evaluation of total cloudiness and its variability in the atmospheric model intercomparison project. *Journal of Climate*. 8: 2224-2238.
- Wu, C. and Yi, F. 2017. Local ice formation via liquid water growth in slowly ascending humid aerosol/liquid water layers observed with ground-based lidars and radiosondes. *Journal of Geophysical Research*. 122(8): 4479-4493.
- Yu, H., Liu, S.C. and Dickinson, R.E. 2002. Radiative effect of aerosol on the evolution of the atmospheric boundary layer. *Journal of Geophysical Research*. 107 (D12): AAC3-1-AAC3-14.