

## بررسی اثر احتمالی گرد و غبار روی بارش استان خراسان رضوی

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

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، آ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، استادیار، پژوهشکده هواشناسی تهران و <sup>۴</sup> استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۷

### چکیده

فرایند بارش تحت تاثیر عوامل متعدد محیطی همچون رخدادهای گرد و غبار قرار گرفته، برهم کنش این دو واقعه می تواند چرخه هیدرولوژیکی را تحت تاثیر قرار دهد. با توجه به افزایش قابل توجه رخدادهای گرد و غبار در نقاط مختلف کشور، این پژوهش با هدف بررسی اثر گرد و غبار روی تغییرات احتمالی بارش استان خراسان رضوی طی سالهای ۲۰۱۳-۲۰۰۰ انجام شد. بدین منظور، روش آماری رگرسیون تاریخی که بر پایه مقایسه بارش مشاهده‌ایی با بارش پیش‌بینی شده می‌باشد، استفاده شد. نه ایستگاه سینوپتیک به‌عنوان ایستگاه هدف انتخاب شدند. معادلات رگرسیون برای پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های هدف با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنجی با روش کمینه مربعات به‌دست آمد. سپس، با داشتن مقادیر بارش مشاهده‌ای و مقادیر پیش‌بینی شده آن، شاخص نسبت آماری رگرسیون تاریخی برای هر ایستگاه هدف محاسبه شد. ارزیابی نسبت‌های آماری هر ایستگاه به‌وسیله آزمون جایگشت مونت کارلو و با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. از آن‌جا که تغییرات رطوبت نسبی نقش مهمی در فرایند بارش دارد، ضریب همبستگی میان رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری هر ایستگاه محاسبه شد. آزمون آماری همبستگی میان متغیرهای رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری برای ایستگاه‌ها معنی‌دار بود. آزمون‌های جایگشت برای شاخص نسبت آماری ایستگاه‌ها، متغیر بودن اثر گرد و غبار روی بارش را نشان داد. چنانچه کمترین شاخص نسبت آماری ۰/۸ مربوط به ایستگاه نیشابور با رطوبت نسبی ۵۹/۴۵ درصد بود. در بررسی حاضر، واکنش بارش در برابر رخدادهای گرد و غبار متأثر از شرایط رطوبت نسبی بوده است. به‌طور کلی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در یک سامانه نمی‌توان از اجزاء آن همواره رفتار ثابتی را انتظار داشت و از این‌رو رسیدن به جمع‌بندی‌های جامع در موارد ذکر شده نیازمند مطالعات گسترده‌تر می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آزمون جایگشت، ایستگاه تربت حیدریه، ایستگاه نیشابور، رطوبت نسبی، مقدار بارش

### مقدمه

اطلاعات مرتبط با فرایندهای هیدرولوژیکی، پیچیدگی و عدم قطعیت تغییرات اقلیمی (Ott و همکاران، ۲۰۰۴) رفتارهای غیر خطی و طبیعت متغیر آن‌ها در مکان و زمان‌های مختلف (Zehe و Sivapalan،

حفظ و توسعه پایدار منابع طبیعی و مدیریت حوزه‌های آبخیز نیازمند درک و شناسایی فرایندهای مرتبط با چرخه‌های هیدرولوژیکی است. کمبود

میعان‌ساز و هسته‌های یخ به‌طور کامل شناخته شده نیستند (DeMott و همکاران، ۲۰۱۵).

Rosenfeld و Nirel (۱۹۹۶) در مطالعات انجام شده در فلسطین اشغالی، نشان دادند که برهم‌کنش ذرات گرد و غبار و سامانه‌های بارانی متغیر می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که جریان گرد و غبار با وارد شدن به ابر قادر به باروری ابرها به‌وسیله ذرات گرد و غبار بیابانی بوده، باعث تشکیل هسته‌های میعان‌ساز در ابر می‌شوند. در نهایت، در صورت وجود منابع رطوبت مناسب، مقدار بارش افزایش و در صورت عدم وجود رطوبت کافی، تنها تعداد زیادی هسته‌های میعان‌ساز ابر تشکیل شده و بارندگی متوقف می‌شود. همچنین، Rosenfel (۲۰۰۰) با استفاده از برخی داده‌های ماهواره‌ای، فرایندهای شکل‌گیری بارش را در مناطق شهری و صنعتی استرالیا بررسی کرد. نتایج حاصله حاکی از آن بود که شعاع موثر قطرک‌های شکل گرفته در ابرهای تحت تاثیر هواویزهای آلودگی صنعتی و انسان‌ساز کوچک شده که در نتیجه آن، به‌هم- آمیختگی قطرک‌ها برای تشکیل قطرات باران ناکارآمد بوده و بارندگی تشکیل نمی‌شود. Shepherd و Burian (۲۰۰۳) نیز بارش چند شهر ساحلی در آمریکا را با استفاده از داده‌های رادار، ماهواره و ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها نشان دادند، وزش هوای مرطوب از دریا و 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. از طرفی، 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 همبستگی قوی بین حضور هواویزها و ویژگی‌های خردفیزیک ابرهای همرفتی وجود دارد. در فرایندهای همرفت هواویزها روی شعاع موثر قطرک تاثیر گذاشته و باعث کاهش آن می‌شوند که قطرک‌های حاصله در بالاسوهای شدید به‌وسیله بادهای قوی بالا کشیده شده و در ارتفاع‌های بالاتر یخ می‌زنند. گرمای نهان آزاد شده حاصل از این انجماد باعث افزایش همرفت می‌شود. همچنین، Teller و Levin (۲۰۰۶) با استفاده از یک مدل عددی ابر اثرات

(۲۰۰۹) مطالعه چرخه‌های هیدرولوژیکی را دشوار می‌سازد. از جمله عوامل تاثیرگذار بر کیفیت و کمیت فرایندهای هیدرولوژیکی "هواویزها" هستند. هواویزها ذرات جامد یا مایع معلق موجود در جو بوده که می‌توانند منشاء طبیعی یا انسان‌ساز داشته باشند. به‌طور کلی، با در نظر گرفتن منشاء تولید می‌توان هواویزها را در چهار دسته کلی شامل گرد و غبار، نمک دریا، مواد زیست‌توده<sup>۱</sup> و غبار صنعتی-شهری قرار داد (Chin و همکاران، ۲۰۰۹). تقریباً ۴۰ درصد هواویزهای لایه تروپوسفر ذرات گرد و غبار ناشی از فرسایش بادی هستند (Terradellas و همکاران، ۲۰۱۵). هواویزهای جو و ذرات گرد و غبار می‌توانند با جذب یا پراکنش تابش خورشید و مادون قرمز باعث واداشت تابشی شوند. همچنین، آن‌ها با تغییر ویژگی‌های ابر به‌صورت غیر مستقیم واداشت تابشی از ابرها را نیز تغییر می‌دهند (Miller و Tegen، ۱۹۹۸). از این‌رو هواویزهای گرد و غبار بر ترازمندی تابش جو اثرگذار می‌باشند (Lohman و همکاران، ۲۰۱۰). ذرات هواویز و گرد و غبار راه‌یافته به ابر می‌توانند بستر مناسبی برای چگالش بخار آب ایجاد کنند که این ذرات هسته‌های میعان‌ساز ابر<sup>۲</sup> نامیده می‌شوند (Jung و همکاران، ۲۰۱۵). علاوه بر آن، هواویزها می‌توانند نقش عمده‌ای در تشکیل هسته یخ<sup>۳</sup> برای تولید بلورهای یخ ناهمگن در ابرهای سرد بر عهده داشته باشند (DeMott و همکاران، ۲۰۱۵). این نقش هواویزها می‌تواند سبب افزایش قطرک‌ها، اندازه آن‌ها و فرایندهای هم‌آمیزی شده و باعث تغییر در بارش گرم شوند (Jung و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر، با تولید هسته‌های یخ، فرایندهای بارش سرد را نیز تحت تاثیر قرار دهند (Koehler و همکاران، ۲۰۱۰). در صورت عدم حضور هواویزها، میعان بخار به مایع و یا تشکیل هسته‌های یخ به دمای اُبرسرد<sup>۴</sup> در حدود ۱۳- درجه سانتی‌گراد و شرایط فوق اشباع در حدود ۴۰۰ درصد احتیاج دارد (Ganor و Levin، ۱۹۹۶). با این حال، فرایندهای چگونگی تشکیل و عملکرد هسته‌های

<sup>1</sup> Biomass

<sup>2</sup> Cloud condensation nuclei

<sup>3</sup> Ice nucleus

<sup>4</sup> Supercooled

نشان دادند که شاخص هواویز همبستگی منفی با قله ابر، مسیر آب ابر و شعاع موثر قطرکهای ابر دارد و دلیل آن را پدیده فراباروری<sup>۳</sup> بیان کردند. در فراباروری تحت تاثیر افزایش غلظت هواویز رقابت هواویزها برای جذب رطوبت بالا رفته و باعث افزایش تعداد هسته-های میعان ساز ابر می شوند. Zarei و همکاران (۲۰۱۷) نیز با استفاده از مدل WRF<sup>۴</sup> تاثیر هواویز بر بارش را در شرایط متفاوت رطوبت نسبی مطالعه کردند. نتایج شبیه سازی آن ها نشان داد، بالا رفتن رطوبت نسبی می تواند روی افزایش رشد هواویزهای آب دوست<sup>۵</sup> اثر گذاشته و بارش را افزایش دهد، در حالی که با کاهش رطوبت نسبی جو بارش کاهش یافته و در برخی موارد متوقف شده است. به طور کلی، باید در نظر داشت که اثر هواویزها روی شکل گیری ابر، بارندگی و توسعه ابر در برگیرنده عدم قطعیت های زیادی در مقیاس زمان و مکان می باشد (Lohmann و همکاران، ۲۰۱۰). عمده سامانه های منجر به وقوع گرد و غبار در استان خراسان رضوی از شرایط سینوپتیکی منطقه پیروی می نمایند. از طرفی با توجه به اثرات مستقیم و غیر مستقیم توفان های گرد و غبار بر عوامل اقلیمی خصوصاً بارش، بررسی اثر وقایع گرد و غبار بر تغییرات بارش از اهمیت به سزائی برخوردار است. بر این اساس، مهمترین هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات احتمالی بارش تحت تاثیر گرد و غبار در برخی مناطق استان خراسان رضوی است.

### مواد و روش

**روش پژوهش:** استان خراسان رضوی دارای وسعتی بیش از ۱۲۷ هزار کیلومتر مربع بوده و بین عرض جغرافیایی ۳۳° ۵۲' تا ۳۷° ۴۲' عرض شمالی و طول جغرافیایی ۱۹° ۵۶' تا ۶۱° ۱۶' طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

از لحاظ سینوپتیکی توفان های رعد و برق در استان خراسان از دو الگوی کلی پیروی می نمایند. در الگوی اول، در تراز دریا دو مرکز چرخند، یکی روی خراسان شمالی و دیگری روی سودان ایجاد شده و تشکیل یک

هواویزها را روی بارش و ابرهای تحت حاره ای بررسی کردند. نتایج آن ها حاکی از آن بود که با فعال شدن هواویزهای گرد و غبار و ایجاد هسته های میعان ساز ابر، هسته های یخ و غول هسته های میعان ساز ابر، در صورت وجود رطوبت نسبی کافی مقدار بارندگی افزایش می یابد. van Den Heever و همکاران (۲۰۱۱) هم با استفاده از یک مدل حل ابر<sup>۱</sup> تاثیر هواویزها را روی ویژگی های طیف زیادی از ابرها بررسی کردند. نتایج حاصله موید آن بود که اثر هواویزهای گرد و غبار روی افزایش یا کاهش بارش بستگی به حالت ابر دارد. آن ها نشان دادند، غلظت بالای هسته های میعان ساز منجر به کاهش بارش ابرهای کم ارتفاع می شود، اما بارش تولیدی از ابرهای همرفت عمیق را افزایش می دهد. Tosca و همکاران (۲۰۱۵) نیز در پژوهشی دیگر با استفاده از مشاهدات صحرائی به بررسی برهم کنش ابر-هواویز در مناطق حاره ای آفریقا پرداختند. نتایج آن ها حاکی از آن بود که هواویزهای ناشی از سوختن بیوماس که غالباً در فصل های خشک با رطوبت نسبی پائین رخ داده، باعث کاهش همرفت و بارش می شود. آن ها نشان دادند که با ورود هواویزها به ابر، قطرک های افزایش و شعاع موثر آن ها کاهش یافته، در نتیجه بازتابش موج کوتاه از ابر افزایش می یابد. از این رو، سطح زیرین ابر سرد شده که حاصل آن کاهش حرکات همرفت بوده، در نهایت بارش کاهش می یابد. همچنین، Gibbons و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی خردساختار گروه طیفی ابر<sup>۲</sup>، اثر گرد و غبار صحارا را روی همرفت عمیق حاره بررسی کردند. آن ها در نتایج خود نشان دادند که شکل گیری یخ های ناهمگن در هسته همرفت و انتقال آن به منطقه استراتیفرم همراه با ریزش سریع، باعث تشکیل مقدار بیشتری از ذرات بزرگ برف می شود. در مطالعات داخلی نیز برخی پژوهش ها در زمینه بررسی اثر هواویزها روی ساختار ابر انجام شده است. Abdemanafi و همکاران (۲۰۱۶) در دوره زمانی سال های ۲۰۰۳-۲۰۱۲ با استفاده از سنجنده مادیس اثر هواویزها را روی ساختار خردفیزیک ابر در شهر تهران مورد بررسی قرار دادند. آن ها در نتایج حاصله

<sup>2</sup> Over seeding

<sup>3</sup> Weather Research and Forecasting

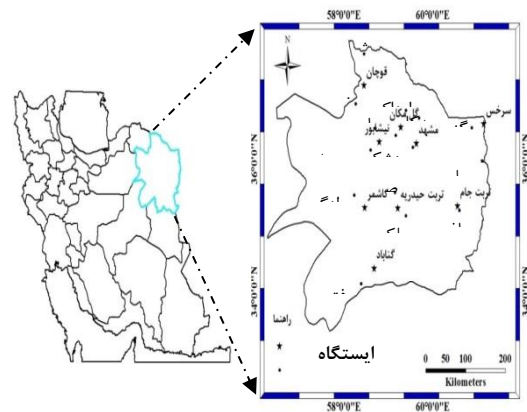
<sup>4</sup> Hygroscopic

<sup>4</sup> Cloud resolving model

<sup>1</sup> Spectral bin microphysics

بررسی اولیه داده‌ها به منظور اجتناب از خطا و عدم ورود خطاهای ناشی از برآورد ایستگاه‌های فاقد آمار در برخی زمان‌ها، در صورت وجود نواقص آماری از بازسازی نواقص اجتناب و این ایستگاه‌ها حذف شده و سال‌های آماری ۲۰۱۳-۲۰۰۰ انتخاب شدند. با توجه به هدف این پژوهش برای شناسایی تغییرات ناشی از اثر هواویزهای رسوبات بادی روی بارش، روش آماری رگرسیون تاریخی<sup>۱</sup> استفاده شد (Rosenfeld و Nirel، ۱۹۹۶). از این‌رو، نه ایستگاه سینوپتیک دارای شرایط ذکر شده به‌عنوان ایستگاه هدف انتخاب شدند (شکل ۱). دلیل انتخاب ایستگاه‌های سینوپتیک به‌عنوان ایستگاه هدف، داشتن اطلاعات وقوع گرد و غبار و زمان رخداد آن در ایستگاه می‌باشد که ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو فاقد این داده‌ها هستند. برخی دگرگونی‌های جوی در قرن ۲۱ سبب تغییر الگوهای فشار و جابه‌جایی شمال‌سوی جت‌بادهای منطقه خاورمیانه شده که بر اثر آن غالباً بارش‌ها در این مناطق تحت تاثیر عوامل منطقه‌ای قرار می‌گیرند (Black و همکاران، ۲۰۱۰). از این‌رو، تمام ایستگاه‌های دارای اطلاعات کامل در اطراف ایستگاه هدف به‌عنوان ایستگاه‌های بالقوه شاهد مورد بررسی قرار گرفتند. بدین‌منظور، در مرحله اول همبستگی بارش‌های روزانه این ایستگاه‌ها با ایستگاه هدف مورد نظر به‌دست آمده (Mehrotra و همکاران، ۲۰۱۵) و آن‌هایی که بالاترین ضریب همبستگی با ایستگاه هدف داشتند، به‌عنوان ایستگاه‌های شاهد انتخاب شدند (شکل ۱). سپس، معادلات رگرسیون با روش کمینه 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 برای رگرسیون تاریخی<sup>۲</sup> (RSHR) زمان‌های مختلف مناطق هدف محاسبه شد. شاخص نسبت آماری به‌صورت گسترده در ارزیابی پروژه‌های تغییرات آب و هوایی تصادفی<sup>۳</sup> و ارزیابی اثربخشی باروری روی مقدار بارش و یا میزان جریان رودخانه منطقه هدف به‌کار می‌رود (Gabriel، ۲۰۰۲؛ Silverman، ۲۰۱۰).

مرکز واچرخند روی دریای عربی را داده که سبب انتقال هوای گرم و مرطوب به درون ایران می‌شود. با ریزش هوای سرد عرض‌های بالا روی هوای گرم و مرطوب تراز زیرین شرایط ناپایداری برای منطقه ایجاد می‌شود. در الگوی دوم، در تراز دریا مرکز چرخند روی شمال عراق و جنوب شرق ترکیه بسته شده که زبانه شرقی آن تا شمال شرق ایران نفوذ می‌کند، در مقابل با نفوذ زبانه واچرخندی از سمت شرق روی جنوب شرق ایران هوای گرم و مرطوب دریای عرب روی استان خراسان نفوذ می‌کند (Lashkari و Amini، ۲۰۱۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هدف (سینوپتیک) و شاهد (باران‌سنجی وزارت نیرو) استان خراسان رضوی

در پهنه‌بندی بارش برای ایران (Darand، ۲۰۱۶) بخش نوار غربی استان خراسان رضوی در پهنه بسیار کم بارش با متوسط بارندگی ۱۵۴/۴ میلی‌متر قرار گرفته و اوج بارش در ماه ژانویه رخ می‌دهد. بخش شرقی استان خراسان رضوی در پهنه کم‌بارش شمالی با میانگین بارش ۲۶۸/۳ میلی‌متر جای می‌گیرد.

برای بررسی تغییرات احتمالی بارش ناشی از اثر هواویزهای گرد و غبار داده‌های مورد نیاز که شامل تمام داده‌های مربوط به بارش منطقه مورد مطالعه اعم از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و باران‌سنجی وزارت نیرو و رخدادهای گرد و غبار و زمان آن از سازمان هواشناسی گرفته شدند. سپس، به‌دلیل عدم استفاده دو سازمان فوق از مبدأ تاریخی مشابه، تاریخ داده‌های وزارت نیرو به تاریخ میلادی تبدیل شد. در مرحله

<sup>1</sup> Historical regression

<sup>2</sup> The Ratio Statistical for Historical Regression

<sup>3</sup> Randomized weather modification

احتمالی شبیه‌سازی می‌کند. این روش، از نظر شبیه‌سازی یک روش ایستا به حساب آمده، کاربرد آن در استنباط آماری "حل مسئله تصادفی آزمون فرض" است (Silverman، ۲۰۱۰). 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 گرد و غبار و همچنین، تعدادی دیگر که در روزهای وقوع گرد و غبار به‌دست آمده‌اند (به‌عنوان اثر گرد و غبار روی بارش) به‌وسیله روش مونت کارلو شبیه‌سازی شد. فرایندهای آزمون معنی‌داری جایگشت شامل مقایسه اطلاعات مشاهده شده با نمونه‌های تصادفی تولید شده مطابق با فرضیه آزمون است (Griffith و همکاران، ۱۹۹۷؛ Silverman، ۲۰۱۰). همچنین، با در نظر گرفتن اثرگذاری رطوبت نسبی روی بارش و وقایع جوی، بررسی رابطه میان رطوبت نسبی و بارندگی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. از آنجائی که در مطالعه حاضر، تغییرات بارش تحت تاثیر وقوع گرد و غبار مورد نظر بوده، به‌وسیله شاخص نسبت آماری بررسی می‌شود، ضریب همبستگی میان رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS18 محاسبه شد (Thornton و همکاران، ۲۰۰۰).

### نتایج و بحث

پس از به‌دست آوردن معادله‌های رگرسیون پیش‌بینی بارش برای هر ایستگاه (جدول ۱)، مقدار بارش هر واقعه بارندگی برای هر ایستگاه تخمین زده شد و شاخص نسبت‌های آماری آن‌ها محاسبه شد. سپس، رخداد‌های همزمان بارش و وقوع گرد و غبار برای هر ایستگاه مشخص شد.

مقایسه آماری شاخص نسبت‌های آماری دو نمونه وقایع بارش در برابر وقایع بارش همزمان با رخداد گرد و غبار با استفاده از آزمون جایگشت مونت کارلو انجام شد. نتایج تجزیه و تحلیل نسبت‌های آماری حاصل از آزمون جایگشت مونت کارلو در جدول ۲ ارائه شده است.

شاخص نسبت آماری حاصل از نتایج آماری مقایسه‌ای نشان‌دهنده میزان تاثیر 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، از طرفی، کوچک‌تر شدن از یک بیانگر کاهش بارندگی است. در این مطالعه، با در نظر گرفتن نقش گرد و غبار به‌عنوان هواویز از روش نسبت آماری برای ارزیابی اثر گرد و غبار روی بارش استفاده شده است.

$$RSHR = SR/SR_{PRED} \quad (1)$$

که در آن،  $RSHR$  نسبت آماری برای رگرسیون تاریخی،  $SR$  نسبت بین بارش مشاهده شده به میانگین بارش کل دوره آماری منطقه هدف و  $SR_{PRED}$  نسبت بین بارش پیش‌بینی شده به میانگین بارش پیش‌بینی شده کل دوره آماری می‌باشد.

نسبت‌های به‌دست آمده رابطه (۱) با توجه به وقوع یا عدم وقوع گرد و غبار معرف نمونه‌های آماری اثر گرد و غبار بر بارش و روزهای پایه بارندگی می‌باشند. برای تحلیل معنی‌داری نسبت‌های آماری بین روزهای وقوع گرد و غبار 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 مولفه‌های یک مجموعه متناهی است. تجزیه و تحلیل جایگشت یک روش ناپارامتریک بوده که صرفاً بر اساس 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<sup>۱</sup> و اگر فقط تعداد زیادی از جایگشت‌های ممکن آزمایش شود، آزمون جایگشت تصادفی<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. از جمله روش‌های نمونه‌برداری در آزمون جایگشت، نمونه‌برداری و شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد. مونت کارلو یک نمونه تصادفی نسبتاً کوچک را از تکرارهای

<sup>1</sup> Exact test

<sup>2</sup> Randomization

جدول ۱- معادله‌های رگرسیون ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	معادله	ضریب تعیین
ترت حیدریه	$Y=0.6(X_1)+0.3(X_2)+0.12$	$X_1$ : ملک‌آباد - $X_2$ : صنوبر
سرخس	$Y=0.73(X_1)+0.13(X_2)+0.14$	$X_1$ : گنبدلی - $X_2$ : پل خاتون
ترت جام	$Y=0.79(X_1)+0.21(X_2)$	$X_1$ : گنبدلی - $X_2$ : پل خاتون
قوچان	$Y=0.8(X_1)+0.14(X_2)+0.08$	$X_1$ : شمخال - $X_2$ : ینگجه آبشار
گناباد	$Y=0.43(X_1)+0.3(X_2)+0.27$	$X_1$ : فتح‌آباد - $X_2$ : کاشمر
گل‌مکان	$Y=0.8(X_1)+0.2$	$X_1$ : ارداک
کاشمر	$Y=0.68(X_1)+0.32(X_2)$	$X_1$ : لنگرود - $X_2$ : گناباد
مشهد	$Y=0.57(X_1)+0.39(X_2)$	$X_1$ : زشک - $X_2$ : سد کارده
نیشابور	$Y=0.66(X_1)+0.35(X_2)$	$X_1$ : محمدآباد - $X_2$ : بار اریه

(جدول ۲). نتایج شاخص نسبت‌های آماری برای ایستگاه‌های نام‌برده نشان‌دهنده آن می‌باشد که اثر گرد و غبار روی بارش منفی بوده، مقدار احتمالی آن را کم کرده است. در مقابل ایستگاه‌های ترت جام، سرخس و ترت حیدریه به ترتیب دارای نسبت‌های آماری  $1/2$ ،  $1/4$  و  $1/5$  هستند (جدول ۲). این نتایج نشان می‌دهند که اثر گرد و غبار باعث افزایش احتمالی مقدار بارش این ایستگاه‌ها شده است.

بررسی رابطه متقابل میان رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری به‌عنوان تغییرات بارش ناشی از اثر هواویزهای گرد و غبار با استفاده از آزمون آماری همبستگی انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده از شاخص نسبت آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ تفاوت‌های بارش تحت تاثیر گرد و غبار تغییرات یکنواختی را نشان نمی‌دهد. چنانچه نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو برای آزمون جایگشت نشان می‌دهد، جدول ۲ کمترین شاخص نسبت آماری مقدار  $0/8$  برای ایستگاه نیشابور که نشان‌دهنده اثر منفی گرد و غبار روی مقدار بارش بوده، در برابر بیشترین مقدار  $1/5$  برای ایستگاه ترت حیدریه که به معنی اثر مثبت گرد و غبار روی مقدار بارندگی بوده، به‌دست آمده است (جدول ۲). آزمون جایگشت مونت کارلو برای ایستگاه‌های مشهد، کاشمر، گناباد، گل‌مکان و قوچان به ترتیب نسبت‌های آماری  $0/81$ ،  $0/85$ ،  $0/9$ ،  $0/95$  و  $0/95$  را محاسبه کرد

جدول ۲- مقادیر آزمون جایگشت مونت کارلو برای شاخص نسبت آماری، سطح معنی‌داری و فاصله اطمینان آن برای ایستگاه‌های هدف

ایستگاه	نسبت آماری	سطح معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۰ درصد	
			حد بالا	حد پایین
ترت حیدریه	$1/5$	$0/05$	$1/8$	$1/2$
سرخس	$1/4$	$0/04$	$1/7$	$1/1$
ترت جام	$1/2$	$0/03$	$1/45$	$0/95$
قوچان	$0/95$	$0/03$	$0/98$	$0/92$
گناباد	$0/9$	$0/08$	$0/92$	$0/88$
گل‌مکان	$0/9$	$0/01$	$0/94$	$0/86$
کاشمر	$1/85$	$0/05$	$0/9$	$0/8$
مشهد	$0/8$	$0/09$	$0/9$	$0/7$
نیشابور	$0/8$	$0/04$	$0/83$	$0/77$

وقایع جوی و رابطه آن‌ها با یکدیگر نظیر تاثیرپذیری بارش از رطوبت نسبی Krueger و همکاران (۲۰۰۳) و یا برهم‌کنش گرد و غبار و رطوبت نسبی از همدیگر Nicholson (۲۰۱۳) بازخوردهای گوناگونی در چرخه

نتایج حاصل از آزمون آماری همبستگی میان متغیرهای رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده رابطه مستقیم و معنی‌دار بین متغیرهای مورد مطالعه می‌باشد. تغییرات

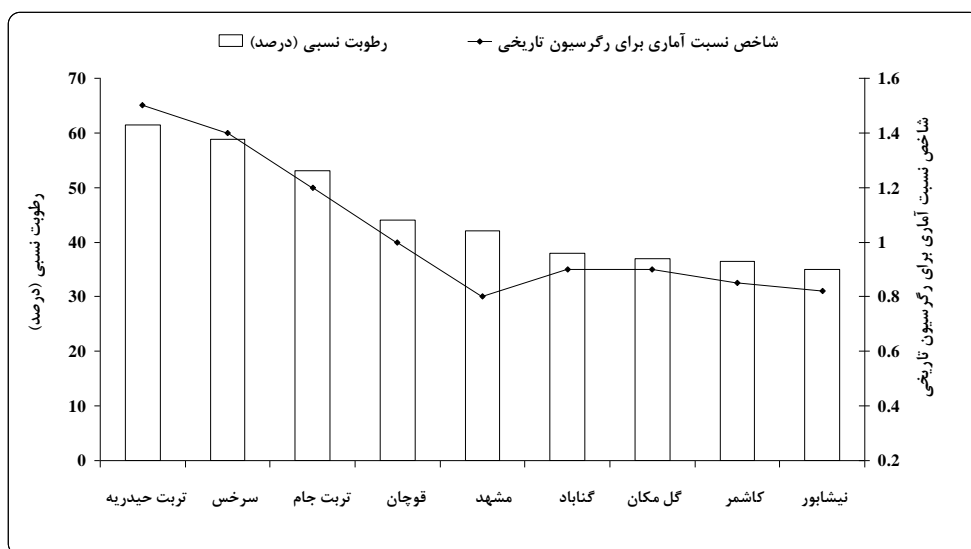
از آمارهای مربوطه استخراج و میانه آن‌ها برای هر ایستگاه که متناظر با نسبت آماری حاصل از آزمون جایشگت مونت کارلو برای همان ایستگاه بوده همراه با شاخص نسبت آماری آن در شکل ۲ ارائه شده است.

بارش ایجاد می‌نمایند. علاوه بر آن، اثر هواویز روی خصوصیات ابر به مقدار زیادی به مقدار رطوبت نسبی وابسته است (Fan و همکاران، ۲۰۰۷). میانگین رطوبت نسبی متناظر با هر نسبت آماری

جدول ۲- ضرایب همبستگی و سطح معنی‌داری بین متغیر رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری ایستگاه‌های هدف

رطوبت نسبی (درصد)		متغیر	ایستگاه هدف
سطح معنی‌داری	ضریب همبستگی		
۰/۰۸	۰/۷*	شاخص نسبت آماری	ترت حیدریه
۰/۷۱	۰/۷۱**		سرخس
۰/۷	۰/۷*		ترت جام
۰/۷۸	۰/۷۸**		قوچان
۰/۸	۰/۸**		گناباد
۰/۸۲	۰/۸۲**		گل‌مکان
۰/۷۷	۰/۷۷**		کاشمر
۰/۶۷	۰/۶۷*		مشهد
۰/۸۵	۰/۸۵**		نیشابور

\*\* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد و \* معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد



شکل ۲- رطوبت نسبی (درصد) ایستگاه‌های هدف (سینوپتیک) استان خراسان رضوی

شاخص نسبت آماری را دارند. در مقابل، ایستگاه‌هایی با نسبت آماری کمتر از یک که حاکی از اثر منفی گرد و غبار روی بارش آن‌ها بوده، در بیشتر موارد رطوبت نسبی کمتری نیز دارند. رطوبت نسبی ایستگاه‌های نیشابور، کاشمر، گل‌مکان، گناباد، مشهد و قوچان به ترتیب ۳۸، ۳۸/۵، ۳۹، ۴۰، ۴۶ و ۴۷ درصد به دست آمده است (شکل ۲) که دارای نسبت آماری کمتر از یک می‌باشند (جدول ۲). از این‌رو، می‌توان نتیجه

بررسی شکل ۲ نشان‌دهنده روند کاهشی و افزایشی نسبتاً مشابهی برای نسبت آماری و رطوبت نسبی هر ایستگاه است. چنانچه در اغلب ایستگاه‌ها در شرایطی که رطوبت نسبی بالا است، شاخص نسبت آماری نیز بالا بوده و نشان‌دهنده اثر مثبت گرد و غبار روی بارش می‌باشد. به‌نحوی که ایستگاه‌های ترت حیدریه، سرخس و ترت جام با رطوبت‌های نسبی ۵۹/۴۵، ۵۸/۷۵ و ۵۳/۱ درصد (شکل ۲) بالاترین

می‌شود. از این‌رو، در این محیط‌ها تبخیر افزایش یافته و بارندگی کاهش می‌یابد (Lee و همکاران، ۲۰۰۸). به‌نظر می‌رسد، در پژوهش حاضر تحت شرایط رطوبت نسبی بالاتر، ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، سرخس و تربت‌جام که دارای نسبت آماری بالاتر از یک بوده و گرد و غبار باعث افزایش بارندگی شده، هواویزهای گرد و غبار با استفاده از شرایط مناسب رطوبتی، تشکیل هسته‌های متراکم کننده و هسته‌های یخی را در ابر تسهیل کرده، بستر مناسبی برای فرایندهای بارش ایجاد کرده‌اند. van Den Heever و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که هسته‌های میعان‌ساز می‌توانند منجر به افزایش بارش شوند. همچنین، Gibbons و همکاران (۲۰۱۷) گزارش دادند که با شکل‌گیری یخ‌های ناهمگن مقدار بارش افزایش یافته است. از طرف دیگر، در ایستگاه‌هایی که نسبت آماری کمتر از یک مشاهده شده، می‌توان نتیجه گرفت که کاهش رطوبت نسبی باعث تأثیر منفی گرد و غبار روی بارش شده است. کمبود رطوبت نسبی ممکن است، منجر به رقابت قطرک‌ها برای جذب رطوبت نسبی موجود شده و تنها تعداد قطرک-هایی با شعاع کوچک افزایش یابد. Nirel و Rosenfeld (۱۹۹۶) هم بیان کردند، در شرایط کم و نامناسب رطوبت نسبی با ورود هواویزهای گرد و غبار به ابر، تشکیل هسته‌های میعان‌ساز منجر به کاهش بارش به میزان قابل توجهی می‌شود. همچنین، Yi و Wu (۲۰۱۷) نشان دادند که با تشکیل هسته‌های یخ در صورت کمبود رطوبت نسبی تنها ارتفاع ابر افزایش یافته، مقدار بارندگی کاهش می‌یابد. در مجموع، با توجه به جدول همبستگی متغیرهای رطوبت نسبی و شاخص نسبت آماری، در ایستگاه‌های مورد مطالعه دو متغیر مذکور با یکدیگر دارای همبستگی نسبتاً خوبی هستند. به‌گونه‌ای که در ایستگاه‌های تربت‌حیدریه، سرخس و تربت‌جام با رطوبت‌های نسبی بیشتر شاخص نسبت آماری نیز بالاتر بوده که نشان‌دهنده تأثیر مثبت گرد و غبار روی بارش است. از طرف دیگر، با کم شدن رطوبت نسبی، شاخص نسبت آماری نیز کم شده که به معنای تأثیر منفی گرد و غبار روی بارندگی

گرفت که تغییرات نسبت آماری هر ایستگاه هدف تا حدودی مشابه تغییرات رطوبت نسبی آن ایستگاه می‌باشد. چنانچه در ایستگاه‌هایی که شاخص نسبت آماری بالا است، رطوبت نسبی نیز بالا بوده، در ایستگاه‌های دیگری که این شاخص پائین است، رطوبت نسبی نیز کم می‌باشد. بخشی از ذرات گرد و غبار به‌عنوان بستری مناسب برای چگالش بخار آب عمل کرده، سپس قطرک‌های فعال تشکیل شده و هسته‌های میعان‌ساز ابر را می‌سازند، همچنین، این ذرات می‌توانند با کاهش دما تبدیل به هسته‌های یخ شوند. پوشش قابل حل روی سطح ذرات گرد و غبار می‌تواند توانایی این ذرات را به‌عنوان هسته‌های میعان‌ساز ابر افزایش دهد (Levin و همکاران، ۱۹۹۶). همچنین، فعل و انفعالات برخی گازهای جوی مانند  $N_2O_5$  روی سطح هواویز نیز موجب فعال شدن ذرات گرد و غبار می‌شود (Mogilia و همکاران، ۲۰۰۶). ذرات گرد و غبار جو با جذب رطوبت نسبی از لحاظ اندازه رشد کرده (Stolzenburg و McMurry، ۱۹۸۹) و به حالت کره‌ای نزدیک‌تر می‌شوند، سپس، دو ذره در هم ادغام شده و فاز قطرات آب‌دوست را تشکیل می‌دهند (Krueger و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین، ذرات بزرگ گرد و غبار می‌توانند به‌عنوان غول هسته‌های میعان‌ساز ابر ( $GCCN^1$ ) عمل کنند. این ذرات نمی‌پذیرد با شعاع‌هایی حدوداً بزرگ‌تر از سه میکرون می‌توانند به‌عنوان نطفه برای تشکیل قطرات تجمع کرده و موجب تشکیل ذرات با اندازه‌های بارشی شوند (Jung و همکاران، ۲۰۱۵). رطوبت نسبی موجود در جو می‌تواند همراه با جریان‌های بالارو وارد ابر شده و فرایندهای تشکیل هستک‌های بارشی و هسته‌های یخی را تقویت کند (Yi و Wu، ۲۰۱۷). در نتیجه، تبخیر کاهش و چگالش روی قطرک‌های میعان‌ساز و هسته‌های یخی افزایش یافته که در نهایت منجر به افزایش بارش می‌شود (Lee، ۲۰۱۱). از طرف دیگر، اختلاط موثر حباب‌های هوا با محیط تحت اشباع بدون ابر قسمت تحتانی ابر در محیط‌هایی با رطوبت نسبی کمتر منجر به تبخیر آب‌شهاب‌ها و کاهش جرم آن‌ها

<sup>1</sup> Giant Cloud Condensation Nuclei



کافی، بارندگی کاهش یافته و یا قطع می‌شود (Zarei و همکاران، ۲۰۱۷).

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، بارندگی زمانی به‌وقوع می‌پیوندد که هوای مرطوب و عامل صعود در یک منطقه فراهم باشد، ولی اثرگذاری عوامل دیگر محیطی نظیر هواویزها نیز فرایند بارش را تحت تاثیر قرار می‌دهند. در میان هواویزها، گرد و غبار بیشترین ذرات موجود در جو را تشکیل می‌دهند. توفان‌های گرد و غبار علاوه بر آن که بر روی مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اثرات مخربی برجای می‌گذارند، فرایندهای طبیعی و اقلیمی را نیز دستخوش تغییر قرار داده، باعث برهم خوردن چرخه‌های هیدرولوژیکی می‌شوند که از آن جمله تغییر مقادیر بارش می‌باشد. همچنان که در این مطالعه نیز مشاهده می‌شود، گرد و غبار می‌تواند مقدار بارندگی را تحت تاثیر قرار دهد. در ایستگاه‌های تربت حیدریه، سرخس و تربت‌جام رخداد گرد و غبار باعث افزایش بارش شده، حال آن که در سایر ایستگاه‌ها مقدار بارش را کاهش داده است. به‌نظر می‌رسد، تغییر اثر گرد و غبار روی مقدار بارش تحت تاثیر رطوبت نسبی محیط می‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت که در یک سامانه نمی‌توان از اجزاء آن همواره رفتار ثابتی را انتظار داشت و با تغییر هر بخش، سایر اجزاء آن نیز دست‌خوش تغییرات قرار می‌گیرند. از این‌رو، رسیدن به جمع‌بندی‌های جامع در موارد ذکر شده نیازمند مطالعات گسترده‌تر می‌باشد.

می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مطالعاتی، در ایستگاه مشهد ضریب هبستگی میان دو متغیر مذکور در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها کمترین مقدار را داشته و در حدود ۰/۶۷ درصد می‌باشد. دقت در شکل ۲، نشان می‌دهد که ایستگاه‌های کاشمر، گل‌مکان و گناباد با مقادیر رطوبت نسبی ۳۶/۵، ۳۷ و ۳۸ درصد و شاخص‌های نسبت آماری ۰/۸۵، ۰/۹ و ۰/۹ در مقایسه با مشهد با رطوبت نسبی ۴۲ درصد و شاخص نسبت آماری ۰/۸، نسبت‌های آماری بالاتری در مقایسه با مشهد داشته‌اند. موقعیت مکانی ایستگاه مشهد تحت تاثیر شرایط شهرنشینی قرار گرفته و یکی از کلان‌شهرهای ایران محسوب می‌شود. در مناطق شهری، مصرف بالای سوخت‌های فسیلی و همچنین، توسعه صنایع می‌تواند آلاینده‌هایی نظیر مونوکسیدکربن با جذب بالای تابش را تولید کند. جذب بالای تابش برهم‌کنش هواویز-ابر-بارش را به مقدار زیادی تحت تاثیر قرار می‌دهد، از این‌رو، الگوی بارش و مدت زمان آن تغییر می‌کند (Chin و همکاران، ۲۰۰۹). وجود آلاینده‌های انسان‌ساز و صنعتی در کلان‌شهرها و از جمله شهر مشهد و نقش آن‌ها به‌عنوان هواویز نیز فرایندهای بارش را متاثر می‌سازد. رخداد گرد و غبار در کلان‌شهر مشهد که خود دارای هواویزهای انسان‌ساز و صنعتی می‌باشد، می‌تواند روی غلظت هواویزها اثر بگذارد. در چنین شرایطی، انتظار می‌رود تا تعداد قطرک‌های میعان‌ساز ابر و هسته‌های یخ افزایش یابد (Rosenfeld, ۲۰۰۰؛ Tosca و همکاران، ۲۰۱۵) که در صورت نبود رطوبت نسبی

### منابع مورد استفاده

1. Abdemanafi, D., A.H. Meshkati, S. Hejam and M. Vazifedoust. 2016. Study of the effects of aerosols on the microphysics of clouds in Tehran. *Geography and Environmental Hazards Journal*, 19: 79-93. (in Persian)
2. Black, E., D.J. Brayshaw and C.M.C. Rambeau. 2010. Past, present and future precipitation in the Middle East, insights from models and observations. *Philosophical Transactions of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368: 5173-5184.
3. Chin, M., T. Diehl, O. Dubovik, T.F. Eck, B.N. Holben, A. Sinyuk and D.G. Streets. 2009. Light absorption by pollution, dust and biomass burning aerosols: a global model study and evaluation with aernet measurements. *Annales Geophysicae*, 27: 3439-3461.
4. Darand, M. 2016. Recognition of precipitation homogeneous regions of Iran based on APHRODITE database. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(2): 99-114 (in Persian).
5. DeMott, P.J., A.J. Prenni, G.R. McMeeking, R.C. Sullivan, M.D. Petters, Y. Tobo, M. Niemand, O. Möhler, J.R. Snider, Z. Wang, and S.M. Kreidenweis. 2015. Integrating laboratory and field data to

- quantify the immersion freezing ice nucleation activity of mineral dust particles. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15: 393-409.
6. Fan, J., R. Zheng, G. Li and W.K. Tao. 2007. Effects of aerosol and relative humidity on cumulus clouds. *Journal of Geophysical Research*, 112: D14.
  7. Gabriel, K.R. 2002. Confidence regions and pooling-some statistics for weather experimentation. *Journal of Applied Meteorology*, 41: 505-518.
  8. Gibbons, M., Q. Min and J. Fan. 2017. Investigation the impacts of Saharan dust on tropical deep convection using spectral microphysics. *Atmospheric Chemistry and Physics*, doi.org/10.5194/acp-2017-616.
  9. Griffith, D.A., J.R. Thompson, D. Risch and M.E. Solak. 1997. An update on a winter cloud seeding program in UTAH. *The Journal of Weather Modification*, 29(1): 95-99.
  10. Jung, E., B.A. Albrecht, H.H. Jonsson, Y.C. Chen, J.H. Seinfeld, A. Sorooshian, A.R. Metcalf, S. Song, M. Fang, and L.M. Russell. 2015. Precipitation effects of giant cloud condensation nuclei artificially introduced into stratocumulus clouds. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15: 5645-5658.
  11. Koehler, K.A., S.M. Kreidenweis, P.J. DeMott, M.D. Petters, A.J. Prenni, and O. Mohler. 2010. Laboratory investigations of the impact of mineral dust aerosol on cold cloud formation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 11955-11968.
  12. Koren, I., Y.J. Kaufman, D. Rosenfeld, L.A. Remer and Y. Rudich. 2005. Aerosol invigoration and restructuring of Atlantic convective clouds. *Geophysical Research Letters*, 32: L14828.
  13. Krueger, B.J., V.H. Grassian, A. Laskin and J.P. Cowin. 2003. The transformation of solid atmospheric particles into liquid droplets through heterogeneous chemistry. Laboratory insights into the processing of calcium containing mineral dust aerosol in the troposphere. *Geophysical Research Letters*, 30 (3): 48-1-48-4.
  14. Lashkari, H. and M. Amini. 2010. Synoptic analysis and zoning of hail precipitation in Khorasan for statistical period 1996-2005. *Geography and Planning*, Tabriz University, 31: 51-108. (in Persian)
  15. Lee, S.S. 2011. Dependence of aerosol-precipitation interactions on humidity in a multiple-cloud system. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11: 2179-2196.
  16. Lee, S.S., L.J. Donner, V.T.J. Phillips and Y. Ming. 2008. The dependence of aerosol effects on clouds and precipitation on cloud-system organization, shear and stability. *Journal of Geophysics Research*, 113: D16202.
  17. Levin, Z. and E. Ganor. 1996. The effects of desert particles on cloud and rain formation in the eastern Mediterranean, the impact of desert dust the Mediterranean. Springer, Netherlands, 11: 77-86.
  18. Levin Z., E. Ganor, and V. Gladstein. 1996. The effect of desert particles coated with sulfate on rain formation in the eastern Mediterranean. *Journal of Applied Meteorology*, 35: 1511-1523.
  19. Lohmann, U., L. Rotstain, T. Storelvm, A. Jones, S. Menon, J. Quaas, A.M.L. Ekmann, D. Koch and R. Ruedy. 2010. Total aerosol effect, radiative forcing or radiative flux perturbation? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 3235-3246.
  20. McMurry, P.H. and M.R. Stolzenburg. 1989. On the sensitivity of particle size to relative humidity for Los Angeles aerosols. *Atmospheric Environment*, 23 (2): 497-507.
  21. Mehrotra, R., J. Li and S. Sharma. 2015. A programming tool to generate multi-site daily rainfall using a two-stage semi parametric model. *Environmental Modeling and Software*, 63: 230-239.
  22. Miller, R.L and I. Tegen. 1998. Climate response to soil dust aerosols, *Journal of Climate*, 11: 3247-3267.
  23. Mogilia, P.K., P.D. Kleiberb, M.A. Youngc and V.H. Grassian. 2006. N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hydrolysis on the components of mineral dust and sea salt aerosol: comparison study in an environmental aerosol reaction chamber. *Atmospheric Environment*, 40: 7401-7408.
  24. Nicholson, S.E. 2013. The West African Sahel: a review of recent on the rainfall regime and its interannual variability. *ISRN Meteorology*, 2013, doi.10.1155/2013/453521.
  25. Ott, B. and S. Uhlenbrook. 2004. Quantifying the impact of land-use changes at the event and seasonal time scale using a process-oriented catchment model. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(1): 62-78.
  26. Rosenfeld, D. and R. Nirel. 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.
  27. Rosenfeld, D. 2000. Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution, *Journal of Science*, 287: 1793-1796.
  28. Shahsavri A., M. Yarahmadi, A. Mesadaghinia, M. Younesian, N. Jafarzadeh, N. Haghifard, A. Naimabadi, M. Salesi and K. Naddafi. 2012. Analysis of dust storm entering Iran with emphasis on Khouzestan Province. *Hakim Research Journal*, 15 (3): 192-202. (in Persian)
  29. Shepherd, J.M and S.J. Burian. 2003. Detection of urban-inland rainfall anomalies in a major coastal city. *Earth Interactions*, 7: 1-17.
  30. 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.

31. Teller, A and Z. Levin. 2006. The effects of aerosols on precipitation and dimensions of subtropical clouds: a sensitivity study using a numerical cloud model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6: 67-80.
32. Terradellas, E., S. Nickovic and X. Zhang. 2015. Airborne dust: a hazard to human health, environment and society. *WMO Bulletin*, 64(2): 2015.
33. Thornton, P.E., H. Hasenauer and M.A. White. 2000. Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 15: 255-271.
34. Tosca, M.G., D.J. Diner, M.J. Garay and O.V. Kalashnikova. 2015. Human-caused fires limit convection in tropical Africa: first temporal observations and attribution. *Geophysical Research Letters*, 42(11): 6492-6501.
35. Van Den Heever, S.C., G.L. Stephens and N.B. Wood. 2011. Aerosol indirect effects on tropical convection characteristics under conditions of radiative-convective equilibrium. *Journal of Atmospheric Science*, 68: 699-718.
36. Wu, C. and F. Yi. 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.
37. Zarei, F., M. Gharaylou and O. Alizadeh. 2017. Aerosol impact on precipitation under different relative humidities, a case study. *Iranian Journal of Geophysics*, 11(2): 135-155. (in Persian)
38. Zehe, E. and M. Sivapalan. 2009. Threshold behavior in hydrological systems at human geo-ecosystem manifestation, controls, implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13: 1273-1297.