

## مقدمه

توفان گرد و غبار یک مسئله زیست محیطی و یک بلا طبیعی جدی در مناطق خشک و نیمه خشک و بیابانی است که نتیجه انتقال ذرات از طریق جریان هوا می‌باشد. شرایط آب و هوایی و زیست محیطی خاص مناطق بیابانی و خشک و نیمه خشک سبب وقوع توفان گرد و غبار می‌شود. بطور کلی آنچه در عمل باعث ایجاد توفان گرد و غبار می‌شود توروبلانس و وزش باد شدید و صعود سریع غبار به طبقات بالای جو می‌باشد که لازمه آن افزایش شار عمودی و افقی دما بر روی منطقه است. این پدیده به عنوان یک شاخص مهم برای ارزیابی درجه بیابانزایی استفاده می‌شود. تحت شرایط استفاده بیش از حد منابع زمینی، گرمایش جهانی و کمبود منابع آب، توفان گرد و غبار بصورت جدی بر روی توسعه اقتصادی - اجتماعی و زیست محیطی تاثیر گذاشته، که به عنوان یک مشکل زیست محیطی نباید نادیده گرفته شود. این مسئله باعث شده پدیده گرد و غبار به عنوان یک موضوع مهم در علوم مختلف مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد [۳۵، ۳۰]. زمانی که ابر گرد و غبار آسمان را می‌پوشاند، قدرت دید ضعیف، بادهای شدید و توفان‌های گرد و غبار شدید و بلند مدت سبب خسارات جدی از جمله تصادفات جاده‌ای، مرگ و میر موجودات زنده، تلفات مربوط به اراضی کشاورزی، مراتع و محصولات شده که در نهایت منجر به تغییرات مستقیم و غیرمستقیم اقلیمی می‌شود [۲۹، ۱۳].

براساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی وقوع گرد و غبار براساس دید افقی به چهار طبقه ضعیف با دید کمتر از ۱۰ کیلومتر، توفان متوسط با دید افقی ۱ تا ۱۰ کیلومتر، توفان شدید با دید افقی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر و توفان خیلی شدید با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر طبقه‌بندی می‌شود [۱۵]. افزایش وقوع گرد و غبار در مناطق مختلف جهان از جمله ایران باعث توجه محققان زیادی در این زمینه شده و مطالعات زیادی از دیدگاه‌های مختلف جهت شناخت ویژگی‌های این پدیده صورت گرفته است.

توفان گرد و غبار پدیده‌ای است تصادفی که فاکتورهای متعددی در وقوع آن تاثیرگذار هستند. به بیان دیگر توفان گرد و غبار یک پدیده چند متغیره است که به چندین پارامتر وابسته است. از جمله پارامترهای مربوط به سطح زمین و پارامترهای هواشناسی بصورت توام در ایجاد آن دخالت دارند. همچنین تاثیرات ناشی از وقوع توفان گرد و غبار نتیجه ترکیب چندین متغیر است. لذا بررسی این واقعه تنها براساس یک متغیر منجر به تخمین بالاتر و یا پایینتر از

## تحلیل دومتغیره دوره بازگشت توفان گرد و غبار براساس تئوری کاپولا در استان یزد

مریم میراکبری<sup>۱</sup>، طیبه مصباح‌زاده<sup>۲</sup> و محسن محسنی ساروی<sup>۳</sup>  
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۸/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۰

## چکیده

توفان گرد و غبار یک پدیده تصادفی بوده که به پارامترهای متعددی وابسته می‌باشد لذا تحلیل این پدیده بصورت چندمتغیره لازم و ضروری است. به همین منظور در این مطالعه به اهمیت و کمبود تحلیل چندمتغیره بلایای طبیعی همچون توفان گرد و غبار پرداخته شده است. بدین منظور از تئوری کاپولا جهت تحلیل دو متغیره توفان گرد و غبار استفاده شد. توابع کاپولا ابزاری مناسب جهت انجام تحلیل فراوانی چندمتغیره بلایای طبیعی هستند. از مهمترین مزایای این تئوری عدم محدودیت برای انتخاب نوع توزیع حاشیه‌ای متغیرها می‌باشد. جهت تحلیل دومتغیره توفان، براساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی توفان‌های شدید در دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ در استان یزد انتخاب شدند. بر این اساس ۳۴ واقعه توفان شدید در این دوره آماری استخراج شد و متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل متناظر با روزهای توفانی نیز تعیین شدند. در نهایت دوره بازگشت دو متغیره براساس دو متغیر سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل با استفاده از تابع کاپولای t-student به عنوان بهترین تابع، محاسبه شد. همچنین دوره بازگشت تک متغیره توفان نیز براساس هریک از متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل نیز جهت مقایسه با مقادیر دو متغیره محاسبه شد. نتایج حاصل نشان داد تحلیل دومتغیره دوره بازگشت توفان از دقت تخمین بالاتری نسبت به دوره بازگشت براساس یک متغیر برخوردار است.

**کلید واژه‌ها:** توفان گرد و غبار، تابع کاپولا، دوره بازگشت دومتغیره، سرعت حداکثر باد، ارتفاع ژئوپتانسیل، استان یزد

۱- دانشجوی دکتری بیابانزدایی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران  
 ۲- نویسنده مسئول و استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران. پست الکترونیک: tmesbah@ut.ac.ir  
 ۳- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

حد واقعی پدیده خواهد شد. بنابراین نیاز به تحلیل پدیده براساس پارامترهای موثر در ایجاد آن می‌باشد. این بدان معناست که تحلیل فراوانی یک واقعه یا توفان گرد و غبار باید بصورت چندمتغیره باشد. بطور کلی برای ایجاد یک واقعه گرد و غبار سه شرط اصلی لازم است [۳۱]: باد با سرعت بالا، وجود مناطق با خاک سطحی سست (مناطق با خاک شنی)، و شرایط ناپایدار جوی. تغییرات دوره‌ای، فراوانی و شدت توفان گرد و غبار وابسته به الگوی گردش جریان جو، سیستم آب و هوای محلی و وضعیت سطح زمین می‌باشد.

یکی از موارد تحلیل چندمتغیره توفان گرد و غبار تعیین دوره بازگشت آن می‌باشد. در سال‌های اخیر همانطور که مطالعه و بررسی بلایای طبیعی همچون توفان گرد و غبار و دیگر وقایع افزایش یافته، توجه به دوره بازگشت واقعه از اهمیت خاصی برخوردار شده است. بمنظور کاهش زیان اقتصادی ناشی از توفان‌های شدید گرد و غبار و بهبود مدیریت ریسک ناشی از آن ارزیابی دقیق دوره بازگشت لازم و ضروری است بطوری که از این طریق می‌توان یک سیستم هشدار اولیه موثر توفان ایجاد کرد و اقدامات کنترلی لازم را براساس مکانیسم ایجاد توفان و نظارت داده‌ها اجرا کرد [۱۰].

دوره بازگشت معیاری است که احتمال وقوع یک پدیده با مقداری بیشتر از مقدار آستانه تجاوز را مشخص می‌نماید. به بیان دیگر دوره بازگشت متوسط فاصله زمانی بین وقوع یک پدیده است، که چندین بار در طول زمان تکرار می‌شود. در واقع این پارامتر برای توصیف شدت و فراوانی بلایای طبیعی کاربرد دارد [۱۹]. تحلیل فراوانی بلایای طبیعی ویژگی‌های این پدیده‌ها را، همانند ترتیب وقوع آشکار می‌سازد که در ارزیابی و مدیریت ریسک اهمیت بسزایی دارد. دوره بازگشت بطور گسترده‌ای در ارزیابی ریسک بلایای طبیعی در زمینه‌های هیدرولوژی و هواشناسی و همچنین در طراحی، برنامه ریزی و مدیریت پروژه کاربرد دارد [۱۴، ۱۹]. روش‌های متعددی جهت تحلیل‌های چندمتغیره در منابع مختلف ذکر شده است که از جمله توابع کاپولا یا مفصل یکی از پرکاربردترین توابع توزیع جهت تحلیل‌های چندمتغیره می‌باشند [۲۲]. از مزایای توابع چندمتغیره کاپولا نسبت به دیگر توابع عدم محدودیت نوع تابع حاشیه‌ای می‌باشد. تعیین دوره بازگشت با استفاده از توابع کاپولا باعث افزایش دقت تخمین نسبت به دیگر توابع خواهد شد [۶، ۱۸]. در این مطالعه جهت تحلیل دو متغیره توفان‌های گرد و غبار از دو سطح مکانی برای تعیین دوره بازگشت دو متغیره توفان استفاده می‌شود که شامل سطوح جو بالا در ترازهای مختلف و سطح زمین می‌باشد. برهم کنش‌های میان جو بالا و سطح زمین عامل ایجاد توفان گرد و غبار است. بنابراین پارامترهای سطوح مختلف جو بالا می‌توانند به عنوان متغیرهای تاثیر گذار در توفان گرد و غبار نقش اساسی داشته باشند. بدین منظور در این تحقیق دو متغیر سرعت باد حداکثر به عنوان پارامتر سطح زمین و ارتفاع ژئوپتانسیل به عنوان پارامتر سطح جو بالا جهت تعیین دوره بازگشت دو متغیره توفان‌های گرد و غبار انتخاب شدند. سرعت باد یک فاکتور دینامیک و شرط

لازم برای ایجاد و حرکت گرد و غبار از سطح زمین است. تحقیقات زیادی سرعت باد را به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار در ایجاد توفان گرد و غبار در نظر گرفته‌اند [۹، ۱۶، ۲۰، ۲۱]. ارتفاع ژئوپتانسیل الگوی گردش جو را در سطوح بالا نشان می‌دهد. بدین صورت که برای ایجاد توفان گرد و غبار نیاز به یک توده هوای کم فشار است. استقرار یک سیستم کم فشار باعث ناپایداری جو و صعود ذرات گرد و غبار به جو می‌شود. این شرایط تنها تا ارتفاع حداکثر ۸۵۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال ادامه خواهد یافت [۲۵]. اما در صورتیکه این سیستم کم فشار با یک کم ارتفاع (ارتفاع ژئوپتانسیل) در سطوح میانی جو هماهنگ و ارتباط ترمودینامیکی برقرار کند مناسبترین شرایط برای ایجاد توفان گرد و غبار بوجود خواهد آمد. اکثر مطالعاتی که در زمینه تحلیل فراوانی توفان گرد و غبار انجام گرفته بصورت تک متغیره به بررسی این واقعه پرداخته‌اند. در حالیکه واقعه توفان گرد و غبار وابسته به متغیرهای متعددی از جمله سرعت باد، دید افقی، طول مدت توفان و پارامترهای ترازهای مختلف جو می‌باشد. اکثر مطالعاتی که در زمینه تحلیل چند متغیره بلایای طبیعی انجام شده، براساس وقایع هیدرولوژیکی و هواشناسی همانند سیل و خشکسالی می‌باشد [۷، ۱۲، ۲۲، ۲۶، ۳۲، ۳۳]. در حالیکه مطالعات اندکی در زمینه توفان گرد و غبار بصورت چندمتغیره انجام شده است [۱۸، ۱۹]. اخیراً بیشتر محققان به اهمیت تحلیل چند متغیره توفان‌های گرد و غبار پی برده‌اند. چن و زی [۴] شاخص ریسک توفان گرد و غبار در منطقه تاریم محاسبه کردند و این شاخص را برای مطالعه توفان گرد و غبار مورد بررسی قرار دادند. ژائو و همکاران [۳۴] شرایط ایجاد توفان‌های ماسه و گرد و غبار و فاکتورهای موثر در ایجاد آن را مورد بررسی قرار دادند. فن و همکاران [۶] فاکتورهای موثر بر توفان گرد و غبار را با استفاده از تحلیل همبستگی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تنها تاثیر متغیرهای چندگانه بر روی توفان گرد و غبار بررسی شد. لی و همکاران [۱۷] فراوانی توفان‌های ماسه در شمال چین در فصل بهار را با استفاده از تحلیل رگرسیون خطی چندگانه بررسی کردند و فاکتورهای موثر در ایجاد گرد و غبار را تعیین کردند. ژئو و همکاران [۳۵] اثرات چندگانه توفان گرد و غبار با استفاده از رگرسیون خطی و شبکه عصبی تحلیل کردند. لی و همکاران [۱۸] دوره بازگشت ۷۹ واقعه توفان شدید چین را دوره آماری بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ بصورت دو متغیره با استفاده از توابع کاپولای گروه ارشمیدس محاسبه کردند. پارامترهای توفان گرد و غبار در این مطالعه سرعت باد و طول مدت توفان در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد مقادیر دوره بازگشت دو متغیره تخمین بهتری نسبت به حالت تک متغیره دارد. لیو و همکاران [۱۹] دوره بازگشت توفان‌های گرد و غبار شدید چین را بصورت دو و سه متغیره با استفاده از تئوری کاپولا محاسبه کردند. پارامترهایی که در این مطالعه جهت تحلیل چند متغیره توفان مورد استفاده قرار گرفت شامل شاخص گردش مداری در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال،

روزهای توفان بترتیب از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک و داده‌های باز تحلیل شده جو (NCEP) جهت تحلیل دومتغیره و وقایع توفان استخراج شد.

## روش کار تئوری کاپولا

جهت مدل‌سازی احتمالاتی چندمتغیره، اسکالر [۲۷] تئوری کاپولا را مطرح کرد. تابع کاپولا امکان ترکیب چند توزیع تک متغیره با خانواده‌های مختلف را برای ایجاد یک توزیع دو یا چند متغیره با در نظر گرفتن وابستگی بین متغیره‌ها بوجود می‌آورد. به بیان دیگر تابع کاپولا  $(C(u_1, u_2, \dots, u_N))$  یک تابع اتصالی برای ارتباط توابع توزیع متغیره‌های تصادفی  $X_1, X_2, \dots, X_N$  با توابع حاشیه‌ای  $F_{X_1}(X_1), F_{X_2}(X_2), \dots, F_{X_N}(X_N)$  می‌باشد که بصورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۲۴].

$$F(x_1, x_2, \dots, x_N) = C_\theta[F_{X_1}(x_1), F_{X_2}(x_2), \dots, F_{X_N}(x_N)] \quad (1)$$

مهمترین مزیت کاربرد تئوری کاپولا امکان استفاده از توابع توزیع حاشیه‌ای بدون محدودیت است. درحالی‌که انواع دیگر توزیع‌های احتمالاتی با فرض یکسان بودن تابع حاشیه‌ای ساختار وابستگی متغیره‌ها را مدل‌سازی می‌کنند که این فرض باعث خطا در تحلیل‌های چندمتغیره می‌شود. توسط تئوری کاپولا توابع حاشیه‌ای برای ایجاد توزیع چند متغیره و همچنین توصیف روابط غیرخطی و نامتقارن بین متغیره‌ها انتخاب می‌شوند. زمانی که یک تابع کاپولا برای ایجاد توزیع توام چند متغیره استفاده می‌شود تعیین همبستگی میان متغیره‌ها لازم است. بطوریکه در صورت عدم وجود همبستگی متغیره‌ها امکان استفاده از تابع کاپولا نمی‌باشد. در این تحقیق از ضریب همبستگی رتبه‌ای کندال جهت تعیین رابطه همبستگی بین متغیره‌های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل استفاده می‌شود. مقدار ضریب همبستگی نوع تابع کاپولا را تعیین می‌کند. بر این اساس در صورتیکه همبستگی بین متغیره‌ها مثبت باشد انواع مختلف توابع خانواده ارشمیدس (فرانک، کلایتون، گامبل)، الپتیکال (t)، گوسی، نرمال) و دیگر انواع توابع کاپولا قابل استفاده است. درحالی‌که برای مقادیر همبستگی منفی تعداد کمتری از توابع را برای مدل‌سازی می‌توان استفاده کرد. در این مطالعه با توجه به مقدار ضریب همبستگی (همبستگی منفی) از توابع کاپولای فرانک، گوسی، کلایتون چرخشی، گامبل چرخشی، t-student و جوی<sup>۵</sup> چرخشی جهت مدل‌سازی دومتغیره توفان گرد و غبار استفاده می‌شود (جدول ۱). در تمام این روابط  $\theta$  پارامتر تابع کاپولا است که وابستگی بین متغیره‌ها را بیان می‌کند.

سرعت باد و رطوبت خاک می‌باشند. نتایج حاصل نشان داد تابع فرانک دو و سه متغیره بهترین برآزش به متغیره‌های توفان گرد و غبار دارد. همچنین برای دوره بازگشت‌های کمتر از ۱۰ سال تابع دو متغیره فرانک، و دوره بازگشت بالاتر از ۱۰ سال تابع سه متغیره فرانک مناسبتر می‌باشد. دانگ و همکاران [۵] سرعت باد حداکثر و شدت بارندگی را در مناطق تحت تاثیر توفان در چین توسط تابع کاپولای Gumbel-Hougaard بصورت دو متغیره تحلیل کردند. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد در دوره‌های خشک اقلیمی، توفان دوره بازگشت کمتری دارد. همچنین در این مطالعه سرعت باد به عنوان مهمترین فاکتور تاثیرگذار بر روی دوره بازگشت معرفی شد. در این مطالعه بدلیل اهمیت تحلیل دومتغیره واقعه توفان گرد و غبار به عنوان یک پدیده تصادفی، دوره بازگشت توفان‌های گرد و غبار در استان یزد در دوره آماری ۳۲ ساله و از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ براساس دو فاکتور سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل محاسبه می‌شود. بدین منظور از تئوری کاپولا جهت مدل‌سازی توام دومتغیره توفان گرد و غبار براساس پارامترهای مذکور استفاده خواهد شد. توسط این تئوری ساختار همبستگی متغیره‌های همبسته توفان گرد و غبار مدل‌سازی می‌شود. تابع کاپولا توزیع احتمال توام توفان‌های شدید گرد و غبار را براساس متغیره‌های سرعت باد و ارتفاع ژئوپتانسیل محاسبه کرده و در نهایت دوره بازگشت دو متغیره توفان تعیین خواهد شد. براساس دوره بازگشت توفان‌های شدید می‌توان یک سیستم هشدار اولیه موثر توفان ایجاد کرد و اقدامات کنترلی لازم را در این زمینه اجرا کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

محدوده مطالعاتی استان یزد بین عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی و مساحت تقریبی ۱۳۱۵۷۵ کیلومتر مربع می‌باشد. به علت ناهنجاری‌های اقلیمی نظیر کاهش میزان بارش، افزایش دما و موقعیت جغرافیایی استان، تقریباً نیمی از مساحت آن را اراضی بیابانی پوشانده که همواره در معرض فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غبار قرار می‌گیرند. آمار و اطلاعات هواشناسی نشان می‌دهد فراوانی پدیده گرد و غبار از جمله توفان‌های گرد و غبار در منطقه مطالعاتی از مقدار بالایی برخوردار است [۲۲]. از این رو شناخت پدیده گرد و غبار و دوره بازگشت وقوع توفان‌های شدید در این منطقه جهت مقابله با اثرات زیانبار آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. بدین منظور در این مطالعه جهت تخمین دوره بازگشت وقایع توفان گرد و غبار، روزهای توفانی براساس تعریف سازمان هواشناسی در دوره آماری ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ استخراج شدند. ۳۴ واقعه توفان در این دوره شناسایی شد. متغیره‌های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل در سه تراز ۵۰۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰ هکتوپاسکال مربوط به

1- Frank  
2- Gaussian  
3- Rotated Clayton  
4- Rotated Gumble  
5- Joe

## تخمین پارامتر توابع کاپولا

جهت تخمین پارامتر توابع کاپولا از دو روش نیمه پارامتری و پارامتری استفاده می‌شود. در تخمین نیمه پارامتری از رابطه بین تابع مولد هر کاپولا و ضریب همبستگی کندال [۱۱] استفاده می‌شود.

$$\tau(X, Y) = 1 + 4 \int_0^1 \frac{\phi(v)}{\phi'(v)} dv \quad (2)$$

در روش پارامتری با استفاده از تابع حداکثر درستی لگاریتمی (رابطه ۳) پارامتر  $\theta$  تخمین زده می‌شود [۸].

$$L(\theta) = \sum_{k=1}^n \log [c_{\theta} \{F_1(x_{1k}), \dots, F_p(x_{pk})\}] \quad (3)$$

در این معادله  $c_{\theta}$  تابع چگالی کاپولاس،  $F$  تابع توزیع حاشیه‌ای و  $x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{pk}$  ( $k = 1, \dots, n$ ) متغیرهای تصادفی وابسته می‌باشند.

## انتخاب تابع کاپولا

جهت انتخاب مناسبترین تابع کاپولا که بهترین برازش را به متغیرهای توفان گرد و غبار دارد، مقادیر احتمال تجربی توام دو متغیر سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل توسط تابع کاپولای تجربی (رابطه ۴) محاسبه شده، و با مقادیر حاصل از برازش هر یک از توابع کاپولای گروه ارشمیدس و الپتیکال به متغیرهای توفان مقایسه می‌شود. جهت مقایسه مقادیر کاپولای تجربی با هر یک از توابع کاپولا از روش حداقل مربعات معمولی (OLS) استفاده شد. روش  $S_{OLS}$  براساس مجذور اختلاف بین مقادیر احتمال تجربی و تئوری توام متغیرها بهترین تابع را مشخص می‌کند (رابطه ۵). همچنین از دو معیار اطلاعات آکاییک (AIC) و بیژین (BIC) نیز استفاده شده است (روابط ۶ و ۷) [۳، ۱] در این روابط  $u$  و  $v$  مقادیر احتمال تجربی متغیر سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل،  $P_{ei}$  مقادیر کاپولای تجربی،  $P_i$  مقادیر کاپولای تئوری،  $k$  پارامتر مدل،  $n$  تعداد مشاهدات و  $L$  مقدار تابع حداکثر درستی است.

$$C_n(u, v) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(U_i < u, V_i < v) \quad (4)$$

$$AIC = 2k - 2 \ln(L) \quad (5)$$

$$BIC = 2n \log L + k \log(n) \quad (6)$$

## تحلیل دوره بازگشت دومتغیره توفان گرد و غبار

طبق تعریفی که برای دوره بازگشت ارائه شد در صورتیکه  $N$  طول زمان یک واقعه،  $n$  تعداد وقایع،  $L$  فاصله زمانی بین وقایع،  $E(L)$  متوسط فاصله زمانی یک واقعه در طول زمان می‌باشد ( $E(L) = N/n$ ). بدین صورت دوره بازگشت دومتغیره یک توفان گرد و غبار طبق رابطه (۷) بدست می‌آید. براساس این رابطه زمانی که دو متغیر سرعت حداکثر باد و ارتفاع ژئوپتانسیل روزهای توفانی

بطور همزمان در نظر گرفته شوند دوره بازگشت دومتغیره توفان گرد و غبار براساس سرعت حداکثر بادی که از مقدار خاص تجاوز کرده و ارتفاع ژئوپتانسیلی که از مقدار خاص تجاوز می‌کند ( $U \geq v$  and  $V \geq v$ ) تعیین می‌شود، و یا دوره بازگشت در حالتیکه سرعت حداکثر باد از مقدار خاص تجاوز کند یا ارتفاع ژئوپتانسیل از مقدار خاص تجاوز می‌کند ( $U \geq v$  or  $V \geq v$ ) دوره بازگشت تعیین می‌شود. روابط مربوط به محاسبه دوره بازگشت دومتغیره برطبق این تعاریف در ادامه ذکر شده است (روابط ۷ و ۸).

$$T_{uv} = T(U \geq u, V \geq v) = \frac{E(L)}{P(U \geq u, V \geq v)} = \frac{E(L)}{1 - F_U(u) - F_V(v) + C(F_U(u), F_V(v))} \quad (7)$$

$$T_{u \cdot} = T(U \geq u, V \geq v) = \frac{E(L)}{P(U \geq u, V \geq v)} = \frac{E(L)}{1 - C(F_U(u), F_V(v))} \quad (8)$$

همچنین دوره بازگشت تک متغیره توفان جهت مقایسه با مقادیر دومتغیره براساس رابطه (۹) محاسبه می‌شود. در این رابطه  $F_X(x)$  تابع حاشیه‌ای هر یک از متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل می‌باشد. دوره بازگشت تک متغیره براساس مقادیر سرعت باد حداکثر و یا ارتفاع ژئوپتانسیل تعریف می‌شود.

$$T_X = \frac{E(L)}{1 - F_X(x)} F_X(x) \Pr[X \geq x] \quad (8)$$

## نتایج

### بررسی همبستگی میان متغیرها

لازمه استفاده از توابع کاپولا، جهت تحلیل‌های دومتغیره همبسته بودن متغیرها است. بدین منظور همبستگی بین داده‌های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل در سه سطح تراز ۵۰۰ (hgt 500)، ۸۵۰ (hgt 850) و ۱۰۰۰ (hgt 1000) هکتوپاسکال توسط ضریب کندال در روزهای توفانی تعیین شد. مقادیر ضریب همبستگی کندال نشان داد تنها بین داده‌های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل در سطح تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال رابطه معنی دار منفی وجود دارد. ضرایب همبستگی بین این متغیرها در جدول ۲ ارائه شده است.

همانطور که اشاره شد یکی از مزایای کاربرد توابع کاپولا عدم محدودیت نوع توابع حاشیه‌ای است. بمنظور تعیین توابع حاشیه‌ای متغیرهای سرعت باد و ارتفاع ژئوپتانسیل توابع تک متغیره متعددی به این متغیرها برازش داده شد و مناسبترین تابع براساس سه آزمون گلموگراف- اسمیرنوف، اندرسون دارلینگ و کای اسکوتر انتخاب شد (جدول ۳). براین اساس تابع توزیع وکبای  $W_5$  پارامتری و مقادیر حدی تعمیم یافته (GEV) بترتیب به عنوان مناسبترین تابع برای داده‌های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل معرفی شدند (جدول ۴).

جدول ۱- توابع کاپولا مورد استفاده جهت تحلیل دو متغیره توفان گرد و غبار

Table 1. Copulas function used to bivariate analysis of dust storm

	تابع توزیع تجمعی پیوسته	تابع مولد
Frank	$C(u, v; \theta) = \frac{1}{\theta} \ln \left[ 1 + \frac{(e^{-\theta u} - 1)(e^{-\theta v} - 1)}{e^{-\theta} - 1} \right], \theta \neq 0$	$-\ln \frac{e^{-\theta} - 1}{e^{-\theta} - 1}$
Rotated Joe	$1 - [1 - \prod_{i=1}^m (1 - (1 - u_i)^\theta)]^{1/\theta}$	$-\ln[1 - (1 - t)^\theta]$
Rotated Gumbel	$C(u, v; \theta) = u + v - 1 + C(1 - u, 1 - v)$	$(-h v)^\theta$
Rotated Clayton	$C(u, v; \theta) = u + v - 1 + C(1 - u, 1 - v)$	$\frac{v^{-\theta} - 1}{\theta}$
t-student	$\int_{-\infty}^{t_v^{-1}(u)} \int_{-\infty}^{t_v^{-1}(v)} \frac{1}{2\pi\sqrt{1-r^2}} \left\{ 1 + \frac{x^2 - 2rxy + y^2}{\nu(1-r^2)} \right\} d_x d_y$ $t_v(x) = \int_{-\infty}^x \frac{\Gamma(\nu+1)/2}{\sqrt{w} \Gamma(\nu/2)} (1+y^2)^{-(\nu+1)/2} d_y, \nu \neq 0$	-
Gaussian	$C(u, v) = \int_0^u \Phi \left( \frac{\Phi^{-1}(v) - \rho xy \Phi^{-1}(t)}{\sqrt{1-\rho^2 y}} \right) dt$	-

گروه آرشمیدیس

گروه الینگتون

$t_v^{-1}$  معکوس تابع توزیع تجمعی تک متغیره t با درجه آزادی  $\nu$ .

جدول ۲- مقادیر ضریب همبستگی کندال بین دو متغیره سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل در سطوح مختلف تراز جو

Table 2. Kendall correlation coefficient between two variables of maximum wind speed and geopotential height at different levels

hgt1000 (m)	hgt 850 (m)	hgt 500(m)	سرعت باد حداکثر
-0.17	-0.23	*-0.25	

\*در سطح ۵ درصد معنی دار

جدول ۳- مقادیر آماره آزمونهای آماری انتخاب بهترین برازش تابع حاشیه ای متغیره های توفان گرد و غبار

Table 3. Statistical tests of the selection of the best fit of the marginal function of dust storm variables

Chi- squared	Kolmogroph smirnov	Anderson darling	آزمون آماری
1.54	0.069	0.15	سرعت باد حداکثر (m/s)
4.22	0.107	0.51	ارتفاع ژئوپتانسیل (m)

جدول ۴- توابع توزیع حاشیه ای متغیره های سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل

Table 4. Marginal distribution function of maximum wind speed and geopotential variables

پارامتر	تابع توزیع	متغیره
$\alpha=80.89 \beta=12.59 \gamma=4.56 \delta=0.057 \xi=0.46$	$F(x) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} (1 - (1 - u^\beta)^\gamma)^\delta (1 - (1 - u)^{-\delta})$	سرعت باد حداکثر ارتفاع ژئوپتانسیل
$\kappa=-0.54 \sigma=98.19 \mu=5761.7$	$F(x) = \exp(-(1 + kz)^{-1/k})$ $z = \frac{x - \mu}{\sigma}$	GEV

## انتخاب بهترین تابع کاپولا برای مدلسازی دومتغیره توفان گرد و غبار

پارامتر تمام توابع کاپولا توسط هر دو روش پارامتری و نیمه پارامتری تخمین زده شد. از بین این توابع پارامترهای تابع کاپولای t-student که یک تابع دوپارامتری می باشد فقط براساس روش پارامتری تخمین زده شد. روش نیمه پارامتری که براساس رابطه میان ضریب همبستگی کندال و تابع مولد هر کاپولا می باشد، تنها برای توابع با یک پارامتر کاربرد دارد در جدول ۵ مقادیر پارامترهای توابع کاپولا براساس هر دو روش تخمین پارامتری و نیمه پارامتری ارائه شده است. همانطور که از نتایج مشخص است اختلاف زیادی بین مقادیر پارامترها براساس دو روش تخمین وجود ندارد. بعد از تخمین پارامتر  $\theta$ ، تمام توابع کاپولای انتخابی به متغیرهای توفان گرد و غبار برازش داده شد و بهترین برازش براساس مقایسه مقادیر تابع کاپولای تجربی در مقابل هر یک از توابع مذکور و همچنین معیارهای  $S_{OLS}$ ، AIC و BIC برای مدلسازی دومتغیره توفان گرد و غبار انتخاب شد. براین اساس تابع t-student با روش تخمین پارامتری بدلیل دارا بودن کمترین مقدار معیارهای ارزیابی به عنوان بهترین برازش جهت مدلسازی دومتغیره انتخاب شد. نتایج حاصل از آزمون انتخاب مناسبترین برازش در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۵- مقادیر پارامتر توابع کاپولا براساس روش های پارامتری نیمه پارامتری

Table 5. The parameters of copulas function with parametric and semi-parametric methods

تابع کاپولا	تخمین پارامتری	تخمین نیمه پارامتری
Frank	-2.86	-2.43
Gaussian	+0.36	-0.39
Rotated clyton	-0.57	-0.68
Rotated gumble	-1.44	-1.34
t student	-0.47	-
Joe	-1.68	-1.67

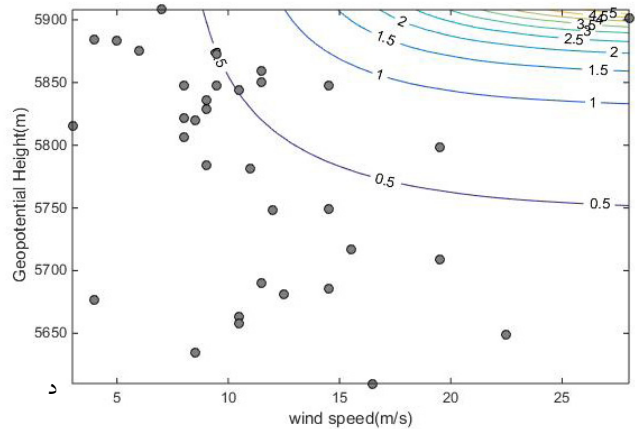
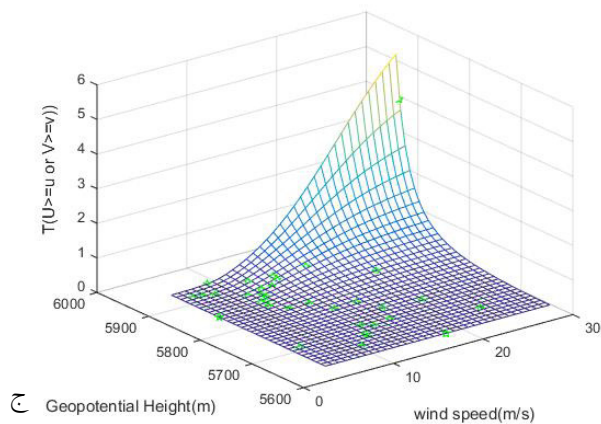
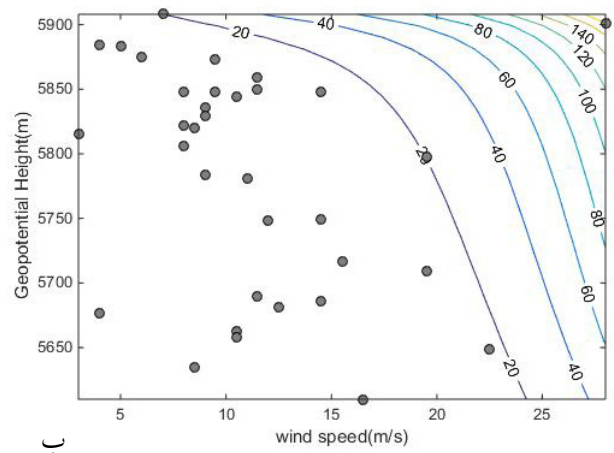
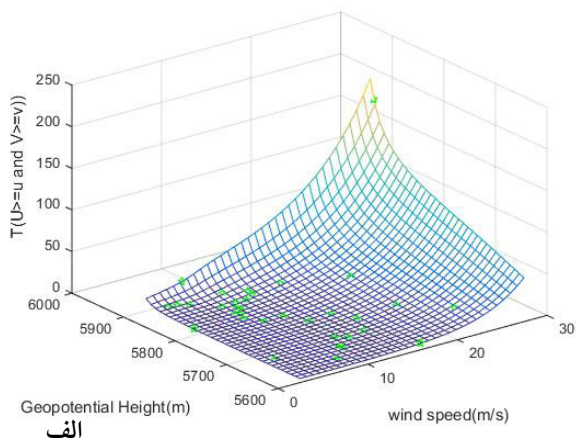
## دوره بازگشت دومتغیره توفان گرد و غبار

بر طبق روابطه (۷) و (۸) دوره بازگشت دومتغیره توفان گرد و غبار با برازش تابع کاپولای t-student محاسبه شد. دوره بازگشت توفان طبق تعریف تابعی، از فاصله زمانی بین وقایع توفان گرد و غبار در دوره آماری است که براساس میانگین این فواصل تعیین می شود. در منطقه مطالعاتی بر طبق داده های آماری در طول سال های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۴ میانگین فاصله زمانی بین وقوع ۳۴ واقعه توفان گرد و غبار در این دوره ۰/۳۴ سال می باشد. نتایج حاصل از محاسبه دوره بازگشت براساس دو رابطه (۷) و (۸) در قالب نمودار سه بعدی و خطوط کتوری ترسیم شد که در شکل (۱) نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است دوره بازگشت اکثر وقایع توفان در دوره آماری موجود بر طبق رابطه (۷) کمتر از ۲۰ سال بوده (شکل ۱، ب) در حالیکه بر طبق رابطه (۸) دوره بازگشت کمتر از ۱ سال می باشد (شکل ۱، د). دوره بازگشت تک متغیره خشکسالی نیز طبق رابطه (۹) برای هر کدام از متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل تعیین شد. براساس مقادیر دوره بازگشت وقایع توفان گرد و غبار طبق رابطه (۷) در منطقه مطالعاتی بیشترین مقدار دوره بازگشت مربوط به واقعه توفان در تاریخ ۴ خرداد ۱۳۹۳ می باشد که در این تاریخ سرعت باد حداکثر ۲۸ متر بر ثانیه، و دید افقی در زمان وقوع توفان ۸۰۰ متر بوده است. دوره بازگشت تک متغیره توفان در این تاریخ براساس سرعت باد حداکثر ۲۰/۲ سال و دوره بازگشت براساس ارتفاع ژئوپتانسیل ۵/۲ سال می باشد. همچنین مقدار دوره بازگشت دومتغیره براساس رابطه (۸) در این تاریخ ۴/۲ سال می باشد. طبق نتایج بدست آمده از دوره بازگشت مقادیر حاصل از رابطه (۸) اختلاف زیادی با مقادیر حاصل از رابطه (۷) دارند در حالیکه مقادیر دوره بازگشت تک متغیره براساس هر کدام از متغیرهای سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل تشابه بیشتری به مقادیر حاصل از رابطه (۸) دارند. لذا می توان چنین استنباط کرد که رابطه (۸) برای تعیین دوره بازگشت دومتغیره از دقت بالاتری نسبت به رابطه (۷) برخوردار است. دوره بازگشت دومتغیره ( $U \geq v$  or  $V \geq u$ ) نسبت به دوره بازگشت ( $U \geq v$  and  $V \geq u$ ) و تک متغیره از مقدار کمتری برخوردار است.

جدول ۶- مقادیر معیارهای انتخاب بهترین برازش توابع کاپولا براساس روش های تخمین پارامتر

Table 6. Criteria of selection the best fit of copula functions based on estimation methods parameters

تخمین نیمه پارامتری			تخمین پارامتری			تابع کاپولا
$S_{OLS}$	BIC	AIC	$S_{OLS}$	BIC	AIC	
-0.3536	-2.81	-4.34	0.3557	-2.95	-4.48	Frank
-0.3545	-0.38	-1.91	0.3533	-0.43	-1.96	Gaussian
0.3616	-0.101	-1.62	0.3590	-0.24	-1.76	Rotated clyton
0.3517	-2.81	-4.33	0.3543	-3.04	-4.5	Rotated gumble
-	-	-	0.3612	-3.35	-6.4	*t student
0.3485	-2.6	-4.2	0.3493	-2.7	-4.25	Joe



شکل ۱- دوره بازگشت دو متغیره توفان(الف و ب):  $T(U \geq u \text{ and } V \geq v)$ ، ج و د:  $T(U \geq u \text{ or } V \geq v)$   
Figure 1. Bivariate return period(a & b:  $T(U \geq u \text{ and } V \geq v)$ , g & d:  $T(U \geq u \text{ or } V \geq v)$ )

بوده و به همین دلیل توابع کاپولا به عنوان یک روش مناسب برای حل این مشکل می‌باشند. نتایج بررسی ارتباط همبستگی بین دو پارامتر سرعت حداکثر باد و ارتفاع ژئوپتانسیل حاکی از ارتباط منفی معنی‌دار بین این دو پارامتر بود بنابراین توابع کاپولایی انتخاب شد که دامنه پارامتر تابع مقادیر منفی را نیز شامل شود که از این میان، توابع کاپولای خانواده ارشمیدس و الپتیکال جهت مدلسازی ارتباط همبستگی میان سرعت باد حداکثر و ارتفاع ژئوپتانسیل انتخاب شدند و در نهایت تابع کاپولای t-student به عنوان بهترین تابع برای مدلسازی دو متغیره انتخاب شد. توسط تابع کاپولا انتخابی دوره بازگشت دو متغیره توفان به دو روش محاسبه شد و با مقادیر دوره بازگشت تک متغیره مقایسه شد. نتایج حاصل از این مقایسه نشان داد دوره بازگشت حاصل از رابطه (۸) تشابه بیشتری با مقادیر تک متغیره دارد در حالیکه دوره بازگشت حاصل از رابطه (۷) بیش از مقدار واقعی تخمین زده شده است که با نتایج لی و همکاران [۱۸] نیز مطابقت دارد. تخمین بیش از حد دوره بازگشت سبب کاهش اقدامات مدیریتی در زمینه وقوع توفان-های شدید خواهد شد. بنابراین تخمین دوره بازگشت بلایای طبیعی همانند توفان گرد و

## نتیجه گیری

توفان‌های گرد و غبار به عنوان یکی از بلایای طبیعی به علت گرمایش جهانی و فرایند بیابانزایی طی سال‌های متمادی در حال وقوع است. به علت تکرار این پدیده در سال‌های اخیر، اطلاع از دوره بازگشت به عنوان یک مرجع کلیدی برای ارزیابی ریسک و همچنین پیش‌بینی و هشدار ریسک متوسط و بلند مدت ناشی از آن می‌باشد [۲، ۲۸]. در واقع با محاسبه دوره بازگشت می‌توان زمان وقوع یک واقعه در مقیاس‌های زمانی مختلف برای آینده پیش‌بینی کرد. تخمین زمان وقوع توفان در آینده برای انجام اقدامات پیشگیری خطرات احتمالی آن و مدیریت ریسک از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این مطالعه با در نظر گرفتن ماهیت تصادفی توفان گرد و غبار مدلسازی دو متغیره جهت ارزیابی این پدیده توسط توابع کاپولا انجام شد. بدین منظور دوره بازگشت ۳۴ واقعه توفان در طول دوره آماری بصورت دو متغیره بر اساس دو متغیره سرعت حداکثر باد و ارتفاع ژئوپتانسیل توسط توابع کاپولا تخمین زده شد. باتوجه به اینکه فاکتورهای ایجاد کننده گرد و غبار دارای انواع توزیع احتمال متفاوتی هستند، لذا همبستگی میان آن‌ها غیرخطی

12. Goda, K., and Ren, J.D. 2010. Assessment of seismic loss dependence using copula. *Risk Analysis*. 30 (7): 1076–1091.

13. Hamadneh, H.S., Ababneh, Z., Hamasha, K.M., and Ababneh, A.M. 2015. The radioactivity of seasonal dust storms in the Middle East: the May 2012 case study in Jordan. *Environmental Radioactivity* 140: 65–69.

14. Iqbal, M.J., and Ali, M., 2013. A probabilistic approach for estimating return period of extreme annual rainfall in different cities of Punjab. *Arabian Journal Geoscience*. 6(7): 2599–2606.

15. Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., and Nastos, P.T. 2007. Aerosol climatology and Discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmospheric Environment*, 41: 7315–7329.

16. Kurosaki, Y., and M. Mikami. 2003. Recent frequent dust events and their relation to surface wind in East Asia, *Geophysical Research Letter*. 30(14): 1-4.

17. Li, W. Y, Lv. SH., and Dong, ZB. 2010. Linear fitting of multi-meteorological factors of spring dust storm frequency for northern China. *Plateau Meteorology*. 29(5): 1302–1313.

18. Li, N., Liu, X., Xie, W., Wu, J., and Zhang, P., 2013. The return period analysis of natural disasters with statistical modeling of bivariate joint probability distribution. *Risk Analysis*. 33 (1): 134–145.

19. Liu, X., Li, N., Yuan, S., Xu, N., Shi, W., and Chen, W. 2015. The joint return period analysis of natural disasters based on monitoring and statistical modeling of multidimensional hazard factors. *Sci. Total Environ*. 538: 724–732.

20. Li, Y., Gu, W., Cui, W., Chang, Z., and Xu, Y. 2015a. Exploration of copula function use in crop meteorological drought risk analysis: a case study of winter wheat in Beijing, China. *Natural Hazards*. 77 (2): 1289–1303.

21. Li, N., Guo, L., and Fan, B., 2015b. A new perspective on understanding the reduced spring dust storm frequency in Inner Mongolia, China. *International Journal Disaster Risk Science*. 6 (3): 216–225.

22. Mirakbari, M., Ganji, A. and Fallah, S.R. 2010. Regional bivariate frequency analysis of meteorological droughts. *Journal of Hydrology Engineering*. 15(12): 985–1000.

23. Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni, S. M.,

غبار بصورت دو متغیره روند وقوع این پدیده را در آینده براساس متغیرهای تاثیرگذار بر آن، مشخص خواهد کرد و شدت آن را بصورت هدفمند و کمی ارزیابی می کند.

## منابع

1. Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 19(6): 716–723.

2. Aven, T. 2012. Foundational issues in risk assessment and risk management. *Risk Analysis*. 32,;1647–1656.

3. Bozdogan, H. 2000. Akaike's information criterion and recent developments in information complexity. *Mathematical Psychology*. 44: 62–91.

4. Chen, T. and Xu, H. F. 2003. TEM investigation of atmospheric particle settlements and its significance in environmental mineralogy. *Acta Petrologica Mineralogica*. 22: 425–428.

5. Dong, Sh., Jiao, Ch., and Tao, Sh. 2017. Joint return probability analysis of wind speed and rainfall intensity in typhoon-affected sea area. *Natural Hazards*. 8: 1193- 1205.

6. Fan, Y.D., Shi, P.J., Zhou, T., and Li, Y. 2007. The impact factor analysis of dust storm disaster in northern China. *Adv. Earth Science*. 22 (4): 350–356.

7. Fan L., Wang, H., Wang. Ch., Lai. W., and Zhao, Y. 2017. Exploration of Use of Copulas in Analysing the Relationship between Precipitation and Meteorological Drought in Beijing, China. *Advances in Meteorology*. 2017: 1-12.

8. Favre, A. Adlouni, S. E. Perreault, L. and Thie' monge, B. 2004. Multivariate hydrological frequency analysis using copulas. *Water Resources Research*. 40. 1-12.

9. Feng, J., and Li, N., 2015. The return period analysis of dust storm disaster based on joint distribution of three hazards. *Emerging Economies, Risk and Development, and Intelligent Technology: Proceedings of the 5th International Conference on Risk Analysis and Crisis Response*, June 1–3, 2015, Tangier, Morocco. CRC Press, p. 163 May.

10. Frans, B., Julia, H., and David, M.G., 2006. Learning to adapt: organizational adaptation to climate change impacts. *Climate Change*. 78 (1): 135–156.

11. Genest, C. and Rivest, L.P. 1993. Statistical Inference Procedures for Bivariate Archimedean Copula. *Journal of the American Statistical Association*. 8: 1034-1043.



31. Wang, S.G., Wang, J.Y., Zhou, Z.J., and Shang, K.Z. 2005. Regional characteristics of three kinds of dust storm events in China. *Atmos. Environ.* 39: 509–520.
32. Wong, G., Lambert, M.F., and Leonard, M. 2010. Drought analysis using trivariate copulas conditional on climatic states. *Hydrology Engineering*. 15 (2): 129–141.
33. Xu, K., Yang, D., and Xu, H. 2015. Copula based drought frequency analysis considering the spatio-temporal variability in Southwest China. *Journal of Hydrology*. 527: 630–640.
34. Zhao, J. B, Du, J., and Huang, C.C. 2002. Formation conditions and affecting factors of sand-dust storm. *Arid Zone Research*. 19(1):58–62.
35. Zhou, Y., Li, N., Wu, W., Wu, J., Gu, X., and Ji, Z. 2013. Exploring the characteristics of major natural disasters in China and their impacts during the past decades. *Natural Hazards*. 69 (1): 829–843.
- Khosravi, H., and Mortezaie, Gh. 2017. Statistical analysis of dust event in Yazd province. The 4<sup>th</sup> international conference on environmental planning and management.
24. Nelsen, R. B. 2006. *An Introduction to Copulas*. New York: Springer.
25. Qian, W., Quan, L., and Shi, Sh. 2001. Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control. *Climate*. 15: 1216- 1229.
26. Shiau, J. T. 2006. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas, *Water Resources Management*. 20(5): 795–815.
27. Sklar, A. 1959. Fonctions derépartition ` a n dimensionset leursmarges,” *Publications de l’Institut de Statistique de l’Universit’é de Paris*. 8: 229–231.
28. Sorensen, J.H., 2000. Hazard warning systems: review of 20 years of progress. *Natural Hazards Review*. 1: 119–125.
29. Tam, W.W.S., Wong, T.W., Wong, A.H.S., and Hui, D.S.C., 2012. Effect of dust storm events on daily emergency admissions for respiratory diseases. *Respirology*. 17: 143–148.
30. Wang, X. M., Dong, Z. B., Zhang, J. W., and Liu, L. C. 2004. Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*. 58: 559–574.



*Abstract***Bivariate Analysis of Return Period of Dust Storm Based on Copula Theory in Yazd Province**M. Mirakbari<sup>1</sup>, T. Mesbahzadeh<sup>2</sup> and M. Mohseni Saravi<sup>3</sup>

Received:2017/10/28 Accepted : 2018/02/09

Dust storm is a stochastic event that depends on several parameters, therefore, multivariate analysis of this event is really important. In this study, importance and shortage of multivariate analysis of natural disasters such as dust storm is investigated. For this purpose, Copula theory is used for bivariate analysis of dust storm. Copulas function are useful tools for multivariate frequency analysis of natural disasters. One of the main advantages of Copula theory is that there is no limit to select the type of marginal distribution. In order to perform bivariate analysis of dust storm, severe dust storm was selected based on definition of WMO from 1982 to 2014 in Yazd province. 34 dust storm events were extracted and maximum wind speed and geopotential heights were determined corresponding to stormy days. Finally, the bivariate return period was calculated based on maximum wind speed and geopotential height using the t-student Copula as the best function. Also, univariate return period of dust storm was calculated based on maximum wind speed and geopotential height, separately for comparison with bivariate return period. The results showed bivariate analysis of return period of dust storm is more accurate than univariate return period.

**Keywords:** *Dust storm, Copula function, Bivariate return period, Geopotential height, Maximum wind speed, Yazd province*

---

1. Ph.D student in combating desertification, Faculty of Natural Resources, Tehran University

2. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University. Corresponding Author Email: tmesbah@ut.ac.ir.

3. Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University.