

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

کاربرد توابع توزیع کاپولا - انتروپی در ارزیابی ریسک خطر خشکسالی

فاطمه پورحق وردی^{۱*}، مرضیه شکاری^۲

*- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران:

f.poorhagh@gmail.com

۲- استادیار، گروه آمار و ریاضی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

چکیده

از آنجاییکه خشکسالی‌ها به طور قابل توجهی از نظر ویژگی‌های زمانی و مکانی، از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت می‌باشند، این پدیده به عنوان یک پدیده چند متغیره شناخته شده که اغلب توسط متغیرهای مدت، بزرگی، شدت، دبی اوج و مساحت تحت پوشش (گسترده‌گی مکانی) مشخص می‌شود. از این رو پایش و تحلیل شرایط خشکسالی یکی از نیازهای اصلی مدیریت آب است. توابع مفصل (کاپولا) ابزار مناسبی برای تحلیل چند متغیره خشکسالی هستند که محدودیت‌های توابع توزیع چندمتغیره کلاسیک را ندارند، از جمله اینکه در استفاده از آنها الزامی در یکسان بودن توابع توزیع حاشیه‌ای وجود ندارد. در مدل‌سازی دو متغیره در هیدرولوژی و مهندسی آبخیزداری، مزیت اصلی کاپولا، مدل‌سازی ساختار وابستگی مشترک بین متغیرها، بدون محدودیت در انتخاب تابع توزیع‌های حاشیه‌ای است. بنابراین، با توجه به این عملکرد مهم، محققان می‌توانند به طور انعطاف پذیری، توابع احتمال حاشیه‌ای و توابع مفصل را انتخاب کنند. در نتیجه، انتخاب تابع توزیع حاشیه‌ای امری حیاتی است زیرا به شدت بر عملکرد کاپولا در مدل‌سازی دو متغیره تأثیر می‌گذارد و هر گونه اشتباه در انتخاب آنها منجر به بیش برآورد یا کم برآورد ریسک خشکسالی می‌شود. از طرفی انتخاب تابع توزیع مناسب از بین توابع نیز زمان بر است. اصل حداکثر آنتروپی راه عینی‌تری برای استخراج توابع توزیع احتمال (PDF) با حداقل خطا ارائه می‌دهد که در آن PDF دارای حداکثر عدم قطعیت است، مشروط به مجموعه‌ای از محدودیت‌ها که می‌تواند جایگزین خوبی برای روش کاپولا باشد. در این مقاله ما به طور خاص به آنتروپی - کاپولا پرداخته و کاربرد آن در زمینه خشکسالی بررسی گردید.

کلمات کلیدی: توابع کاپولا، آنتروپی، تابع حاشیه‌ای، خشکسالی

۱- مقدمه

خشکسالی یک بلای طبیعی است که اثرات نامطلوبی بر منابع آب، محیط زیست و توسعه اجتماعی-اقتصادی دارد. در طول دهه‌های گذشته، درصد زمین‌های تحت تأثیر خشکسالی شدید در جهان به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی دو برابر شده است [1,2]. خشکسالی منجر به زیان اقتصادی ۶ تا ۸ میلیارد دلار در سال در جهان می‌شود که بیشتر از هر بلای طبیعی دیگری است [3].

از آنجاییکه خشکسالی‌ها به طور قابل توجهی از نظر ویژگی‌های زمانی و مکانی، از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت می‌باشند، این پدیده به عنوان یک پدیده چند متغیره شناخته شده که اغلب توسط متغیرهای مدت، بزرگی، شدت، پیک و مساحت تحت پوشش (گسترده‌گی مکانی) مشخص می‌شود. از این رو پایش و تحلیل شرایط خشکسالی یکی از نیازهای اصلی مدیریت آب است. از نظر تحلیل فرکانس هیدرولوژی، پرکاربردترین توزیع‌ها، توزیع‌های پارامتری هستند، مانند توزیع نرمال، توزیع لوگ نرمال، توزیع پیرسون نوع ۳، توزیع لوگ پیرسون نوع ۳، توزیع گاما و غیره [5]. هنگام استفاده از این توزیع‌ها، یک اشکال آشکار این است که انتخاب توزیع مناسب از بین کاندیداهای مختلف زمان‌بر است [6]. بدتر از آن، اگر توزیع احتمال تک متغیره اشتباه

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

شناسایی شود، نتایج به دست آمده تمایل به کم برآورد یا بیش از حد برآورده شدن دارند [7] تحلیل چندمتغیره خشکسالی تفسیر دقیقتری نسبت به تحلیل های تک متغیره می‌دهند. به همین دلیل از اهمیت بالایی برخوردارند اما مشکل اساسی در تحلیل چند متغیره خشکسالی این است که غالباً توزیع احتمال متغیرهای خشکسالی یکسان نیست و نمی توان از توابع توزیع چند متغیره کلاسیک استفاده کرد. برای رفع این مشکل می‌توان از توابع توزیع چند متغیره جدیدتری به نام توابع کاپولا و آنترویی استفاده کرد، که محدودیت‌های توابع توزیع چند متغیره کلاسیک را ندارند [8]. توابع مفصل (کاپولا) ابزار مناسبی برای تحلیل چند متغیره خشکسالی هستند که محدودیت‌های توابع توزیع چندمتغیره کلاسیک را ندارند، از جمله اینکه در استفاده از آنها الزامی در یکسان بودن توابع توزیع حاشیه‌ای وجود ندارد [9]. کاپولا توابعی می‌باشند که توابع توزیع چندمتغیره را به توابع توزیع حاشیه‌ای‌شان متصل می‌کنند. توابع کاپولا قادرند ساختار همبستگی بین چند متغیر همبسته را مستقل از توزیع هر کدام از متغیرها مدل کنند. توابع کاپولا به طور گسترده برای توصیف رفتارهای مشترک رویدادهای هیدرولوژیکی حادی و تجزیه و تحلیل ریسک هیدرولوژیکی استفاده شده است.

انترویی معیاری از عدم قطعیت فرایندهای تصادفی هیدرولوژیک و هیدرومتئورولوژیک است که به طور غیرمستقیم محتوای اطلاعاتی اندازه‌گیری های زمانی- مکانی این فرایندها را منعکس می سازد [10]. اصل حداکثر انترویی، معیاری منطقی و در عین حال تجربی را برای انتخاب بهترین تابع توزیع احتمالاتی، از مجموعه ای از توزیع های موردنظر به دست می دهد. توزیعی بهترین خواهد بود که تابع انترویی را با توجه به محدودیت ها، با حداقل خطا بیشینه می‌کند. اصل حداکثر انترویی یک معیار برای انتخاب مناسب‌ترین توابع توزیع احتمال براساس منطقه پیشنهاد می‌کند. تابع توزیع احتمالاتی‌ها دارای بیش‌ترین عدم قطعیت هستند، که تابع مجموعه‌ای از محدودیت‌ها هستند [11]. افزون بر این، پارامترهای تابع توزیع آماری را می‌توان با استفاده توأم از، اصل حداکثر انترویی و تکنیک بهینه سازی کلاسیک ضرایب لاگرانژ تخمین زد. تئوری انترویی اولین بار توسط شانون در سال ۱۹۸۷ [12] توسعه داده شد و پس از آن به طور گسترده در مسائل مختلف علمی مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که ژانگ و سینگ ۲۰۱۲ [7] بیان کردند، یک روش مبتنی بر انترویی قادر به رسیدن به یک راه‌حل جهانی است و می‌تواند شکل تابع چگالی احتمال را، بدون دانستن فرمت یک توزیع قبلی، بدست آورد. باتوجه به عملکرد عالی توزیع حداکثر انترویی، به طور گسترده در زمینه هیدرولوژی استفاده شده است [3]. استنتاج توزیع حاشیه‌ای پیشرفته، به عنوان مثال، نظریه حداکثر انترویی، به ویژه برای بهبود عملکرد کاپولا مفید است. در مدل‌سازی دو متغیره در هیدرولوومتئورولوژی، مزیت اصلی کاپولا، مدل‌سازی ساختار وابستگی مشترک بین متغیرها، بدون محدودیت در انتخاب تابع توزیع‌های حاشیه‌ای است. بنابراین، با توجه به این عملکرد مهم، محققان می‌توانند به طور انعطاف پذیری، توابع احتمال حاشیه‌ای و توابع مفصل را انتخاب کنند. در نتیجه، انتخاب تابع توزیع حاشیه‌ای امری حیاتی است زیرا به شدت بر عملکرد کاپولا در مدل‌سازی دو متغیره تأثیر می‌گذارد و هر گونه اشتباه در انتخاب آنها منجر به بیش برآورد یا کم برآورد ریسک خشکسالی می‌شود. از طرفی انتخاب تابع توزیع مناسب از بین توابع نیز زمان بر است. اصل حداکثر انترویی راه عینی‌تری برای استخراج توابع توزیع احتمال (PDF) با حداقل خطا ارائه می‌دهد که در آن PDF دارای حداکثر عدم قطعیت است، مشروط به مجموعه ای از محدودیت ها که می‌تواند جایگزین خوبی برای روش کاپولا باشد. لذا هدف از این مقاله معرفی انواع توابع کاپولا – انترویی در بررسی ریسک خشکسالی است. لذا در ادامه مبانی نظری کاپولا و انترویی ارائه می‌شود و تحقیقات کاربردی مرتبط در این زمینه معرفی می‌گردد.

۲- اصل انترویی

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

آنتروپی به صورت معیار عدم قطعیت یا امید ریاضی اطلاعات تعریف شده است [12] و بطور گسترده در هیدرومتئورولوژی و هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به مدلسازی بارش و رواناب، آنالیز فراوانی سیل، آنالیز مقادیر حدی، تخمین پارامترها و تحلیل عدم قطعیت اشاره نمود [3,13]

۱-۲ حداکثر توزیع اصل انتروپی (MEP)

مفهوم آنتروپی اولین بار توسط شانون (۱۹۴۸) فرموله شد. پس از آن، جینز [14] اصل حداکثر انتروپی را برای به دست آوردن توزیع احتمال با حداقل سوگیری زمانی که اطلاعات خاصی از نظر محدودیت‌ها ارائه می‌شود، توسعه داد (Jaynes, 1982) تا به امروز، آنتروپی شانون به طور گسترده در زمینه هیدرولوژیکی، مانند مدل‌سازی بارش-رواناب، تحلیل خشکسالی و پیش‌بینی جریان استفاده شده است [15] آنتروپی شانون $H(x)$ تابع چگالی احتمال (PDF)، $F(x)$ برای یک متغیر پیوسته است. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ می‌توان چنین تعریف کرد:

$$H(x) = - \int_a^b f(x) \ln f(x) dx \quad (1)$$

که در آن a و b به ترتیب مرزهای پایین و بالایی متغیر X را نشان می‌دهند. برای دستیابی به کمترین توزیع احتمال، اصل حداکثر آنتروپی با حداکثر کردن آنتروپی ارائه شده توسط رابطه (۲) با توجه به محدودیت‌های زیر انجام می‌شود

$$C_r, r = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$C_0 = \int_a^b f(x) dx = 1 \quad (2)$$

$$C_r = \int_a^b g_r(x) f(x) dx = \overline{g_r(x)}, \quad r = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

که در آن $g_r(x)$, $r=1, 2, \dots, n$ برخی از توابع شناخته شده x را نشان می‌دهد. n تعداد محدودیت‌ها را نشان می‌دهد. $g_r(x)$ به معنای انتظار $g_r(x)$ است. معادله (۳) بیان می‌کند که تابع چگالی احتمال باید قضیه احتمال کل را برآورده کند. در اینجا، $g_r(x)$ را می‌توان به عنوان توان x بیان کرد به طوری که

$$g_r(x) = x^r, \quad r = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

به طور کلی، تعداد متفاوتی از محدودیت‌ها عملکردهای متفاوتی را به دست می‌آورند. با توجه به این موضوع، مطالعه حاضر از چندین قید برای ساخت توزیع‌های مبتنی بر MEP برای سری‌های جریان و بارش ماهانه استفاده می‌کند. برای دستیابی به حداکثر آنتروپی، روش ضرب لاگرانژ یک روش ساده و پرکاربرد است [۱۲]. با توجه به قیود بیان شده در معادلات (۲) و (۳)، تابع لاگرانژی L را می‌توان به صورت زیر نوشت:

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

$$L = - \int_a^b f(x) \ln f(x) dx - (\lambda_0 - 1) \left[\int_a^b f(x) dx - C_0 \right] - \sum_{r=1}^n \lambda_r \left[\int_a^b f(x) g_r(x) dx - C_r \right] \quad (5)$$

که در آن λ (r=1,2,...,n) نشان دهنده ضرب کننده های لاگرانژ است. $f(x)$ را می توان از طریق به حداکثر رساندن تابع L به دست آورد، و بنابراین L را نسبت به $f(x)$ که برابر با صفر است متمایز می کند:

$$\frac{\partial L}{\partial f} = 0 \Rightarrow -[1 + \ln f(x)] - (\lambda_0 - 1) - \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) = 0 \quad (6)$$

بنابراین، حداکثر تابع توزیع احتمال مبتنی بر انتروپی حاصل از متغیر X بر حسب محدودیت‌های داده شده را می توان با

$$f(x) = \exp \left[-\lambda_0 - \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] \quad (7)$$

با وارد کردن معادله (۷) به ترتیب در معادلات (۲) و (۳) می توانیم به دست آوریم

$$\exp(\lambda_0) = \int_a^b \exp \left[-\sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx, \quad r = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$$C_r = \int_a^b g_r(x) \exp \left[-\lambda_0 - \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx, \quad r = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

با استفاده از رابطه (۸) می توان ضریب صفر لاگرانژ را به صورت زیر نوشت

$$\lambda_0 = \ln \int_a^b \exp \left[-\sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx, \quad r = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

با جایگزینی معادله (۱۰) به معادله (۷)، $f(x)$ را می توان به صورت بیان کرد

$$f(x) = \exp \left[-\ln \int_a^b \exp \left[-\sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx - \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] \quad (11)$$

در اینجا، تابع توزیع احتمال (PDF) که در معادله ۱۱ بیان می شود، می تواند مهم ترین لحظات آماری را حفظ کند. تابع توزیع تجمعی (CDF) را می توان از طریق انتگرال معادله (۱۱) بدست آورد.

$$F(x) = \int_a^x \exp \left[-\ln \int_a^b \exp \left[-\sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx - \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx \quad (12)$$

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آب‌خیزهای ساحلی

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

بر اساس تابع PDF، ضریب لاگرانژ λ را می‌توان با به حداقل رساندن تابع محدب تخمین زد، که به صورت زیر نشان داده شده است.

$$Z(\lambda) = \ln \left[\int_a^b \exp \left[- \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \right] dx \right] + \sum_{r=1}^n \lambda_r g_r(x) \quad (13)$$

۳- تابع کاپولا

کاپولا، همانطور که توسط اسکالر ۱۹۵۹ معرفی شد، یک ابزار قدرتمند برای مدل سازی ساختارهای وابستگی متغیرهای فردی است [16]. به طور کلی، توابع کاپولا به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند. ارجحیت کاپولاهای پارامتریک در استفاده از پارامتر بوده است. در واقع برازش کاپولا با داده‌های ورودی به کمک تخمین این پارامترها امکانپذیر است، نکته ای که محدودیتی برای کاپولاهای ناپارامتریک محسوب می‌شود. این پارامترها نماینده شدت وابستگی متغیرها می‌باشند و رابطه ریاضی معینی با آن دارند. بنا به استفاده از پارامترهای متفاوت در کاپولاهای پارامتریک مختلف، نتایج نیز با هم متفاوت خواهند بود. از بین توابع کاپولا، توابع کاپولا خانواده ارشمیدسی (گامبل، فرانک، کلایتون، جوی، علی میخائیل حق) و بیضوی (تی و نرمال) از پرکاربردترین‌ها هستند.

با توجه به قضیه اسکالر، تابع توزیع چند متغیره d بعدی برای متغیرهای تصادفی $X_1, X_2, \dots, X_d$ با توزیع حاشیه ای $F_1, F_2, \dots, F_d$ را می‌توان به صورت بیان کرد.

$$F(X_1, \dots, X_d) = C(F_1(X_1), \dots, F_d(X_d); \Theta) \quad (14)$$

که در آن Θ بردار پارامتر کاپولا است و $F_d(x_d) = f(X \leq x)$ توزیع حاشیه ای X_d است. در زمینه هیدرولوژی، کاپولاهای ارشمیدسی به دلیل اشکال عملکردی صریح خود بسیار محبوب هستند. علاوه بر این، آنها برای توصیف طیف وسیعی از ساختارهای وابستگی با چندین ویژگی مطلوب برتر هستند. در مطالعه حاضر، کاپولا های Frank، Clayton که متعلق به کلاس ارشمیدوسی از جفت هستند، برای ارزیابی ریسک هیدرولوژیکی دو متغیره استفاده شدند. فرمول خاص این کاپولا برای اولین بار توسط نلسن (۱۹۹۹) گزارش شد [17].

۴- دیدگاه حداکثر انتروپی کاپولا

برای دو متغیر X, Y با تابع حاشیه ای u, v ؛ تابع چگالی احتمال کاپولای آنها به شکل $C(u, v)$ خواهند شد. براساس تابع انتروپی (معادله ۱) چنانچه بخواهیم انتروپی تابع چگالی کاپولا را برای $C(u, v)$ داشته باشیم، بصورت معادله ۱۵ خواهد بود. لذا مجموعه ای از قیود را می‌توان برای استنباط تابع چگالی $c(u, v)$ تعریف کرد (معادله ۱۶) [10].

$$Hc(c(u, v)) = - \int_0^1 \int_0^1 c(u, v) \log c(u, v) du dv \quad (15)$$

$$\int_0^1 \int_0^1 g_i(u, v) c(u, v) \log c(u, v) du dv = E[g_i(u, v)] \quad i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (16)$$

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

در این معادله تابع حاشیه ای u, v از $g_i(u, v)$ بدست می آید و $E[g_i(u, v)]$ میزان مورد انتظار است. قید زیر را می توان برای تابع چگالی کاپولا $C(u, v) = 1$ بصورت زیر تعریف کرد:

$$\int_0^1 \int_0^1 c(u, v) \log c(u, v) du dv = 1 \quad (17)$$

چنانچه $C(u, 1) = u$ و $C(1, v) = v$ باشد، در اینصورت خواهیم داشت:

$$\int_0^1 \int_0^u c(S, v) ds dv = u \quad (18)$$

$$\int_0^v \int_0^1 c(u, t) du dt = v \quad (19)$$

۵- تحقیقات کاربردی کاپولا- انتروپی در حوزه‌ی ارزیابی ریسک خشکسالی

در این بخش کاربرد کاپولا - انتروپی در ارزیابی خشکسالی ارائه شده است.

جدول ۱: نمونه تحقیقات انجام شده در ارزیابی خشکسالی

نویسنده	روش شناسی	چالش و مسئله مورد نظر	داده ها / متغیرها / منطقه‌ی تحقیق
[18]	کاربرد کاپولای وان و اصل حداکثر انتروپی	روش انتروپی بر اساس پیش بینی جریان یک ماهه آزمایش کردند	چارچوب مبتنی بر انتروپی و کاپولا در حوضه رودخانه جینشا پرداختند. نتایج نشان داد روش ترکیبی انتروپی - وان کاپولا به پیش بینی ماهرانه تری نسبت به مدل های پارامتری سنتی میپردازد.
[19]	به آنالیز دو متغیره خشکسالی با استفاده از روش ماکزیمم انتروپی- کاپولا ، کاپولای تئوری (ارشمیدسی- بیضوی) و کاپولای تجربی می پردازند	آنالیز دو متغیره شدت و مدت خشکسالی با استفاده از ماکزیمم انتروپی- کاپولا، امپریکال کاپولا و کاپولای پارامترک صورت گرفت	در ۳۹ ایستگاه سینوپتیک ایران مناطق همگن اقلیمی با استفاده از روش FCM مشخص گردید. نتایج نشان داد در هر ۴ منطقه همگن در ایران با استفاده از نظریه ماکزیمم انتروپی می توان توزیع های تک و دو متغیره را برآورد کرد. برای مجموعه ای از قیود ، ماکزیمم انتروپی - کاپولا مستقل از توابع حاشیه ای است کاملاً بر توابع توزیع تجربی و تئوریک منطبق است.
[20]	مدلسازی مشترک و بررسی شدت و مدت خشکسالی با استفاده از نظریه کاپولا	آنها تغییرات شدت و مدت خشکسالی را با استفاده از شاخص بارش استاندارد (SPI) مورد مطالعه قرار دادند.	تغییرات شدت و مدت خشکسالی در دو شهر بزرگ کشور غنا ارزیابی کردند. از مدل های کاپولا برا ترکیب شدت و مدت خشکسالی استفاده کردند . نتایج نشان داد کاپولای فرانک و کلایتون مناسب بوده.



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران



دانشگاه هرمزگان

دوازدهمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

ارزیابی خطر خشکسالی در حوضه رودخانه کایدو چین. مزایای این روش تابع توزیع حاشیه ای نیاز به هیچ فرضی ندارد. و رویداد خشکسالی در طول سال های ۱۹۵۸ تا ۲۰۱۱ تجربه کرده است.	تحلیل فراوانی مبتنی بر حداکثر آنتروپی برای ارزیابی خطر خشکسالی دو متغیره توسعه دادند.	تحلیل فراوانی مبتنی بر حداکثر آنتروپی و کاپولا	[21]
شاخص SPI-12 و JDI ایران	مقایسه کارایی شاخص های یک و چندمتغیره	شاخص SPI-12 و JDI با استفاده از کاپولای تجربی و پارامتریک	[22]
بارش و رواناب	کارایی توابع مفصل چند بعدی در فراهم کردن یک شاخص جامع خشکسالی برای ارزیابی چند متغیره خشکسالی	کاربرد کاپولا در ساخت شاخص چندمتغیره	[23]
شاخص استاندارد شده تبخیر و تعرق/ چین	مقادیر آنتروپی با پایه هیدرولوژیکی قابل اعتماد ارتباط نزدیکی با ماه های کمبود بارش دارد.	از آنتروپی برای بررسی تغییرپذیری مکانی و زمانی خشکسالی هواشناسی	[24]
به مقایسه فراوانی های نسبی شدت خشکسالی در ایستگاه ها / روش آنتروپی می تواند جایگزینی برای تحلیل خشکسالی باشد.	با استفاده از دو روش ماکسیمم آنتروپی و حداکثر درستنمایی به تجزیه و تحلیل خشکسالی پرداختند.	تجزیه و تحلیل خشکسالی با استفاده از شاخص SPI	[25]
در روش حداکثر آنتروپی دوره های منظم ترسالی و خشکسالی دیده می شود که شدت بیشتری داشته در حالی که روش حداکثر درستنمایی شدت های کمتری را نشان می دهد.	مقادیر شدت، مدت، بزرگی و پیک برای مقیاس های زمانی ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه گردید و روند آنها با آزمون تحلیل روند من-کندال مورد بررسی قرار گرفت.	مشخصه های خشکسالی با دو روش حداکثر آنتروپی و حداکثر درستنمایی بررسی کرد.	[26]
شدت و مدت خشکسالی ایران	تحلیل روند مشخصه های خشکسالی با استفاده از شاخص تک و چندمتغیره	مقایسه دو شاخص خشکسالی تک و چند متغیره	[27]
شاخص RDI و استخراج شدت و مدت/ ایران	تحلیل احتمالاتی شدت و مدت خشکسالی	کاربرد کاپولای تثوریک در تحلیل توام خشکسالی	[28]
در مناطق با متوسط بارش کمتر، حساسیت آنتروپی به حجم بارش هاست و با کاهش حجم بارش ها آنتروپی کاهش می یابد. متوسط دراز مدت آنتروپی کمبود بارش آستانه شروع خشکسالی را به خوبی نشان میدهد/حوضه آبریز کرخه ایران	عدد آنتروپی کمبود بارش بعنوان شاخص آنتروپی کمبود بارش معرفی شده و وجود خشکسالی با توجه به متوسط آنتروپی کمبود بارش در	یکنواختی کمبود بارش با استناد به مفهوم آنتروپی شانون به صورت ۱۲ ماهه بررسی شد.	[29]

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

	سالهای ۱۳۴۱-۷۱۱۳ تعیین می‌شود.		
--	--------------------------------	--	--

۶- نتیجه گیری

تحقیق حاضر با هدف معرفی توابع انتروپی - کاپولا در ارزیابی خشکسالی صورت پذیرفت. در سال‌های اخیر، استفاده از توابع کاپولا و انتروپی در تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی چند متغیره به طور قابل توجهی افزایش یافته است. در تحلیل فراوانی خشکسالی به عنوان یک پدیده چندوجهی، خلاصه کردن بزرگی رویداد در یک متغیر، می‌تواند موجب کاهش دقت یک مطالعه و اعتمادپذیری نتایج آن شود. تحلیل فراوانی دو متغیره و چند متغیره خشکسالی، این امکان را فراهم می‌کند که دوره بازگشت یک رویداد خشکسالی با شدت و تداوم و یا سایر متغیرهای خشکسالی برآورد شود. استفاده از تابع کاپولا-انتروپی با در نظر گرفتن ماهیت چند متغیره آن، انعطاف‌پذیری زیادی برای مدل‌سازی ویژگی‌های خشکسالی می‌دهد. ارزیابی ریسک کلاسیک تنها از یک متغیر استفاده می‌کند، لذا نمی‌تواند منعکس کننده ویژگی‌های پنهانی و پیچیده پدیده‌های خشکسالی باشد، لذا با توابع مفصل و انتروپی می‌توان یک توزیع احتمالاتی مشترک از متغیرهای مذکور استخراج کرد. با توجه به تصادفی و وابسته بودن متغیرهای خشکسالی، مفید بودن استفاده از روشهای چندمتغیره کاپولا و انتروپی به لحاظ در نظر گرفتن این وابستگی در تمام بخشهای توزیع مفصل، امری انکارنشدنی به نظر میرسد. از طرفی بررسی تحقیقات انجام شده نیز موید این موضوع بوده و قطعاً توسعه کاربرد تابع انتروپی کاپولا به مدیران و برنامه‌ریزان خشکسالی در راستای شناخت صحیح فرآیندها و ارائه راهکارها و استراتژیهای مناسب کمک شایانی خواهد کرد.

۷- مرجع

- [1]Sternberg, T., 2011. Regional drought has a global impact. Nature 472, 169
- [2]Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., 2013. IPCC: climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Computational Geometry 18 (2), 95–123.
- [3]Hao, Z.; Singh, V.P. Integrating entropy and copula theories for hydrologic modeling and analysis. Entropy 2015, 17, 2253–2280.
- [4]Fan, Y.R.; Huang, W.; Huang, G.H.; Li, Y.P.; Huang, K. Hydrologic risk analysis in the Yangtze river basin through coupling Gaussian mixtures into copulas. Adv. Water Resour. 2016, 88, 170–185.
- [5]Fan, Y.R.; Huang, W.; Huang, G.H.; Li, Y.P.; Huang, K. Hydrologic risk analysis in the Yangtze river basin through coupling Gaussian mixtures into copulas. Adv. Water Resour. 2016, 88, 170–185.
- [6]Liu, D.; Wang, D.; Singh, V.P.; Wang, Y.; Wu, J.; Wang, L.; Zou, X.; Chen, Y.; Chen, X. Optimal moment determination in POME-copula based hydrometeorological dependence modelling. Adv. Water Res. 2017, 105, 39–50.
- [7] Zhang, L.; Singh, V.P. Bivariate rainfall and runoff analysis using entropy and copula theories. Entropy 2012, 14, 1784–1812

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

- [8]Bazrafshan, O., Zamani, H., Shekari, M., 2019. A copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Nat. Resour. Model.* e12237, 1–19.
- [9]Shiau JT. Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas. *Water Resources Management.* 2006; 20: 795–815.
- [10] Hao, Z., & Singh, V. P. (2013). Entropy-based method for bivariate drought analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 780-786.
- [11] Zhao, N.; Lin, W.T. 2011. A copula entropy approach to correlation measurement at the country level.
- [12]Shannon, C. E. (1984). Communication in the presence of noise. *Proceedings of the IEEE*, 72(9), 1192-1201.
- Zhang, Y., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Wang, H., & Wang, L. (2019). Assessment of drought evolution characteristics based on a nonparametric and trivariate integrated drought index. *Journal of Hydrology*, 579, 124230.
- [13]Aghakouchak, A. (2014). Entropy–copula in hydrology and climatology. *Journal of Hydrometeorology*, 15(6), 2176-2189
- [14]Jaynes, E. T. (1982). On the rationale of maximum-entropy methods. *Proceedings of the IEEE*, 70(9), 939-952.
- [15]Cui, H., & Singh, V. P. (2016). Maximum entropy spectral analysis for streamflow forecasting. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 442, 91-99.
- [16]Sklar, A. *Functions de Repartition à n Dimensions et Luers Marges.* Publ. Inst. Stat. Univ. Paris 1959, 8,
- [17] Nelsen, R. B. (2006). Methods of constructing copulas. *An introduction to copulas*, 51-108.
- [18] Ju, X., Wang, D., Wang, Y., Singh, V. P., Xu, P., Zhang, A., ... & Zhang, J. (2023). An entropy and copula-based framework for streamflow prediction and spatio-temporal identification of drought. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-18.
- [19] Shekari, M., Zamani, H., Bazrafshan, O., & Singh, V. P. (2023). Maximum entropy copula for bivariate drought analysis. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 103419.
- [20]Adutwum, G. K., Chung, E. S., Shiru, M. S., & Shahid, S. (2023). Joint Modelling of Drought Severity and Duration using Copula Theory: A Case Study of Ghana. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(4), 1850-1865.
- [21]Yang, B., Zhang, Y., Pan, H., Si, W., Zhang, Q., Shen, Z., ... & Lin, Y. H. (2022). High-entropy enhanced capacitive energy storage. *Nature Materials*, 21(9), 1074-1080.
- [22]Bazrafshan, O., Zamani, H., & Shekari, M. (2019). A copula-based index for drought analysis in arid and semi-arid regions of Iran. *Natural Resource Modeling*.
- [23]Yang, J., Chang, J., Wang, Y., Li, Y., Hu, H., Chen, Y., ... & Yao, J. (2018). Comprehensive drought characteristics analysis based on a nonlinear multivariate drought index. *Journal of hydrology*, 557, 651-667.
- [24]Sang, Y. F., Singh, V. P., Hu, Z., Xie, P., & Li, X. (2018). Entropy-aided evaluation of meteorological droughts over China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(2), 740-749
- [25]Baran, T., Harmancioglu, N. B., Cetinkaya, C. P., & Barbaros, F. (2017). An extension to the revised approach in the assessment of informational entropy. *Entropy*, 19(12), 634.

[26]پورحق وردی، فاطمه و بذرافشان، ام البنین، ۱۴۰۱. تحلیل مشخصه‌های خشکسالی با استفاده از دو روش حداکثر آنتروپی و حداکثر درست‌نمایی در شاخص بارش استاندارد شده. هفدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران با محوریت آبخیزداری و امنیت پایدار غذایی، جیرفت، ۱۶۲۳۷۹۵. <https://civilica.com/doc/1623795>



انجمن علمی سیستم‌های
سطوح آبگیر باران ایران

دوازدهمین همایش ملی
امانه‌های سطوح آبگیر باران

12th National Conference on Iranian Rainwater Catchment Systems

(The role of rainwater harvesting methods in revitalizing arid and semi-arid microclimates of Iran)

استحصال آب باران و نقش آن در احیا و پایداری
خرد اقلیم‌های مناطق خشک، نیمه خشک و آبخیزهای ساحلی

Feb 13-14, 2024, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

۲۴ و ۲۵ بهمن ماه ۱۴۰۲

[28] ساکی مالچی، الهام، غفوری، حمیدرضا & اشرفی، سید محمد. (۱۴۰۱). پهنه بندی آستانه کمبود بارش بر اساس آنتروپی شانون در حوضه آبریز کرخه. *تحقیقات منابع آب ایران*. 18(2), 19-40.

[27] عبدالهی، سنا و بذرافشان، ام البنین و شکاری، مرضیه، ۱۴۰۱، تحلیل روند مشخصه‌های خشکسالی در ایران با استفاده از شاخص‌های تک و چندمتغیره، <https://civilica.com/doc/1474236>

Application of copula-entropy distribution functions in drought risk assessment

Abstract

Since droughts are significantly different in terms of temporal and spatial characteristics from one region to another, this phenomenon is known as a multivariate phenomenon that is often characterized by the variables of duration, magnitude, intensity, peak, and area covered (extent). location) is specified. Therefore, monitoring and analyzing drought conditions is one of the main needs of water management. Detailed functions (copula) are suitable tools for multivariate analysis of drought that do not have the limitations of classical multivariate distribution functions, such as the fact that there is no requirement that the marginal distribution functions be identical in their use. In bivariate modeling in hydrometeorology, the main advantage of copula is to model the joint dependence structure between variables, without restrictions on the selection of the marginal distribution function. Therefore, according to this important function, researchers can flexibly choose marginal probability functions and detailed functions. As a result, the selection of the marginal distribution function is critical because it strongly affects the performance of the copula in bivariate modeling and any mistake in their selection leads to overestimation and underestimation of drought risk. On the other hand, choosing the appropriate distribution function among the functions also takes time. The principle of maximum entropy provides a more objective way to derive probability distribution functions (PDF) with minimum error, where the PDF has maximum uncertainty, subject to a set of constraints, which can be a good alternative to the Copula method. . In this article, we specifically deal with entropy-copula and examine its application in the field of drought.

Key words: Copula functions, entropy, marginal function, drought