مجله پژوهش آب ایران
سال ششم/ شماره یازدهم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۱ (۱۷-۲۵)

تحلیل دو متغیره مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه)

مریم میراکبری[1*] و آرمان گنجی[2]

چکیده

خشکسالی یکی از بلایایی طبیعی است که ناشی از کاهش طولانی مدت رطوبت است. خشکسالی هواشناسی به دوره ممتد کمبود نزولات جوی گفته می‌شود و دارای چندین مشخصه (شدت، مدت و بزرگی) است. این مشخصه‌ها وابسته به هم هستند و به دلیل این همبستگی، پایش خشکسالی فقط بر اساس یک مشخصه نمی‌تواند شرایط واقعی منطقه را به خوبی نشان دهد. پس بهترین روش پایش خشکسالی، تحلیل مشخصه‌های آن به صورت توأم می‌باشد. در این تحقیق خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه به صورت دو متغیره و بر اساس دو مشخصه شدت و مدت، با توابع چند متغیره کاپولاس تحلیل شد. برای این کار سه تابع کاپولای گروه ارشمیدس به داده‌های شدت و مدت خشکسالی برازش داده شدند و تابع گامبل به عنوان بهترین برازش انتخاب شد. در نهایت با این تابع احتمال وقوع و دوره بازگشت دو متغیره خشکسالی به صورت شرطی و غیرشرطی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد. نتایج به دست آمده نشان داد، بحرانی‌ترین خشکسالی با شدت ۲۵۹/۳ میلی‌متر و به مدت ۱۸ ماه در قسمت غربی منطقه اتفاق افتاده که بر اساس نتایج حاصل از تحلیل دو متغیره، این خشکسالی دارای کمترین احتمال وقوع و بزرگترین دوره بازگشت نسبت به سایر خشکسالی‌های اتفاق افتاده در این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: تابع کاپولا، تحلیل دو متغیره، خشکسالی هواشناسی، شدت و مدت.

ارجاع: میراکبری م. و گنجی آ. ۱۳۹۱. تحلیل دو متغیره مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی هواشناسی (مطالعه موردی: استان کرمانشاه). مجله پژوهش آب ایران. ۶(۱۱):۱۷-۲۵.

۱- کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۲- استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
***نویسنده مسئول:** maryammirakbari@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۱

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

خشکسالی هواشناسی به میزان بارش در یک منطقه بستگی دارد و زمانی اتفاق می‌افتد که بارش کمتر از حد معمول خود بوده و منجر به تغییر الگوی آب و هوایی شود. در تحقیقات صورت گرفته بر ارزیابی خشکسالی‌ها، بیشترین تمرکز در خشکسالی هواشناسی است که یکی از دلایل آن وجود اطلاعات وسیع‌تر و کامل‌تر و همچنین وجود این تفکر که بارش عامل اصلی خشکسالی است، می‌باشد. از رایج‌ترین روش‌های آماری که برای پایش خشکسالی هواشناسی استفاده می‌شود می‌توان به تئوری دنباله و شاخص بارش استاندارد (SPI)[1] اشاره کرد.

زارع و محبوبی (۱۳۸۳) خشکسالی هواشناسی را به صورت سالانه و فصلی با شاخص‌های آماری آستانه ۶۰ درصد، درصدی از نرمال و شاخص بارش استاندارد بررسی کردند. مساعدی و همکاران (۱۳۸۷)، حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۲) خشکسالی هواشناسی را با استفاده از شاخص SPI تحلیل کردند. لشنی زند (۱۳۸۲) با تئوری دنباله منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی خشکسالی را برای حوزه‌های غرب و شمال غرب کشور به دست آورد.

خشکسالی یک پدیده تصادفی و چند متغیره است که توسط مشخصه‌های شدت، مدت و بزرگی بیان می‌شود. مشخصه‌های خشکسالی به هم وابسته هستند و به صورت مستقل و جدای از هم تغییر نکرده و هر کدام بر دیگری تأثیرگذار است. لذا با تحلیل خشکسالی به صورت تک متغیره نمی‌توان معادله همبستگی بین مشخصه‌های آن را نشان داد و ارزیابی کامل و دقیقی از آن ارایه کرد (شیا و شن، ۲۰۰۱). اکثر تحقیقاتی که درباره خشکسالی صورت گرفته، به تحلیل یکی از مشخصه‌های خشکسالی پرداخته شده است (یویویچ ۱۹۶۷؛ تات و گوستارد، ۲۰۰۰). با توجه به چند متغیره بودن این پدیده (کیم و همکاران، ۲۰۰۳)، تحلیل همزمان فراوانی وقوع خشکسالی‌ها می‌تواند به برنامه‌ریزان برای مدیریت و پیش‌بینی خطر وقوع خشکسالی کمک کند. بنابراین پژوهش‌های جدید سعی دارند تا خشکسالی را به صورت چند متغیره تحلیل کنند. البته تعداد این مطالعات محدود است و نیاز به آمار بلندمدت و محاسبات پیچیده ریاضی دارد. تحلیل‌های دو متغیره‌ای که تا کنون درباره خشکسالی صورت گرفته، با انواع توابع دو متغیره بوده است. ندارجاه و گوپتا (۲۰۰۶) از یک توزیع نمایی دو متغیره برای تخمین همزمان مشخصه‌های خشکسالی (بزرگی، مدت) استفاده کردند. بیوندی و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از تابع توزیع دو متغیره نمایی و هندسی مقادیر بزرگی و طول دوره، وقایع اقلیمی را به صورت پیوسته تحلیل کردند. شیا و شن (۲۰۰۱)، بوناکورسو و همکاران (۲۰۰۳)، گونزالز و والدز (۲۰۰۳) توزیع شرطی شد ت را بر اساس مدت خشکسالی برای ایجاد توزیع توأم شدت و مدت خشکسالی ارایه دادند. استفاده از توابع توزیع دو متغیره برای پایش خشکسالی فقط این محدودیت را دارد که برای متغیرهای موجود فقط می‌توان از یک نوع تابع توزیع حاشیه‌ای یکسان استفاده کرد (نلسن، ۲۰۰۶). روشی دیگری که به غیر از توابع توزیع دو متغیره برای تحلیل دو متغیره پدیده‌های طبیعی وجود دارد، کاربرد توابع چند متغیره کاپولاس است. استفاده از این توابع محدود به شرط یکسان بودن توابع حاشیه‌ای نیست و همبستگی میان متغیرها در هنگام برازش و تعیین پارامترها دخالت داده می‌شود. استفاده از توابع کاپولاس برای بررسی رفتار تصادفی متغیرهای خشکسالی، ابزار مفید شناخته شده‌ای است (سالوادوری و میچل، ۲۰۰۴). با این توابع می‌توان فراوانی وقوع خشکسالی را به صورت دو متغیره و توأم، بر اساس شدت و مدت خشکسالی تحلیل کرد. شیا (۲۰۰۶) مدل کاپولا را برای ایجاد تابع توزیع پیوسته شدت و مدت خشکسالی به کار برد. در این مطالعه شاخص SPI برای محاسبه خشکسالی استفاده شده است. ونگ و همکاران (۲۰۰۸) با تعریف سه مشخصه شدت، مدت و بزرگی خشکسالی بر اساس شاخص SPI، توابع کاپولاس سه متغیره برای پایش خشکسالی به کار بردند. فرید (۲۰۰۶) از توابع کاپولاس گروه ارشمیدس برای تحلیل دو متغیره خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده کرد.

در این تحقیق خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه با توابع کاپولاس گروه ارشمیدس بر اساس دو مشخصه شدت و مدت که از فاکتورهای مهم خشکسالی هستند، تحلیل شده است. هدف اصلی از این تحقیق تحلیل دو متغیره خشکسالی هواشناسی برای مشخص ساختن بهتر خصوصیات بلایای طبیعی حاصل از آن بر اساس دو مشخصه شدت و مدت است. برای پایش خشکسالی هواشناسی ابتدا با استفاده از تئوری دنباله دو مشخصه شدت و مدت خشکسالی در تمام ایستگاه‌های موجود در

1- Standardized Precipitation Index

Archive of SID

www.SID.ir

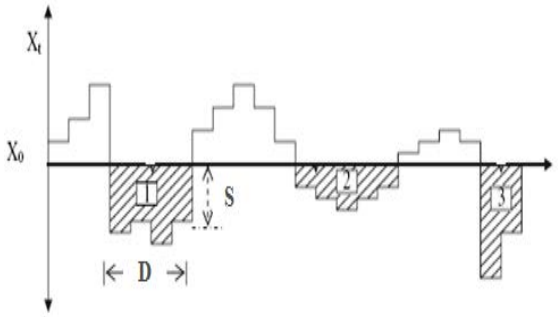
حوزه استخراج شدند. به دلیل وجود خشکسالی‌های وابسته، با استفاده از روش معیار میانی این خشکسالی‌ها ادغام شدند. در نهایت با برازش سه تابع کاپولای گروه ارشمیدس به داده‌های شدت و مدت، تمام تحلیل‌های دو متغیره خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

استان کرمانشاه در محدوده ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد که ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰ متر و متوسط بارندگی ۴۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است. استان کرمانشاه دارای چهار اقلیم متفاوت می‌باشد. زمستان ملایم و تابستان گرم وخشک، زمستان و تابستان خنک، اقلیم نیمه‌خشک و استپی گرم در شهرستان‌های صحنه، هرسین و کنگاور را دارد. به طور کلی استان کرمانشاه از نظر آب و هوایی به دو منطقه گرمسیر در غرب و سردسیر در سایر نواحی تقسیم می‌شود. در این تحقیق برای پایش خشکسالی هواشناسی از آمار بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه با طول دوره آماری حداکثر ۴۶ و حداقل ۴۱ سال استفاده شده است.

استخراج مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی

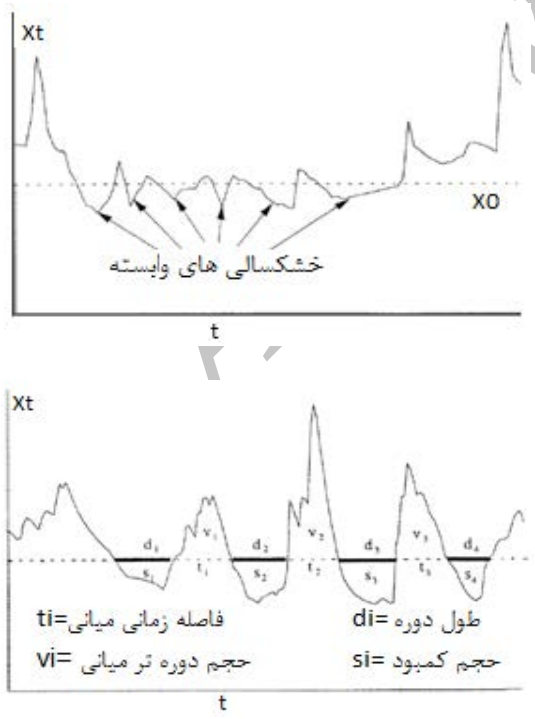
برای استخراج دو مشخصه شدت و مدت خشکسالی هواشناسی از تئوری دنباله استفاده می‌شود. یویویچ (۱۹۶۷) کاربرد تئوری دنباله را مناسب‌ترین روش برای تشخیص دوره‌های خشکسالی و ارزیابی ویژگی‌های آماری آن پیشنهاد کرده است. بر اساس تئوری دنباله برای تعیین دوره‌های خشکسالی نیاز به تعیین یک سطح آستانه است. در اینجا به دلیل استفاده از داده‌های بارندگی ماهانه، میانگین ماهانه دراز مدت بارندگی به عنوان سطح آستانه در نظر گرفته شد. یک خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار بارندگی زیر حد میانگین بلندمدت ماهانه باشد. بر این اساس مشخصه شدت خشکسالی عبارت است از جمع مقادیر کمبود بارندگی در زمان‌هایی است که به طور متوالی بارندگی زیر سطح آستانه قرار گیرد، و مدت خشکسالی بر اساس تعداد ماه‌هایی که این کمبود اتفاق می‌افتد، تعریف می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- تعریف مشخصه‌های خشکسالی

ادغام خشکسالی‌های وابسته

گاهی مواقع ممکن است در طول یک دوره خشکسالی ممتد و طولانی دوره‌های ترسالی کوتاه مدت اتفاق بیفتد و خشکسالی بزرگ و ممتد را به چند خشکسالی وابسته به هم تبدیل کند (شکل ۲) (زلانهاستیک و سالوای، ۱۹۸۷). برای حل این مشکل از روش معیار میانی (IC[۴]) زلانهاستیک و سالوای (۱۹۸۷) استفاده شده است. طبق این روش، درصورتی که فاصله زمانی بین دو خشکسالی کمتر از یک معیار تعیین شده یا t_c باشد و نسبت بین حجم مازاد ترسالی (v) و حجم کمبود خشکسالی (S) قبل از دوره ترسالی کمتر از یک معیار تعیین شده یا p_c باشد، دو خشکسالی با هم ترکیب می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲- ادغام خشکسالی های وابسته توسط روش معیار میانی

1- Inter event Criteria

Archive of SID

www.SID.ir

تحلیل دو متغیره خشکسالی توسط توابع کاپولاس

کاپولاس توابعی هستند که یک توزیع دو یا چند متغیره را بر اساس دو یا چند تابع توزیع حاشیه‌ای تک متغیره تشکیل می‌دهند. فرض شود X و Y دو متغیر تصادفی وابسته مانند شدت و مدت خشکسالی، با تابع توزیع دو متغیره F_{XY} و توابع حاشیه‌ای F_X و F_Y هستند، آنگاه تابع کاپولا دو متغیره)C(به صورت معادله ۱ تعریف می‌شود (نلسن، ۲۰۰۶).

$$F_{XY}(x,y)=C(F_X(x),F_Y(y)) \qquad (۱)$$

استفاده از توابع کاپولاس برای مدل‌سازی از انعطاف‌پذیری بالایی دارد، زیرا برای ساخت یک مدل چند متغیره، توزیع‌های حاشیه‌ای می‌توانند به طور مستقل از هم انتخاب شوند و نیازی نیست مانند توابع توزیع دو متغیره، تابع حاشیه‌ای از توزیع خاصی تبعیت کند (اسرینیواس و همکاران، ۲۰۰۶). توابع کاپولاس گروه ارشمیدس به طور گسترده‌ای در تحلیل‌های دو یا چند متغیره استفاده می‌شود (جنست و ریوست، ۱۹۹۳). شکل کلی توابع کاپولاس گروه ارشمیدس طبق معادله زیر تعریف می‌شود.

$$C(u,v)=\phi^{-1}(\phi(u),\phi(v)) \qquad 0<u,v\le 1 \qquad (۲)$$

در این معادله u و v توابع حاشیه‌ای شدت و مدت خشکسالی، ϕ تابع مولد کاپولا و $\phi:I\to[0,\infty)$ یک تابع پیوسته، محدب $(\phi''(u)>0)$ و اکیداً نزولی $(\phi(1)=0,\phi'(u)<0)$ است. سه تابع کاپولا گامبل (گامبل،۱۹۶۰)، کلایتون (کلایتون، ۱۹۷۸) و فرانک (فرانک، ۱۹۷۹) که متعلق به گروه ارشمیدس هستند برای تحلیل‌های دو متغیره خشکسالی استفاده شده است. (روابط ۳ تا ۵).

$$C_\theta(u,v)=\exp[-\{(-\ln u)^\theta+(-\ln v)^\theta\}^{1/\theta}] \qquad (۳)$$

$$C_\theta(u,v)=\max((u^{-\theta}+v^{-\theta}-1)^{-1/\theta},0) \qquad (۴)$$

$$C_\theta(u,v)=-\frac{1}{\theta}\ln\left(1+\frac{(e^{-\theta u}-1)(e^{-\theta v}-1)}{e^{-\theta}-1}\right) \qquad (۵)$$

در تمام این روابط θ پارامتر تابع کاپولا است که وابستگی بین متغیرها را نشان می‌دهد.

برای تحلیل‌های دو متغیره، سه تابع کاپولای ارشمیدس به داده‌های شدت و مدت خشکسالی برازش داده شدند. شرط استفاده از توابع کاپولاس وجود همبستگی بین متغیرها خشکسالی است و در صورت عدم وجود همبستگی استفاده از این توابع مناسب نیست. برای بررسی همبستگی بین دو مشخصه خشکسالی از ضریب همبستگی کندال استفاده شده است. این ضریب از اختلاف بین احتمال همگنی و احتمال ناجوری جفت متغیرهای $(x_i,y_i),(x_j,y_j)$ و طبق معادله زیر حاصل می‌شود (نلسن، ۲۰۰۶).

$$\tau=\tau_{X,Y}=P\ [(x_i-x_j)(y_i-y_j)>0]-P\ [(x_i-x_j)(y_i-y_j)<0] \qquad (۶)$$
$$-1\le\tau\le 1$$

جهت برازش سه تابع کاپولای گامبل، کلایتون و فرانک به داده‌های خشکسالی، تخمین پارامتر هر سه تابع نیاز است. برای تخمین پارامتر θ از دو روش پارامتری و غیرپارامتری استفاده می‌شود. در روش پارامتری برای تخمین θ از معادله بین ضریب همبستگی کندال (τ) و تابع مولد هر کاپولا (ϕ) به صورت معادله زیر استفاده می‌شود (جنست و ریوست، ۱۹۹۳).

$$\tau(X,Y)=1+4\int_0^1\frac{\phi(\upsilon)}{\phi'(\upsilon)}d\upsilon \qquad (۷)$$

در روش غیرپارامتری با استفاده از تابع حداکثر درست نمایی لگاریتمی (معادله ۸) پارامتر θ تخمین زده می‌شود (فاور و همکاران، ۲۰۰۴).

$$L(\theta)=\sum_{k=1}^{n}\log[c_\theta\{F_1(x_{1k}),...,F_p(x_{pk})\}] \qquad (۸)$$

در این معادله c_θ تابع چگالی کاپولاس، F تابع توزیع حاشیه‌ای و $x_{1k},x_{2k},...,x_{pk}\ (k=1,...,n)$ متغیرهای تصادفی وابسته هستند. قبل از مدل‌سازی توسط این توابع، نوع تابع کاپولایی که به داده‌های شدت و مدت خشکسالی بهترین برازش را داشته باشد با استفاده از روش ارایه شده توسط جنست و ریوست (۱۹۹۳) انتخاب می‌شود. بر اساس این روش مقدار احتمال وقوع توأم دو متغیر شدت و مدت خشکسالی به صورت پارامتری (تئوری) و تجربی $(C(u,v)=k(t)=P\ (T\le t))$ تعیین می‌شود. در تخمین پارامتری احتمال وقوع توأم دو متغیر طبق معادله ۹ از تابع مولد هر سه نوع کاپولا استفاده می‌شود. در این معادله t احتمال وقوع توأم دو متغیر است که به صورت معادله۱۰ محاسبه می‌شود.

$$k(t)=t-\frac{\phi(t)}{\phi'(t)} \qquad (۹)$$

$$t_i=Number\ of\ \{(X_j,Y_j):X_j\le X_i,Y_j\le Y_i\}/(N-1) \qquad (۱۰)$$
$$1\le i\le N$$

در این معادله بردار (X_j,Y_j) مقادیر شدت و مدت

Archive of SID

www.SID.ir

خشکسالی و N تعداد داده‌ها است. مقادیر احتمال وقوع تجربی ($k_n(t)$) دو متغیر شدت و مدت طبق معادله تجربی ویبول به دست می‌آید. برای انتخاب بهترین برازش Q-Q پلات سه تابع رسم شدند. علاوه بر رسم Q-Q پلات که یک معیار چشمی برای انتخاب بهترین برازش است از دو معیار AIC[1] (معادله ۱۱) و RMSE[2] (معادله ۱۲) نیز استفاده شد. بر اساس این دو معیار تابعی که کمترین مقدار AIC و RMSE را دارد بهترین برازش را به داده‌های شدت و مدت خشکسالی نشان می‌دهد.

$$AIC = N\log(E(X_c - X_0)^2) + 2k \qquad (۱۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[X_c(i) - X_0(i)]^2} \qquad (۱۲)$$

در این روابط k تعداد پارامترهای تابع کاپولا، N تعداد داده‌ها، X_c احتمال تئوری حاصل از تابع کاپولا ($k(t)$) و X_0 احتمال تجربی مشاهدات ($k_n(t)$) است.

احتمال وقوع و دوره بازگشت دو متغیره خشکسالی (شرطی و غیرشرطی)

با استفاده از مناسب‌ترین تابع کاپولا برازش یافته به داده‌های شدت و مدت خشکسالی، می‌توان خشکسالی را به صورت دو متغیره و بر اساس دو مشخصه آن بررسی کرد. پایش خشکسالی بر اساس این دو مشخصه که از فاکتورهای مهم در مدیریت خشکسالی هستند، به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا درک بهتری از پدیده خشکسالی داشته باشند و برنامه‌ریزی خود را در این زمینه بهبود بخشند. توسط تابع کاپولا احتمال وقوع توأم شدت و مدت خشکسالی به صورت شرطی و غیرشرطی قابل محاسبه است. احتمال وقوع غیرشرطی بامعادله اصلی تابع کاپولا و احتمال شرطی با استفاده از معادله ۱۳ تعیین می‌شود (شیا، ۲۰۰۶).

$$P(D \le d \mid S \ge s') = \frac{F_D(d) - C(F_D(d), F_S(s'))}{1 - F_S(s')} \qquad (۱۳)$$

در این معادله $P(D \le d \mid S \ge s')$ احتمال وقوع شرطی مدت خشکسالی در برابر مقادیر معینی از شدت خشکسالی، $C(F_D(d), F_S(s'))$ احتمال وقوع توأم مدت و شدت خشکسالی، $F_S(s')$ و $F_D(d)$ به ترتیب توابع توزیع حاشیه‌ای شدت و مدت خشکسالی هستند.

برنامه‌ریزی و مدیریت سیستم‌های منابع آب که تحت تأثیر خشکسالی هستند، بیشتر نیاز به تعیین دوره بازگشت خشکسالی بر اساس مشخصه‌های آن دارد. لذا دوره بازگشت خشکسالی باید بر اساس هر دو مشخصه شدت و مدت تعیین شود. برای تعیین دوره بازگشت دو متغیره خشکسالی به صورت غیرشرطی (معادله ۱۴) و شرطی (معادله ۱۵) از روابط ارایه شده توسط شیا (۲۰۰۶) استفاده می‌شود.

$$T_{SD} = T(S \ge s, D \ge d) = \frac{E(L)}{P(S \ge s, D \ge d)} = \frac{E(L)}{1 - F_D(d) - F_S(s) + C(F_S(s), F_D(d))} \qquad (۱۴)$$

$$T_{D\ S\ge s'} = \frac{E(L)}{[1 - F_S(s)'][1 - F_D(d) - F_S(s)' + C(F_D(d), F_D(s'))]} \qquad (۱۵)$$

در این روابط T_{SD} دوره بازگشت توأم شدت و مدت خشکسالی و L فاصله زمانی بین شروع یک خشکسالی و شروع خشکسالی بعدی است که برابر با مجموع طول دوره خشکسالی و طول دوره ترسالی متوالی و E(L) میانگین این فاصله زمانی است (بوناکورسو و همکاران، ۲۰۰۳).

نتایج و بحث

استخراج شدت و مدت خشکسالی و ادغام خشکسالی‌های وابسته

قبل از استخراج مشخصه‌های شدت و مدت خشکسالی به دلیل آمار ناقص در سری‌های بارندگی و برای افزایش دقت تحلیل خشکسالی، داده‌های بارندگی توسط روش نگهداری واریانس نوع دوم ($MOVE_2$[3]) (هیرچ، ۱۹۸۲) بازسازی شدند. دو مشخصه شدت و مدت خشکسالی در تمام ایستگاه‌های موجود با تئوری دنباله‌ها در منطقه تعیین شدند و به دلیل خشکسالی‌های وابسته و کوچک در رشته‌های بارندگی از روش معیار میانی برای ادغام خشکسالی‌ها استفاده شد.

تحلیل‌های دو متغیره خشکسالی

قبل از کاربرد توابع کاپولاس همبستگی بین دو مشخصه شدت و مدت خشکسالی با ضریب همبستگی کندال محاسبه شد. نتایج نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین داده‌های خشکسالی در کل منطقه هست. سپس

1- Akaike Information Criterion
2- Root Mean square Error
3- Maintenance of Variance type two

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای سه تابع کاپولا گامبل، کلایتون و فرانک با هر دو روش تخمین پارامتر محاسبه شدند که نتایج به دست آمده از تخمین پارامترها در جدول ۱ ارایه شده است.

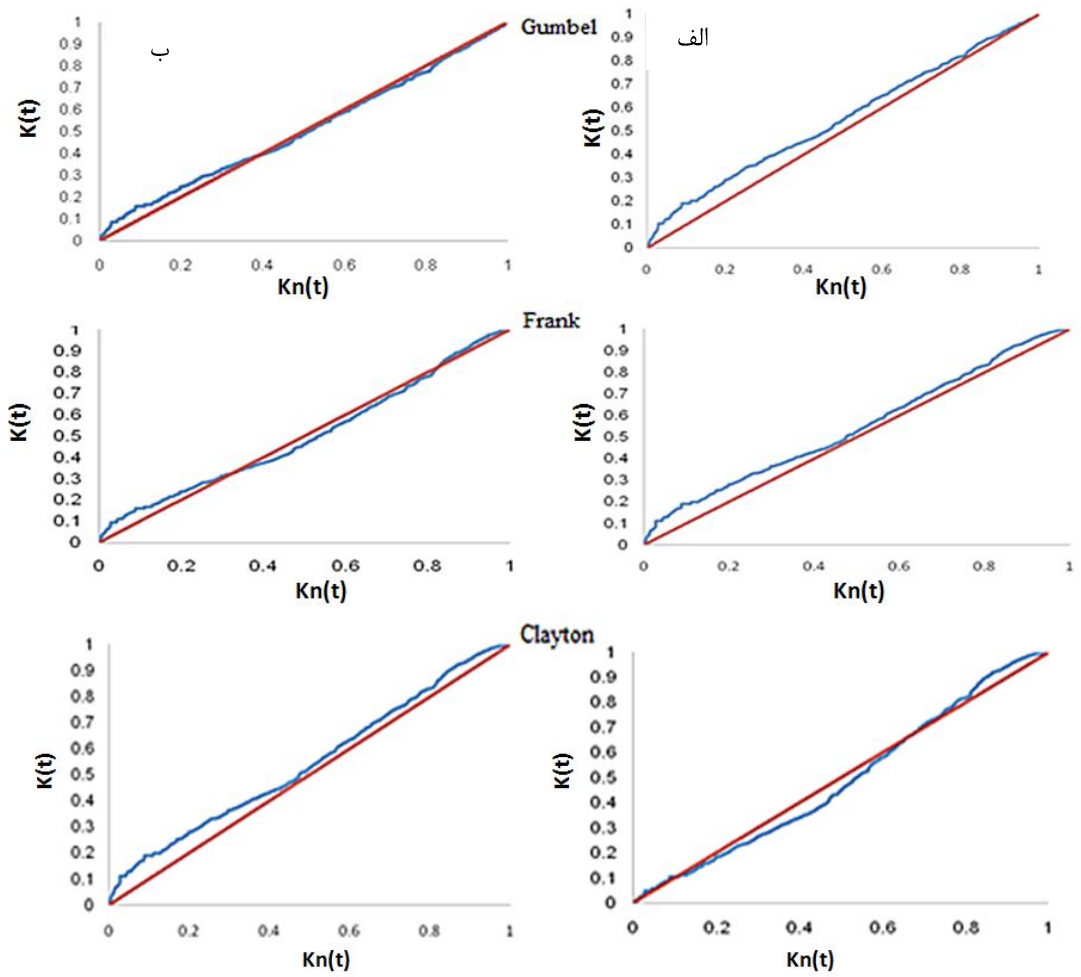
جدول ۱- مقادیر پارامتر θ توابع کاپولاس

روش غیرپارامتری	روش پارامتری	تابع کاپولا
۱/۸۶	۲/۳۸	گامبل
۱/۲۵	۲/۷۶	کلایتون
۵/۱۵	۷/۴۱	فرانک

برای انتخاب تابع کاپولایی که بهترین برازش را به داده‌های شدت و مدت خشکسالی دارد Q-Q پلات برای هر سه تابع کاپولا و با استفاده از پارامترهای تخمینی با هر دو روش رسم شد. نتایج حاصل از رسم Q-Q پلات (شکل ۳) و دو معیار AIC و RMSE (جدول ۲) نشان داد که تابع گامبل بهترین برازش را به داده‌های خشکسالی در هر دو روش تخمین پارامتر دارد.

جدول ۲- مقادیر RMSE و معیار AIC سه تابع کاپولا

تابع کاپولا	روش پارامتری		روش غیرپارامتری	
	AIC	RMSE	AIC	RMSE
کلایتون	-۹۴۸۵/۹۸	۰/۰۳۹	-۹۱۸۷/۷۱	۰/۰۴
گامبل	-۱۰۲۱۳/۷	۰/۰۳۱	-۹۲۱۳/۹۵	۰/۰۴۳
فرانک	-۹۵۶۸/۵۸	۰/۰۳۸	-۹۱۴۰/۶۲	۰/۰۴

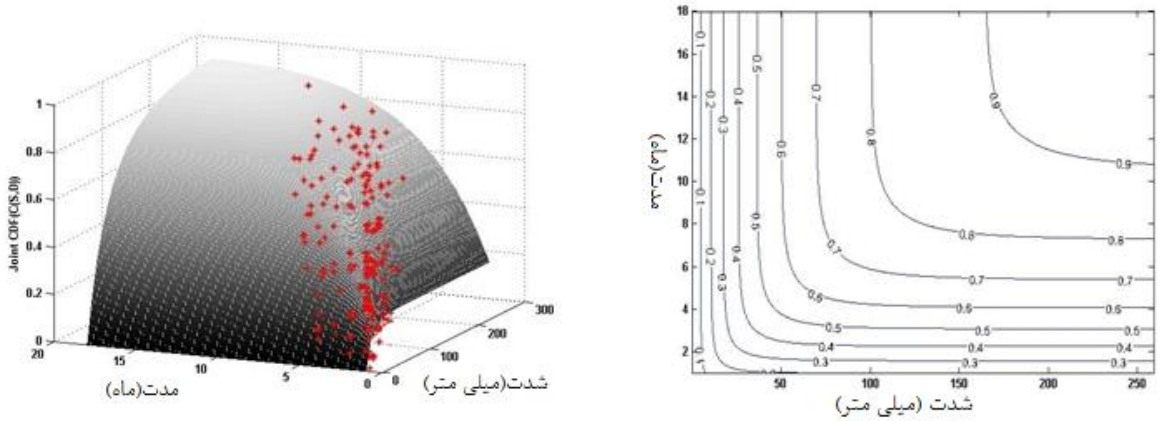


شکل ۳- Q-Q پلات سه تابع کاپولای گروه ارشمیدس، الف: روش غیرپارامتری، ب: روش پارامتری

توسط تابع گامبل احتمال وقوع توأم شدت و مدت خشکسالی برای مقادیر کوچکتر و یا مساوی مقدار مشخصی از شدت و مدت تعیین شد. نتایج به دست آمده از پایش خشکسالی در این منطقه نشان داد شدیدترین خشکسالی در نواحی غربی با شدت ۲۵۹/۳ میلی‌متر و مدت ۱۸ ماه رخ داده و دارای احتمال وقوع ۰/۹۸ است. به بیان دیگر احتمال اینکه خشکسالی با شدت کوچکتر و مساوی ۲۵۹/۳ میلی‌متر و مدت کوچکتر و یا مساوی

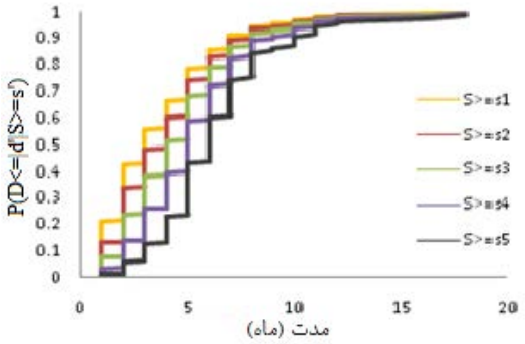
www.SID.ir

۱ ماه رخ بدهد برابر با ۹۸ درصد است. نمودارهای سه بعدی احتمال وقوع توأم شدت و مدت به همراه خطوط کنتوری متناظر با احتمال وقوع توأم این دو متغیر رسم شدند (شکل ۴). همچنین احتمال شرطی توأم خشکسالی با در نظر گرفتن ۵ سطح مختلف برای شدت خشکسالی توسط تابع گامبل تعیین شد. سطوح شدت خشکسالی، S_1، S_2، S_3، S_4 و S_5 به ترتیب متناظر با احتمالات ۰/۱۴، ۰/۲۸، ۰/۴۲، ۰/۵۷ و ۰/۷۱ در نظر گرفته شده است که مقادیر شدت معادل با این سطوح به ترتیب برابر با ۳۱، ۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰ و ۱۸۱ میلی‌متر است.



شکل ۴- احتمال وقوع توأم شدت و مدت خشکسالی

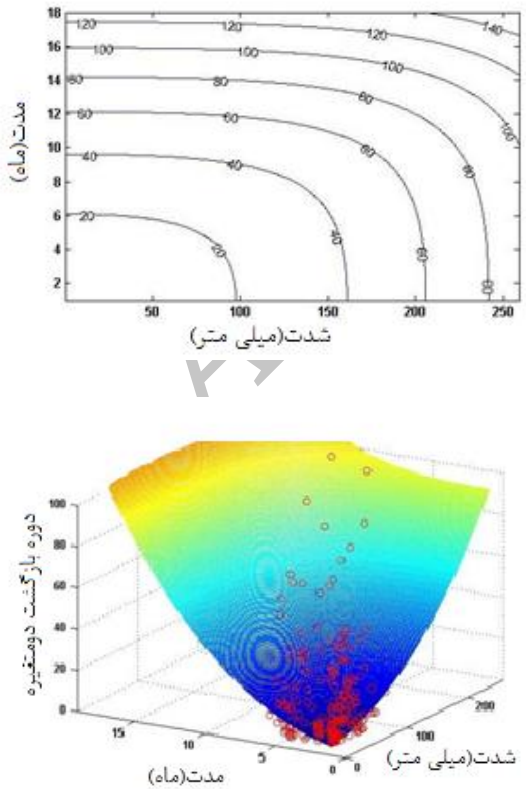
شکل ۵ احتمال وقوع خشکسالی‌های با مدت‌های مختلف را برای شدت‌های معین (۵ سطح مختلف) نشان می‌دهد. احتمال شرطی توأم خشکسالی را می‌توان برای تعیین شاخص اعتمادپذیری سیستم‌های زیست محیطی که تحت تأثیر خشکسالی هستند به کار برد (میراکبری و گنجی، ۲۰۰۹).



شکل ۵- احتمال شرطی توام مدت خشکسالی برای سطوح مختلف شدت ($P(D \le d \mid S \ge s')$)

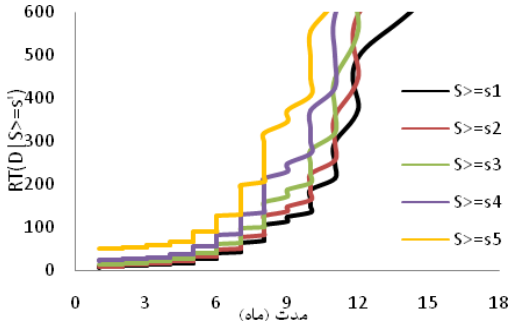
مقادیر دوره بازگشت دو متغیره خکشسالی هم توسط تابع کاپولای گامبل تعیین شد و نمودار سه بعدی به همراه خطوط کنتوری متناظر با آن رسم شد (شکل ۶). دوره بازگشت شرطی خشکسالی با استفاده از ۵ سطحی که برای احتمال شرطی در نظر گرفته شده بود، به دست آمد.

شکل ۷ مقادیر دوره بازگشت خشکسالی‌های با مدت متفاوت را برای سطوح مختلف شدت خشکسالی نشان می‌دهد.



شکل ۶- دوره بازگشت دو متغیره خشکسالی

www.SID.ir



شکل ۷- دوره بازگشت شرطی خشکسالی برای سطوح مختلف شدت

نتیجه‌گیری

با توجه به تصادفی و چند متغیره بودن پدیده خشکسالی، خشکسالی هواشناسی در استان کرمانشاه به صورت دو متغیره بر اساس دو مشخصه شدت و مدت توسط توابع کاپولاس گروه ارشمیدس تحلیل شد. توسط تابع گامبل که بهترین برازش را به داده‌های خشکسالی داشت احتمال وقوع توأم و دوره بازگشت توأم شدت و مدت خشکسالی به صورت شرطی و غیرشرطی تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل از پایش خشکسالی به صورت دو متغیره در استان کرمانشاه، نواحی غربی این استان شدیدترین خشکسالی را تجربه می‌کند. با تحلیل دو متغیره خشکسالی می‌توان به اطلاعاتی درمعادله با آن، دست یافت که توسط روش‌های تک متغیره ممکن نیست. نتایج حاصل از تحلیل دو متغیره خشکسالی بر اساس شدت و مدت، که از فاکتورهای مهم خشکسالی هستند در ارایه راهکارها و استراتژی‌های مناسب تأثیر زیادی دارد و کمک بزرگی به مدیران و برنامه‌ریزان سیستم‌های منابع آب در شرایط خشکسالی خواهد کرد. همچنین نتایج حاصل از این چنین تحلیل‌هایی را می‌توان به عنوان ابزاری برای بررسی تغییرات اقلیمی و پیش بینی خشکسالی به کاربرد.

منابع

۱. زارع ابیانه ح. و محبوبی ع. ۱۳۸۳. بررسی وضعیت خشکسالی و روند آن در منطقه همدان بر اساس شاخص‌های آماری خشکسالی. مجله پژوهش و سازندگی. ۱۷(۶۴): ۲-۷.

۲. حجازی‌زاده و همکاران. ۱۳۸۲. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده. نشریه علوم جغرافیایی. ۱: ۲۳-۴۵.

۳. لشنی ز. م. ۱۳۸۲. بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. دانشگاه اصفهان.

۴. مساعدی ا. خلیلی‌زاده م. و محمدی ا. ا. ۱۳۸۷. پایش خشکسالی هواشناسی در سطح استان گلستان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۲(۱۵): ۱۷۶-۱۸۲.

5. Biondi F. Kozubowski T. J. and Panorska A. K. 2005. A new model for quantifiying climate episodes. International Journal of Climatology. 25:1253-1264.
6. Bonaccorso B. Bordi I. Cancelliere A. Rossi G. and Sutera A. 2003. Spatial Variability of Drought: An Analysis of the SPI in Sicily. Water Resources Management. 17:273-296.
7. Clayton D. G. 1978. A model for association in bivariate life tables and its application in epidemiological probability. Engineering and Informational Sciences. 21:143-155.
8. Favre A. C. El Adlouni S. Thi Emong N. and Bobee B. 2004. Multivariate hydrological frequency analysis using copula. Water Resources Research. 40(1):1-12
9. Farid R. 2006. Bivariate frequency analysis of regional drought characteristics Ph.D. thesis, University of Waterloo. Canada.
10. Frank M. J. 1979. On the simultaneous associativity of F(x,y) and x+y−F(x,y) Journal Aequation Mathematics.19:194-226.
11. Genest C. and Rivest L. P. 1993. Statistical inference procedures for bivariate Archimedean copulas. Journal of the American Statistical Association. 88:1034-1043.
12. Gonzalez J. and Valdes J. B. 2003. Bivariate drought recurrence analysis using tree ring reconstructions. Journal of Hydrologic Engineering. 8(5):247-258.
13. Gumbel E. J. 1960. Bivariate exponential distributions. American Statistical Association. 55:698-707.
14. Hirsch R. 1982. A comparison of four stream flow record extension techniques. Water Resources Research. 18(4):1081-1088.
15. Kim T. Valdes J. B. and Yoo C. 2003. Nonparametric approach for estimating return periods of droughts in arid regions. Hydrology Engineering. 8:237-246.
16. Mirakbari M. and Ganji A. 2009. Reliability analysis of the rangeland systems: the application of profust theory. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, DOI 10. 1007/s00477-009-0329-8.
17. Nadarajah S. and Gupta A. 2006. Friday and Patil's bivariate exponential distribution with application to drought data. Water Resources Management. 20:749-759.
18. Nelsen R. B. 2006. An Introduction to Copulas. Springer, NewYork.

Archive of SID

www.SID.ir

19. Salvadori G. and Michele C. 2004. Frequency analysis via copula: theorical aspects and applications to hydrological events. Water Resource Research 4, W12511.
20. Shiau J. T. 2006. Fitting Drought Duration and Severity with Two-Dimensional Copulas. Water Resources Management. 20:759-815.
21. Shiau J. T. and Shen H.W. 2001. Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. Water Resources Planning and Management. 127(1):30-40.
22. Srinivas S. Menon D. and Prasad M. 2006. Multivariate simulation and multimodal dependence modeling of vehicle axle weights with copulas. Transportayion Engineering. 132(12):945-955.
23. Tate E. T. and Gustard A. 2000. Drought definition: a hydrological perspective. In: J.J. Vogt and F. Somma, Editors, Drought and Drought Mitigation in Europe, Kluwer, Dordrecht. 23-48.
24. Wong G. Lmbert M. E. and Metcalfe A. V. 2008. Trivariate copulas for characterization of droughts. Journal of Anziam. 49:306-323.
25. Yevjevich V. M. 1967. An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic drought. Hydrology papers, 23, Colorado State University, Fort Collins, USA.
26. Zelenhastic E. and Salvai A. 1987. A method of stream flow drought analysis.Water Resources Research. 23(1):156-168.

Archive of SID

www.SID.ir