نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره ششم، ۱۳۹۶
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

ارزیابی روش‌های استخراج منحنی IDF با رابطه مبتنی بر ماهیت فرکتالی بارش

مهدی اژدری‌مقدم[1]* و زهرا هروی[2]
[1]دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان،
[2]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان
تاریخ دریافت: ۹٤/۵/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹٦/۱۰/۹

چکیده

سابقه و هدف: روابط شدت- مدت- فراوانی بارش (IDF) یکی از مهم‌ترین ملزومات مورد نیاز در زمینه برنامه‌ریزی، طراحی و عملکرد سازه‌های هیدرولیکی و پروژه‌های مختلف منابع آب می‌باشد. عمدتاً استخراج منحنی‌های IDF مستلزم تجزیه و تحلیل آماری داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد و بنابراین هنگامی‌که حوضه مورد مطالعه فاقد آمار و یا دارای آماری محدود باشد؛ بررسی مشکل می‌گردد. این در حالی است که در اغلب حوضه‌ها دسترسی به آمار بارش روزانه به سهولت امکان‌پذیر است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی و مقایسه منحنی‌های IDF مستخرج از رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برای مناطق فاقد آمار براساس مفهوم خواص فرکتال بارش با روابط متداول تجربی و تعیین میزان خطا و دقت محاسبات و قابلیت اطمینان این رابطه نسبت به روابط دیگر می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با استفاده از داده‌های حداکثر عمق بارش سالانه با تداوم روزانه، ساخت منحنی‌های IDF با روش مبتنی بر رویکرد تلفیق ماهیت فرکتالی داده‌های بارش و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته صورت گرفت. سپس منحنی‌های IDF از رابطه تجربی قهرمان و روش متداول که براساس تحلیل آماری داده‌های بارش حدی سالانه در تداوم‌های مختلف می‌باشد؛ برای ایستگاه مورد مطالعه استخراج گردید. در نهایت ارزیابی و مقایسه کمّی و کیفی نتایج حاصل از روش تئوری فرکتال با رابطه تجربی قهرمان انجام شد. این پژوهش برای ایستگاه باران‌سنجی چناران واقع در عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۸ ثانیه و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۷ دقیقه و ۵۳/۱ ثانیه، به‌کار گرفته شد.

یافته‌ها: بررسی رفتار فرکتالی داده‌های بارش در ایستگاه باران‌سنجی چناران نشان داد؛ خواص بارش در بازه زمانی ۱ تا ۷ روز از فرضیه تک‌مقیاسی (مونوفرکتالی) تبعیت می‌کند و رگبار طرح برآورد شده با تئوری فرکتال با داده‌های مشاهداتی بارش انطباق خوبی دارد. نتایج در ایستگاه باران‌سنجی چناران نشان از برتری دقت رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته با متوسط خطای ۹/۳٤ نسبت به رابطه تجربی قهرمان با متوسط خطای ۱٦/٤۳ دارد. علاوه بر این خطای برآورد مقادیر IDF با رابطه تئوری فرکتال نسبت به روش متداول که مبتنی بر داده‌های

* مسئول مکاتبه: mazhdary@eng.usb.ac.ir

واقعی بارش می‌باشد؛ در تداوم ۲٤ ساعته، صفر محاسبه گردید. بنابراین از آن‌جا که ساخت منحنی‌های IDF با رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته تنها با استفاده از داده‌های حداکثر شدت بارش ۲٤ساعته انجام می‌گیرد؛ می‌توان نتیجه گرفت؛ روش مذکور از دقت مناسب و نتایج قابل‌قبولی برخوردار است.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر تلاشی است در راستای افزایش کاربرد روابط مقیاسی IDF نسبت به استفاده از روابط تجربی مدون که بدون توجه به شرایط جغرافیایی و هیدرولوژیکی محل صورت می‌گیرد؛ برای استفاده در مناطقی که با کمبود یا نبود آمار بارش مواجه است. از ویژگی‌های دارای اهمیت این رابطه، پایه‌گذاری آن براساس خواص فرکتالی مقادیر بارش می‌باشد و در مقابل، تهیه منحنی IDF در دو روش تجربی و متداول تنها منوط به تجزیه و تحلیل‌های آماری و ریاضی بدون توجه به اصول فیزیکی فرآیند بارش صورت می‌گیرد و در نتیجه افزایش عدم اطمینان نتایج را به دنبال خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: منحنی IDF، داده‌های بارش روزانه، ماهیت فرکتالی بارش، توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته، رابطه تجربی قهرمان

مقدمه

اطلاع از مقادیر حدی بارش در تداوم‌های مختلف برای طراحی هیدرولیکی سازه‌های کنترل سیلاب، سیستم‌های فاضلاب و ... مورد نیاز می‌باشد. این اطلاعات معمولاً از رابطه بین شدت- مدت- فراوانی مقادیر حدی بارش (منحنی IDF) به‌دست می‌آید. در روش‌های معمول، روابط IDF عمدتاً از طریق تحلیل آماری داده‌های بارش منطقه در تداوم‌های مختلف برآورد می‌گردد (۳). ارزش و دقت چنین روش‌هایی به‌علت عدم قطعیت‌های برازش، تعداد زیاد پارامترهای آماری و عدم توانایی کافی در تعریف خواص بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف محدود می‌گردد (۱). علاوه بر این در مناطق فاقد آمار یا دارای آمار ناکافی، روش‌های منطقه‌ای اغلب برای انتقال اطلاعات بارش از یک مکان به مکان‌هایی که داده‌های مورد نیاز وجود ندارد؛ یا به‌منظور بهبود دقت برآوردها در مناطقی که سوابق موجود بیش از حد کوتاه هستند؛ مورد استفاده قرار می‌گیرند. با این وجود تکنیک‌های منطقه‌ای سنتی، به‌علت منحصر به فرد بودن بدیهی به‌ویژه در تعیین تشابه هیدرولوژیکی مناطق و عدم توجیه نظری بسیار مورد انتقاد هستند (۹). از این‌رو، توسعه مدلی که مشخصات بارش را از طریق زنجیره‌ای از مقیاس‌های زمانی توصیف کند؛ شامل استنتاج تفکیک‌های زمانی‌ای که ممکن است مشاهده‌ای نداشته باشند و کاهش تعداد پارامترهای برآورد شده به‌منظور افزایش قابلیت اطمینان، شایسته است. در نتیجه روش‌های جایگزین برای ساخت روابط IDF براساس خواص فرکتال بارش که به معنای عدم تغییرپذیری مقیاس است؛ توسعه داده شد (۱). در ریاضیات، این خاصیت، اشاره دارد به این‌که پس از تبدیل مقیاس تابع اندازه حوادث به بزرگ‌تر یا کوچک‌تر، تابع مذکور بدون تغییر باقی می‌ماند و تنها تابع تغییرناپذیر با این ویژگی، رابطه توانی[1] می‌باشد (۵). در تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته، مشخص گردید؛ که از بین توزیع‌های آماری‌ای که بدون هیچ توجیه فیزیکی استفاده می‌گردند؛ قطعاً توزیع‌های پارتوی تعمیم‌یافته[2] و مقادیر حدی تعمیم‌یافته[3] مجانب یک تابع توانی است. در واقع به معنای روشن‌تر،

1- Power law
2- Generalized Pareto Distribution
3-Generalized Extreme Value

دنباله انتهایی این توزیع‌ها رابطه توانی دارد و این دو توزیع برای نشان دادن رفتار توانی پدیده‌ها مناسب هستند (۸).

علی‌رغم این‌که ساخت منحنی‌های IDF، در روش معمول منوط به تحلیل آماری داده‌های بارش حدی سالانه در تداوم‌های مختلف می‌باشد؛ اما در اکثر موارد، اطلاعات بارش‌های حدی در تداوم‌های مختلف محدود و یا ناقص است. بنابراین در پی آن برای تعیین منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی در مناطق فاقد آمار و یا دارای آماری محدود، اغلب از رابطه‌های تجربی مدون استفاده می‌گردد. این در حالی است که روابط شدت- مدت رگبارها با فراوانی وقوع آن‌ها در مناطق مختلف متغیر است. بنابراین با توجه به این‌که در اغلب حوضه‌ها تهیه آمار بارش روزانه به آسانی محقق می‌گردد و در پی تثبیت ماهیت فرکتالی فرآیند بارش حدی و تبعیت توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته از قانون توانی؛ هدف اصلی مطالعه حاضر، ارزیابی و مقایسه منحنی‌های IDF مستخرج از رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته با روابط متداول تجربی و تعیین میزان خطا و دقت محاسبات و قابلیت اطمینان این رابطه به‌منظور تأیید استفاده از آن در مناطق فاقد آمار نسبت به روابط تجربی متداول می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: به‌منظور بررسی و تحلیل شدت رگبارها، مطالعه موردی پژوهش حاضر برای ایستگاه باران‌سنجی چناران انجام گرفته است. آمار رگبارها و بارش روزانه ایستگاه مذکور از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی تهیه گردیده است. در (جدول ۱)، مشخصات ایستگاه مذکور قرار داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه مورد مطالعه.

Table 1. The characteristics of study station.

نام ایستگاه Station name	طول آماری بارش روزانه Statistical duration of daily precipitation	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	ارتفاع Altitude (m)
چناران Chenaran	از سال ۱۳٦٤ تا سال ۱۳۹۳ From 1364 up to 1393	۳٦° ۳۸' ۳۸"	۵۹° ۰۷' ۵۳/۱"	1186

بررسی مقیاس سری زمانی بارش و رابطه مقیاسی IDF: برای بررسی رفتار فرکتالی داده‌های بارش، از مفهوم گشتاورهای وزنی احتمال[1] استفاده شد. گشتاور وزنی احتمال (PWM) برای متغیر تصادفی X با تابع توزیع تجمعی $f(X)$ به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (۷):

$$\beta_r = E\{X[f(X)]^r\} \quad (۱)$$

که در آن، متغیر X، حداکثر شدت بارش با تداوم d و تابع توزیع تجمعی $f(I_d)$ می‌باشد.

براساس آنالیز اشکال خود متشابه (فرکتال‌ها)، اگر I_d و I_t به‌ترتیب سری زمانی حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های d و t باشد؛ متغیرهای تصادفی I_d و I_t هنگامی دارای ویژگی مقیاس زمانی می‌باشند؛ که رابطه زیر برقرار باشد (۱۱):

1- Probability Weighted Moments

$$I_t \overset{dis}{=} \lambda^{\phi} I_d \quad (۲)$$

که در آن، $\lambda = \frac{t}{d}$ است؛ که فاکتور مقیاس[1] نامیده می‌شود. ϕ، پارامتر توان مقیاس و مفهوم $\overset{dis}{=}$، برابری به لحاظ توزیع احتمالاتی است. در رابطه مقیاسی فوق، اگر از طرفین معادله مذکور، گشتاور مرتبه r گرفته شود؛ گشتاور وزنی مرتبه r برای سری زمانی حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های d و t دارای رابطه مقیاسی زیر می‌باشد (۱۱):

$$\beta_{r,t} = \lambda^{\phi_r} \beta_{r,d} \quad (۳)$$

که در آن، ϕ_r، توان مقیاس در مرتبه r است. بر طبق این رابطه، مقدار ϕ_r از شیب خط $log(\beta_{r,t})$ در برابر $log(t)$ به‌دست می‌آید. در صورتی‌که توان مقیاس و مرتبه گشتاور، رابطه خطی به‌صورت $\phi_r = r\phi_1$ داشته باشند؛ نشان‌دهنده خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس زمانی (خاصیت مونوفرکتالی) بارش است و چنان‌چه این رابطه خطی برقرار نباشد؛ دلالت بر چندمقیاسی بودن (خاصیت مالتی فرکتالی) بارش دارد (۱۱).

حال اگر نمونه x_1 تا x_n، داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم d باشند. از تقسیم این مقادیر بر تداوم آن‌ها، داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه به‌دست می‌آید؛ که اگر آن‌ها به‌طور صعودی مرتب و با y_1 تا y_n نشان داده شوند؛ آن‌گاه گشتاور وزنی مرتبه r در تداوم d، $(\beta_{r,d})$ از رابطه زیر قابل برآورد است (۱۰):

$$\beta_{r,d} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\binom{i-1}{r}}{\binom{n-1}{r}} y_i = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \frac{(i-1)(i-2)(i-3)\dots(i-r)}{(n-1)(n-2)(n-3)\dots(n-r)} y_i \quad (٤)$$

که در آن، n تعداد سال‌های آماری است.

علاوه بر این، بین خواص آماری توزیع برازش داده شده بر داده‌ها نیز در دو مقیاس زمانی مختلف d و t رابطه مقیاسی‌ای به‌صورت رابطه‌های ۵ تا ۷ برقرار است (۳ و ۱۱):

$$\mu_t = \lambda^{\phi} \mu_d \quad (۵)$$

$$\sigma_t = \lambda^{\phi} \sigma_d \quad (٦)$$

$$I_t(\mathrm{T}) = \lambda^{\phi} I_d(T) \quad (۷)$$

که در آن‌ها، μ_t و μ_d، انحراف معیار سری زمانی حداکثر شدت بارش سالانه و σ_t و σ_d، میانگین سری زمانی حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های t و d، $I_t(T)$ و $I_d(T)$، چندک شدت بارش در تداوم‌های t و d (ساعت) و دوره بازگشت T (سال) است. دو پارامتر λ و ϕ همان تعاریف قبل را دارند.

1- Scaling factor

با استفاده از رابطه ۷، می‌توان رگبار طرح در تداوم دلخواه را تنها از روی داده‌های حداکثر بارش در تداوم d محاسبه کرد. بنابراین می‌توان در رابطه ۷ از اطلاعات حداکثر بارش روزانه استفاده کرد و معادله به شکل رابطه ۸ به‌دست می‌آید:

$$I_t(T) = \lambda^{\phi}\, I_{24}(T) \qquad (۸)$$

توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته: در این پژوهش به‌منظور به‌دست آوردن پارامترهای توزیع آماری از نرم‌افزار EasyFit که براساس روش حداکثر درست‌نمایی[1] و معیارهای نکویی برازش کولموگروف- اسمیرنوف[2]، اندرسون- دارلینگ[3] و کای‌اسکوئر[4] به انتخاب توزیع برتر و برآورد پارامترها می‌پردازد؛ استفاده شده است. از طریق نرم‌افزار مذکور توزیع‌های پارتوی تعمیم‌یافته، گامبل و مقادیر حدی تعمیم‌یافته بر داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه با تداوم روزانه، برازش داده شد و در نهایت توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته به‌عنوان توزیع برتر شناخته شد. حال با داشتن پارامترهای توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته، می‌توان چندک شدت بارش در تداوم روزانه و دوره بازگشت T را از توزیع مذکور به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$I_{24}(T) = \mu_{24} + \frac{\sigma_{24}}{K_{24}}\left(1 - \left[-LN\left(1-\frac{1}{T}\right)\right]^{K_{24}}\right) \qquad (۹)$$

که در آن، μ_{24}، σ_{24}، k_{24}، انحراف معیار، میانگین و پارامتر شکل داده‌های حداکثر شدت بارش روزانه سالانه در توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته می‌باشد؛ که مقادیر آن‌ها به‌ترتیب ۰/۷۶، ۰/۳۲۵ و ۰/۰۶۲- محاسبه شده است.

ساخت منحنی‌های IDF براساس رابطه تجربی قهرمان: برای تعیین منحنی‌های شدت، مدت و فراوانی، در مناطق فاقد آمار و یا دارای آماری محدود، اغلب از رابطه‌های تجربی مدون استفاده می‌گردد. با بررسی‌های انجام شده روی منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی، رابطه‌های تجربی متعددی ارائه شده است تا بتوان شدت بارندگی را در دوره بازگشت‌ها و پایه‌های زمانی مختلف به‌دست آورد. از جمله روابطی که به‌طور متداول استفاده می‌شود؛ رابطه قهرمان می‌باشد که توسط قهرمان و آبخضر با برآورد مناسب‌ترین مدل برای محاسبه باران ساعتی ۱۰ ساله، از توسعه رابطه بِل برای استفاده در مناطق مختلف ایران استخراج شد (٦). در این روش به‌منظور استخراج مقادیر حدی بارش در تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف از رابطه زیر استفاده می‌شود (۲):

$$P_T^t = [0.4524 + 0.2471\ ln(T-0.6)](0.3710 + 0.6184t^{0.4484})P_{10}^{60} \qquad (۱۰)$$

که در آن، t مدت بارندگی بر حسب دقیقه، T دوره بازگشت بر حسب سال، P_{10}^{60} مقدار باران یک‌ساعته با دوره برگشت ۱۰ سال و P_T^t مقدار باران t دقیقه‌ای مورد نظر با دوره برگشت T است.

1- Maximum likelihood
2- Kolmogorov-Smirnov
3- Anderson-Darling
4- Chi-Squared

که در آن، مقدار P_{10}^{60} از رابطه ۱۱، محاسبه می‌شود. بر طبق یافته‌های قهرمان و آبخضر، این رابطه مناسب‌ترین مدل برای کل ایستگاه‌های ایران است (٦):

$$P_{10}^{60} = e^{0.291}(P_{24hr})^{0.694} \quad (11)$$

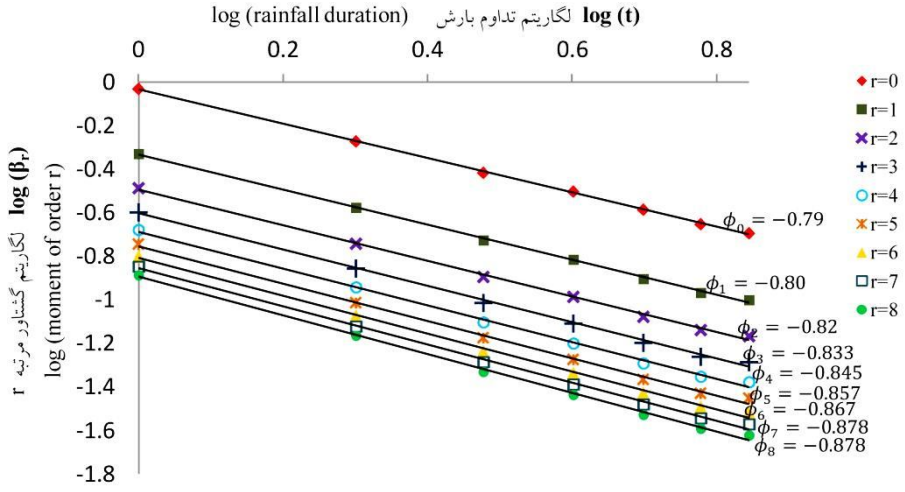
که در آن، P_{24hr} متوسط حداکثر بارش‌های ۲٤ ساعته سالانه است.

ساخت منحنی‌های IDF براساس روش متداول: در این روش، منحنی‌های IDF از طریق تحلیل آماری روی سری‌های ماکزیمم سالانه[1] یا سری‌های کوتاه‌مدت[2] به‌وسیله برازش توزیع‌های احتمالاتی برای تداوم‌های بارش مورد نظر ایجاد می‌شود (٤). در پژوهش حاضر، طول آماری رگبارهای ایستگاه مورد مطالعه (چناران) ۳۰ سال است؛ که از سال ٦٥-۱۳٦٤ شروع و به سال ۹٤-۱۳۹۳ ختم می‌شود. ایستگاه مزبور دارای آمار رگبارهای سالیانه با تداوم ۱ دقیقه می‌باشد. ابتدا حداکثر مقدار بارش سالانه در تداوم‌های ۱، ۲، ٦، ۱۲، ۱۸، ۲٤ ساعت از رگبارهای ایستگاه مذکور استخراج شد و با تقسیم نمودن این داده‌ها به تداوم بارش، داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های مورد نظر به‌دست آمد. سپس با تأیید نکویی برازش توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم‌یافته به داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در هر تداوم با معیارهای کولموگروف- اسمیرنوف، اندرسون- دارلینگ و کای‌اسکوئر، توزیع مزبور توسط نرم‌افزار EasyFit به داده‌ها برازش داده شد. به کمک توزیع احتمالاتی برازش داده شده به داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه با تداوم معین، مقدار بارش با همان تداوم به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف برآورد گردید. اطلاعات مربوط به تداوم‌های مختلف در دوره بازگشت یکسان، کنار هم چیده شد و در نهایت به داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف که دوره بازگشت یکسانی دارند؛ یک منحنی که معمولاً توانی است؛ برازش داده شد که این، منحنی IDF در همان دوره بازگشت خواهد بود. این مرحله برای دوره بازگشت‌های مختلف تکرار شد و منحنی‌های IDF ایستگاه باران‌سنجی چناران به‌دست آمد.

نتایج و بحث

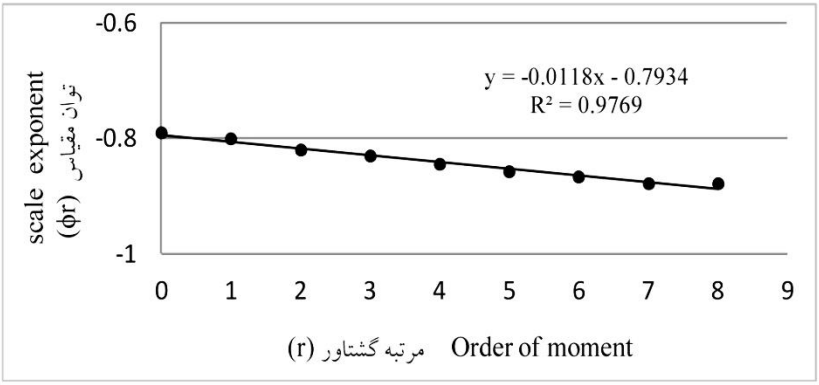
تحلیل ماهیت فرکتالی بارش: به‌منظور بررسی رفتار فرکتالی بارش ایستگاه چناران، از داده‌های ۲۹ سال (۱۳۹۳-۱۳٦٤) بارش روزانه بهره گرفته شد. به این ترتیب، در ابتدا از روی آمار بارندگی روزانه، داده‌های حداکثر مقدار بارش در تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷ روزه استخراج و از تقسیم این مقادیر بر تداوم آن‌ها داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های مورد نظر حاصل گردید. سپس از طریق الگوریتمی که در محیط MATLAB نوشته شد؛ گشتاور وزنی این داده‌ها در مراتب صفر تا هشت استخراج و نمودار آن‌ها در مقیاس لگاریتمی ترسیم گردید (شکل ۱). براساس این نمودار متوسط شیب خطوط، برابر ۰/۸٤۱- محاسبه شد؛ که این همان توان مقیاس (ϕ) می‌باشد. با توجه به نمودار (شکل ۲)، رابطه بین توان مقیاس و مرتبه گشتاور یک رابطه خطی است؛ که دلالت بر رفتار تغییرناپذیری مقیاس (خاصیت مونوفرکتالی) داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در ایستگاه چناران دارد.

1- Annual maxima series
2- Partial duration series



شکل ۱- توان مقیاس در مراتب مختلف گشتاور وزنی (ϕ_r) داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در بازه زمانی ۱ تا ۷ روز برای ایستگاه باران‌سنجی چناران.

Figure 1. The scale exponent at the different order of Weighted Moment (ϕ_r)of the annual Rainfall intensity maximum data at time range from 1 to 7 days for Chenaran raingauge station.



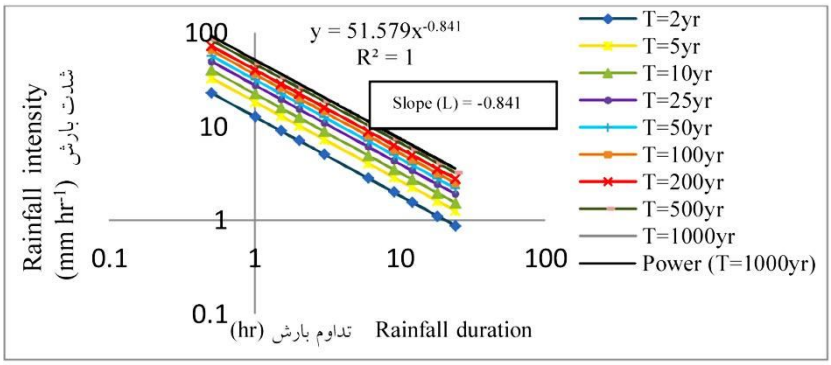
شکل ۲- رابطه خطی بین توان مقیاس و مرتبه گشتاورهای وزنی در تداوم‌های ۱ تا ۷ روز در ایستگاه چناران.

Figure 2. The linear relationship between scale exponent and order of Weighted Moments at durations of 1 to 7 days in the Chenaran station.

ساخت منحنی‌های IDF مبتنی بر ماهیت فرکتالی بارش و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته: با توجه به اثبات ماهیت فرکتالی داده‌های بارش و تبعیت توزیع داده‌های حداکثر شدت بارش روزانه سالانه از توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته، می‌توان منحنی‌های IDF را از رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برآورد کرد. از این‌رو بر طبق رابطه ۸ و با استفاده از رابطه ۹ و $\lambda = \frac{t}{24}$ رابطه مقیاسی IDF برای ایستگاه باران‌سنجی چناران به‌صورت زیر استخراج گردید:

$$I_t(T) = \left\{\mu_{24} + \frac{\sigma_{24}}{K_{24}}\left(1 - \left[-LN\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right]^{K_{24}}\right)\right\}\left(\frac{t}{24}\right)^{\phi} \qquad (۱۲)$$

که در آن، $I_t(T)$، حداکثر شدت بارش در تداوم t و دوره بازگشت T و مقدار توان مقیاس (ϕ) برای ایستگاه چناران ۰/۸٤۱- است. در (شکل ۳)، منحنی‌های IDF استخراج شده با تئوری فرکتال در ایستگاه چناران در مختصات لگاریتمی ترسیم گردید. همان‌طور که در شکل مشخص است؛ این منحنی‌ها در مختصات لگاریتمی کاملاً خطی است. بنابراین نشان از رابطه توانی بین مقادیر بارش حدی در تداوم و دوره بازگشت‌های مختلف دارد. همان‌طور که بارا و همکاران نیز وجود این رابطه توانی را به شکل رابطه ۷، بیان نمودند (۳). شیب خطوط، همان توان مقیاس در رابطه توانی (۰/۸٤۱-) است.



شکل ۳- استخراج منحنی‌های IDF با تئوری فرکتال در مختصات لگاریتمی در ایستگاه چناران.

Figure 3. The IDF curves elicitation by the fractal theory in a logarithmic coordinates in the Chenaran station.

استخراج منحنی‌های IDF از رابطه تجربی قهرمان: با محاسبه متوسط حداکثر بارش ۲٤ ساعته سالانه براساس آمار بارش حدی روزانه ایستگاه چناران، مقدار P_{10}^{60} از فرمول ارائه شده توسط قهرمان و آبخضر تعیین شد. سپس بر طبق رابطه تجربی قهرمان که از جمله روابط متداول برای ساخت منحنی‌های IDF بارش در مناطق ناقص آمار می‌باشد؛ منحنی‌های IDF در ایستگاه چناران برآورد گردید.

استخراج منحنی‌های IDF از روش متداول: بنابر آزمون‌های نکویی برازش و تبعیت توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته از خواص فرکتالی بارش در ایستگاه مورد مطالعه، داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های مختلف ۱، ۲، ٦، ۱۲، ۱۸، ۲٤ ساعت از توزیع مذکور تبعیت می‌کنند. بنابراین منحنی‌های IDF ایستگاه باران‌سنجی چناران به روش متداول، براساس توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته برآورد گردید.

تحلیل نتایج: در مطالعه حاضر به‌منظور مقایسه کمّی نتایج روش تجربی و روش مبتنی بر ماهیت فرکتالی مقادیر حدی بارش با نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی بارش، از معیار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به‌صورت زیر استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - y_i)^2} \qquad (۱۳)$$

که در آن، x_i حداکثر شدت بارش محاسبه شده در هر تداوم برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ سال از رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته و رابطه تجربی قهرمان و y_i حداکثر شدت بارش محاسبه شده در هر تداوم برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ سال براساس داده‌های

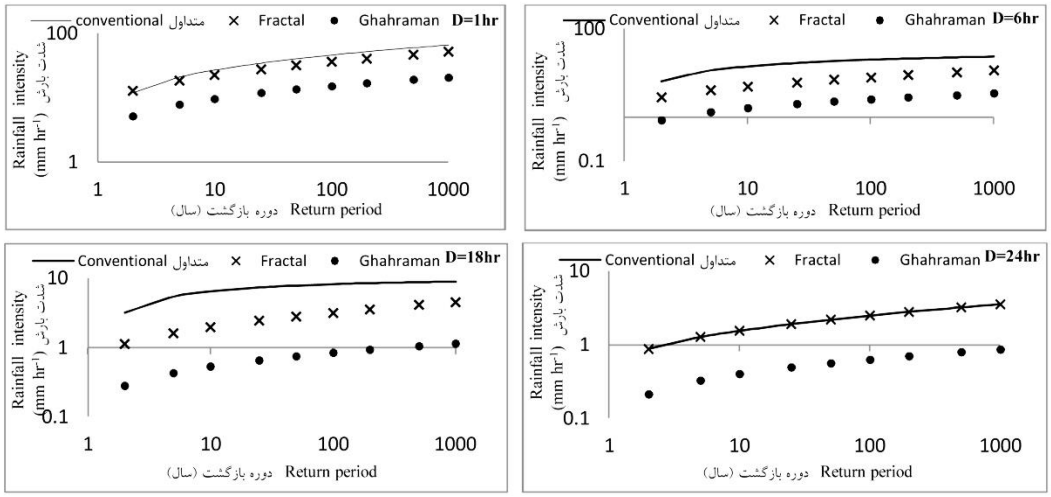
مشاهداتی از روش متداول می‌باشد. مقادیر اختلاف حداکثر شدت بارش برآورد شده هر روش با روش متداول در تداوم‌های مختلف، در جدول زیر گردآوری شده است.

جدول ۲- مقادیر اختلاف نسبی هر روش در تداوم‌های مختلف.

Table 2. The relative difference of the each method in different durations.

RMSE (mm hr^{-1})		
رابطه قهرمان the Ghahraman relationship	رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته An integrated of fractal theory and generalized extreme value distribution relationship	تداوم بارش (ساعت) Rainfall duration (hr)
29.1	9.1	1
27.4	15.4	2
26.8	18	3
15.7	10.5	6
12.9	9.15	9
11.1	8.12	12
6.63	4.47	18
1.8	0.00	24

بر طبق جدول فوق، حداکثر شدت بارش برآورد شده با رابطه فرکتالی IDF نسبت به مقادیر متناظر از رابطه تجربی قهرمان به مراتب، تفاوت اندکی را با روش متداول نشان می‌دهد. میانگین خطای مجموع تداوم‌ها در رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته ۹/۳٤ و رابطه قهرمان ۱٦/٤۳ برآورد گردید. علاوه بر این در نمودارهای (شکل ٤)، مقایسه مقادیر منحنی IDF حاصل از دو روش مذکور نسبت به داده‌های مشاهده‌ای صورت گرفته است. در این نمودارها به وضوح اختلاف بسیار مقادیر حداکثر شدت بارش محاسباتی از روش تجربی و در مقابل قابل اغماض روش تلفیق تئوری فرکتال نسبت به مقادیر حاصل از روش متداول که مطابق با داده‌های واقعی است؛ مشاهده می‌گردد.



شکل ٤- مقایسه مقادیر شدت- مدت- فراوانی برآورد شده از روش‌های متداول، مقیاسی و قهرمان در ایستگاه باران‌سنجی چناران.

Figure 4. Comparison of the estimated Intensity–Duration–Frequency quantities from conventional, scaling, Gharaman methods in the Chenaran raingauge station.

نتیجه‌گیری

علی‌رغم این‌که در اکثر موارد، اطلاعات بارش‌های حدی در محل مورد مطالعه در دسترس نیست (مناطق فاقد آمار) و یا داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف محدود و یا ناقص می‌باشد؛ اما داده‌های بارش روزانه اغلب به‌طور گسترده در دسترس است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه روش برآورد منحنی‌های IDF مبتنی بر خواص فرکتالی (مقیاسی) بارش نسبت به روابط متداول تجربی نظیر رابطه قهرمان، برای استفاده در مناطقی که داده‌ها در فواصل زمانی مختلف در راستای استفاده از روش متداول وجود ندارد؛ انجام گرفت. بررسی رفتار فرکتالی داده‌های بارش در ایستگاه باران‌سنجی چناران همانند نتایج منابد و همکاران (۱۹۹۹) نشان داد؛ خواص بارش در بازه زمانی ۱ تا ۷ روز از فرضیه تک‌مقیاسی (مونوفرکتالی) تبعیت می‌کند. بنابراین پیرو نتایج بارا و همکاران (۲۰۰۹) در این محدوده زمانی می‌توان داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه را از یک تداوم به تداوم دیگر تبدیل کرد. از این‌رو استخراج منحنی‌های IDF با تنها ٤ پارامتر K_{24}، σ_{24}، μ_{24} و توان مقیاس برای تداوم کوتاه‌تر از روزانه براساس داده‌های بارش در تداوم روزانه ممکن شد. همان‌طور که ملاحظه گردید؛ نتایج به‌دست آمده، گویای دقت بالا و خطای بسیار کم رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته نسبت به رابطه تجربی می‌باشد. اختلاف ناچیز مقادیر IDF برآورد شده با این روش نسبت به روش متداول که براساس داده‌های واقعی می‌باشد؛ بیانگر نتایج قابل‌قبول این روش است و بنابراین می‌توان گفت در حوضه‌هایی که با کمبود آمار مواجه است؛ رابطه تلفیق تئوری فرکتال و توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته علاوه بر رفع مشکل دسترسی به داده‌های بسیار که در روش متداول مورد نیاز است؛ نسبت به رابطه‌های تجربی مدون که بدون توجه به شرایط جوی و جغرافیایی محل صورت می‌گیرد؛ می‌تواند جایگزین مناسبی برای برآورد منحنی IDF باشد. از ویژگی‌های دارای اهمیت این رابطه، پایه‌گذاری آن براساس خواص فرکتالی مقادیر بارش می‌باشد و در مقابل، تهیه منحنی IDF در دو روش تجربی و متداول تنها منوط به تجزیه و تحلیل‌های آماری و ریاضی بدون توجه به اصول فیزیکی فرآیند بارش صورت می‌گیرد و در نتیجه افزایش عدم اطمینان نتایج را به دنبال خواهد داشت.

منابع

1.Agbazo, M., 'Gobi, G.K., Kounouhewa, B., Alamou, E., and Afouda, A. 2016. Estimation of IDF Curves of Extreme Rainfall by Simple Scaling in Northern Oueme Valley, Benin Republic (West Africa). Earth Sci. Res. J. 20: 1. 1-7.

2.Alizadeh, A. 2010. Principles of Applied Hydrology. Emam Reza Univ. Press, 912p. (In Persian)

3.Bara, M., Gaal, S., Szolgay, J., and Hlavcova, K. 2009. Estimation of IDF curves of extreme rainfall by simple scaling in Slovakia. Contributions to Geophysics and Geodesy. 39: 3. 187-206.

4.Bougadis, J., and Adamowski, K. 2006. Scaling model of a rainfall intensity-duration-frequency relationship. Hydrological Processes. 20: 17. 3747-3757.

5.Corral, Á. 2015. Scaling in the timing of extreme events. Chaos, Solitons & Fractals, 74: 99-120.

6.Ghahraman, B., and Abkhezr, H. 2004. Improvement in Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall in Iran. Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. 8: 2. 1-14. (In Persian)

7.Hosking, J.R.M., and Wallis, J.R. 1993. Some statistical useful in regional frequency analysis. Water Resources Research. 29: 2. 271-281.
8.Malamud, B.D., and Turcotte, D.L. 2006. The applicability of power law frequency statistics of flood. J. Hydrol. 322: 1. 168-180.
9.Nguyen, V.T.V., Nguyen, T.D., and Wang, H. 1998. Regional estimation of short duration rainfall extremes. Water science and technology. 37: 11. 15-19.
10.NouriGheidari, M.H. 2012. Determine of Design Maximum Intensity of Precipitation by Combined Fractal Theory and Generalized Extreme Value Distribution. J. Irrig. Sci. Engin. 35: 2. 83-90.
11.Yu, P.S., Yang, T.C., and Lin, C.S. 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. J. Hydrol. 295: 1. 108-123.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2017.12528.2723

Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation

***M. Azhdary Moghaddam[1] and Z. Heravi[2]**
[1]Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan
Received: 08/03/2015; Accepted: 12/30/2017

Abstract

Background and Objectives: The rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) relationships are among the most important requirements in the field of planning, design and operation of hydraulic structures and water resources different projects. Mainly the creation of IDF curves requires statistical analysis of precipitation data at different durations and so when the study basin is no data or has limited statistics, the survey is difficult. However, in most basins, availability to daily precipitation data is easily possible. Therefore, aim of present study is an evaluation and comparison of IDF curves derived from the integrating fractal theory and generalized extreme value distribution relationship for ungaged site on the basis concept of fractal properties of precipitation with the empirically common relationships and determination of the error rate and calculation accuracy and reliability of this relationship into other relationships.

Materials and Methods: In this research, by using of data of maximum depth of annual rainfall at daily duration, construction of IDF curves with the method based on the approach of an integrated of fractal nature of rainfall data and generalized extreme value distribution was done. Then, IDF curves was created by applying Ghahraman method of the empirical relationship was given for this method and at the conventional method of statistical analysis of extreme annual rainfall data at different durations for study station. Ultimately, evaluation and quantitative and qualitative comparison of results of fractal theory method with Ghahraman empirical relationship was done. This research was applied for the Chenaran rain gauge station at latitude $36^{\circ}\ 38'\ 38''$ and longitude $59^{\circ}07'53.1''$.

Results: Investigation of Fractal behavior in precipitation data at the Chenaran rain gauge station showed precipitation properties at time range from 1 to 7 days, follows from the simple scaling hypothesis (Monofractal) and the estimated design storm by fractal theory has a good agreement with the precipitation observed data. The results at Chenaran rain gauge station shows the accuracy superiority of an integrated of fractal theory and generalized extreme value distribution relationship with an error average 9.34 than the Ghahraman empirical relationship with an error average 16.43. In addition, estimation error of quantities IDF by the fractal theory relationship to the conventional method that is based on the real data at 24 hours duration was calculated zero. So far as the construction of IDF curves by an integrated of fractal theory and generalized extreme value distribution relationship, only is done by using the 24-hour maximum rainfall intensity data; it can be concluded; the mentioned method has the suitable accuracy and acceptable results.

Conclusion: The present research is an attempt to increase the use of IDF scaling relationship than to using of compiled empirical relationships that conducted without regard to geographical and hydrological conditions; for using in regions that are faced with deficiency or the lack of rainfall data. The important characteristics of this relationship is the foundation of it based on the fractal properties of rainfall and in contrast, prepared of IDF curves in both experimental and conventional method is only depends on the statistical and mathematical analysis without attention to physical principles of precipitation process and thus will follow increase the uncertainty of the results.

Keywords: IDF curve, Daily rainfall data, Fractal nature of precipitation, Generalized extreme value distribution, Ghahraman empirical relationship

* Corresponding Author; Email: mazhdary@eng.usb.ac.ir