

## برآورد رگبار طرح با استفاده از تئوری مالتی فرکتال در ایستگاه سد گتوند

محمد حسین نوری قیداری<sup>1</sup>

تاریخ دریافت: 90/5/26 تاریخ پذیرش: 90/9/29

1- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان

\* مسئول مکاتبه: Email: [noorigheidari@gmail.com](mailto:noorigheidari@gmail.com)

### چکیده

رگبار طرح برای طراحی سازه‌های هیدرولیکی ضروری می‌باشد اما روش‌های متداول برآورد آن به علت داشتن پارامترهای زیاد و نیاز داشتن به داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف توسط هیدرولوژیست‌ها مورد انتقاد قرار گرفته است. امروزه برای بهبود برآورد رگبار طرح از تئوری فرکتال استفاده می‌گردد. در این روش تعداد پارامترها کم بوده و تنها می‌توان با اطلاعات داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه رگبار طرح را در تداوم و دوره بازگشت مورد نظر برآورد کرد. در این تحقیق تئوری فرکتال برای برآورد رگبار طرح در ایستگاه باران سنجی سد گتوند که در استان خوزستان و جنوب غرب ایران قرار دارد، بکار گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل مونوفرکتال برآورد کمتری از رگبار طرح ارائه می‌دهد اما رگبار طرح بدست آمده از مدل مالتی فرکتال انطباق خوبی با داده‌های بارش مشاهده‌ای دارد.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سد گتوند، رگبار طرح، مالتی فرکتال، مونوفرکتال

## Estimation of Design Storm Using Multifractal Theory in Ghotvan Dam Site

MH Noorigheidari<sup>1\*</sup>

Received: 17 August 2011 Accepted: 20 December 2011

<sup>1</sup>Assist. Prof., Civil Engin. Dept., Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran,

\* Corresponding author: Email: [noorigheidari@gmail.com](mailto:noorigheidari@gmail.com)

### Abstract

Design storm is required for designing of hydraulic structures but its current estimation methods are criticized by hydrologists since these method need many parameters and requires the rainfall data at different durations. Nowadays fractal theory is used to improve the estimation of design storm which has few parameters and the design storm at different durations and with any return periods is estimated only from annual 1-day maximum rainfall series. In this research, fractal theory was used to estimate the design storm in Ghotvan Dam site. The results showed that momofractal model underestimated the design storm, but the estimated design storm by multifractal model was consistant with the observation data.

**Keywords:** Design storm, Ghotvan dam site, Monofractal, Multifractal

### مقدمه

خصوصیات بارش در تداوم‌های مختلف و ارتباط بین آنها توجه نمی‌شود در حالی که بین بارش‌ها در تداوم‌های مختلف تشابه آماری وجود دارد (مولنار و برنالدو 2005). برای استخراج منحنی‌های *IDF* به روش متداول نیاز به وجود داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد که این در اغلب موارد محقق نمی‌شود. از طرف دیگر امروزه فرآیند آنالیز فراوانی بارش جهت استخراج بارش به ازای دوره بازگشت‌های مختلف به شدت مورد انتقاد قرار گرفته است زیرا این فرآیند پشتوانه فیزیکی قوی ندارد و نقش هیدرولوژیست تنها انتخاب نوع توزیع آماری و روش برآورد پارامترها می‌باشد (لابات و همکاران 2002، پاندی و همکاران 1998). امروزه برای برطرف کردن معایب فوق از تئوری فرکتال که از پشتوانه فیزیکی قوی

رگبار طرح یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای طراحی هیدرولیکی سازه های آبی می‌باشد که معمولاً از روی منحنی‌های شدت- مدت - فراوانی (*IDF*) به ازای دوره بازگشت و تداوم مورد نظر استخراج می‌گردد. روش متداول استخراج منحنی‌های *IDF* شامل سه مرحله زیر می‌باشد (نهایت و همکاران 2006): الف) برآزش توزیع احتمالاتی به داده‌های حداکثر بارش سالانه در هر تداوم؛ ب) استخراج بارش به ازای دوره بازگشت‌های مختلف از توزیع احتمالاتی برآزش داده شده در مرحله اول و ج) برآزش یک رابطه رگرسیونی به داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف مربوط به یک دوره بازگشت معین. در روش متداول تعداد پارامترهای مورد نیاز زیاد است که این باعث کاهش اعتمادپذیری می‌گردد (تاکارا 2005، گراسیا-بارچل 2001، شرمن 1931). همچنین در این روش به

از تئوری عدم تغییرپذیری مقیاس استفاده کردند. پاتیرانا و هرات (2003) برای شبیه سازی توزیع مکانی بارش از مدل مالتی فرکتال استفاده کرد که نتایج آن حاکی از قابلیت تئوری فرکتال در مدل سازی بارش بود. تحقیق اولسون و همکاران (1993) نشان داد خصوصیات مالتی فرکتالی بارش روزانه در بارش‌های همرفتی و جبهه‌ای تفاوت آشکار دارد که این ناشی از تفاوت فیزیکی در مکانیسم دو بارش می‌باشد.

فرکتال دو نوع مونوفرکتال و مالتی فرکتال دارد که در حالت مونوفرکتال داده‌ها از خاصیت عدم تغییرپذیری مقیاس پیروی می‌کنند در حالی که در حالت مالتی فرکتال برای توصیف داده‌ها به بیش از یک بعد نیاز است که به آن خاصیت چند مقیاسی می‌گویند (سچرتزور و لوجوی 1987). در مطالعات پیشین در اغلب موارد از تئوری مونوفرکتال برای شبیه سازی و استخراج رگبار طرح می‌گردید. اما برنالدو و روسو (1996) دریافتند اگر داده‌ها دارای رفتار مالتی فرکتالی باشند آنگاه استفاده از تئوری مونوفرکتال نتایج خوبی ارائه نمی‌دهد. اما از آنجا که ماهیت مونوفرکتال زیر مجموعه مالتی فرکتال است، استفاده از تئوری مالتی فرکتال بجای تئوری مونوفرکتال نتایج یکسانی خواهد داشت. در این تحقیق از تئوری مالتی فرکتال برای استخراج رگبار طرح استفاده گردید. از آنجا که یکی از مشکلات موجود در کشور ما نبود آمار داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد در این تحقیق تنها از داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه که دسترسی به آن آسان بوده و از دقت مناسبی برخوردار است، برای استخراج رگبار طرح در تداوم و دوره‌بازگشت دلخواه استفاده گردیده است. این روش بطور موردی برای ایستگاه باران سنجی سد گتوند که در استان خوزستان و جنوب غرب ایران قرار دارد، بکارگرفته شده است.

#### مواد و روش‌ها

برنالدو و روسو (1996)، منابد و همکاران (1999) و یو و همکاران (2004) بر اساس آنالیز اشکال خود متشابه (فرکتال‌ها) دریافتند، متغیرهای تصادفی  $I_d$

برخوردار بوده و کاربرد وسیعی در علوم زمین<sup>1</sup> دارد، استفاده می‌شود.

فرکتال ابتدا به عنوان یک شکل عجیب تعریف می‌گردید که توسط هندسه اقلیدوسی قابل تفسیر نبود. نمونه‌ای از این اشکال، هیدروگراف و هیتوگراف می‌باشد که برای تفسیر آنها به هندسی جدا از هندسه اقلیدوسی به نام هندسه فرکتال نیاز است زیرا این اشکال دارای بعد کسری می‌باشند (سچرتزور و لوجوی 1987). اشکال فرکتالی در دیدگاه میکروسکوپی بسیار پیچیده بوده و دارای خاصیت خود متشابهی می‌باشند. یعنی هر جزء آن شبیه کل است مثل درخت کاج که هر شاخه آن شبیه یک درخت کامل است. در هیدرولوژی از این مفهوم برای تبدیل هیتوگراف بارش برای تداوم‌های مختلف استفاده شده و بین بارش در تداوم‌های مختلف یک رابطه ریاضی ایجاد می‌گردد (گوپتا و ویمیر 1993). بطور مثال با استفاده از خصوصیت فوق می‌توان از روی داده‌های بارش روزانه، داده‌های بارش در تداوم‌های بلند و کوتاه را استخراج کرد. در سه دهه گذشته کاربرد تئوری فرکتال بسیار گسترش یافته است. گوپتا و ویمیر (1993) اولین بار برای مطالعه توزیع مکانی بارش از مفاهیم عدم تغییرپذیری مقیاس<sup>2</sup> و چند مقیاسی<sup>3</sup> که برگرفته از تئوری فرکتال هستند برای مشخص کردن ساختار احتمالاتی بارش استفاده کردند. برنالدو و روسو (1996) ضمن انتقاد از روش متداول استخراج منحنی‌های  $IDF$  با استفاده از تئوری فرکتال روابطی برای استخراج رگبار طرح با توزیع احتمالاتی لوگ نرمال ارائه کردند. وان‌نگوین و همکاران (1998) از مفهوم عدم تغییرپذیری مقیاس و توزیع احتمالاتی مقادیر حدی تعمیم یافته برای برآورد ناحیه‌ای مقادیر حدی بارش در تداوم‌های کوتاه استفاده کردند. نهات و همکاران (2007) وجود ماهیت فرکتالی توزیع زمانی و مکانی داده‌های بارش را تایید کردند. بارا و همکارانش (2009) برای استخراج منحنی‌های  $IDF$  بارش حداکثر

<sup>1</sup>Earth sciences

<sup>2</sup>Scale invariance

<sup>3</sup>Multiscaling

در رابطه 6  $j_d$  پارامتر موقعیت<sup>2</sup> برای داده‌های حدی بارش در تداوم  $d$  بوده و  $a_d$  پارامتر مقیاس<sup>3</sup> نامیده می‌شود.

یو و همکارانش (2004) نشان دادند که خصوصیات مقیاسی برای پارامترهای توزیع احتمالات تجمعی برآزش داده شده به داده نیز صادق است. آنها همچنین دریافتند که رابطه مقیاسی برای چندک‌های مختلف بارش هم صدق می‌کند. با استفاده از گشتاورهای متداول پارامترهای توزیع گامبل ( $a_d$  و  $j_d$ ) بصورت زیر برآورد می‌گردد:

$$a_d = 0.7797 s_d \quad [7]$$

$$j_d = m_d - 0.45005 s_d \quad [8]$$

در روابط فوق پارامترهای  $m_d$  و  $s_d$  بترتیب میانگین و انحراف معیار حداکثر شدت بارش سالانه با تداوم  $d$  می‌باشد. اگر مقادیر این دو پارامتر را از روابط 3 و 4 در روابط 7 و 8 جایگزین کنیم آنگاه خواهیم داشت:

$$a_d = 0.7797 \sqrt{\frac{E(I_d^2)}{D^{n_2}} d^{n_2} - \left(\frac{E(I_d)}{D^{n_1}} d^{n_1}\right)^2} \quad [9]$$

$$j_d = m_d - 0.45005 \times \sqrt{\frac{E(I_d^2)}{D^{n_2}} d^{n_2} - \left(\frac{E(I_d)}{D^{n_1}} d^{n_1}\right)^2} \quad [10]$$

اگر در روابط فوق  $n_2$  را با  $2n_1$  جایگزین کنیم آنگاه روابط دارای ماهیت مونوفرکتالی خواهد بود. همانطور که در روابط 9 و 10 مشاهده می‌گردد، پارامترهای  $m_d$  و  $s_d$  برای حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم  $d$  از روی اطلاعات داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم  $D$  قابل برآورد است. یکی از مشکلات کشور ما نبود داده‌های بارش در تداوم مورد نظر است. اما امروزه این مشکل با تئوری فرکتال قابل حل می‌باشد. از آنجا که معمولاً داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه به راحتی در دسترس است، می‌توان از روی این داده‌ها اطلاعاتی از داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف را بدست آورد. بنابراین اگر در روابط 9 و 10،  $I_D$  داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه باشد

و  $I_D$  که بترتیب حداکثر بارش سالانه در تداوم‌های  $d$  و  $D$  می‌باشد، دارای خصوصیات مقیاسی زیر می‌باشند:

$$I_d = \left(\frac{d}{D}\right)^{n_1} I_D^{n_1} \quad [1]$$

در رابطه فوق،  $n_1$  توان مقیاس<sup>1</sup> در مرتبه یک می‌باشد. رابطه فوق نشان می‌دهد که توزیع فراوانی بارش در تداوم‌های مختلف دارای توزیع فراوانی مشابهی می‌باشند. اگر از طرفین رابطه فوق گشتاور مرتبه  $q$  گرفته شود، خواهیم داشت (یو 2004):

$$E(I_d^q) = \frac{E(I_D^q)}{D^{n_q}} d^{n_q} \quad [2]$$

در حالت عدم تغییر پذیری مقیاس یا مونوفرکتالی، توان مقیاس،  $n_q$ ، برای گشتاور مرتبه  $q$  برابر  $n_1 \times q$  می‌باشد. یعنی  $n_q$  تابعی خطی از  $q$  می‌باشد (گوپتا و وایمیر 1993). در حالی که در حالت مالتی‌فرکتال توان مقیاس  $n_q$  تابع محدبی از  $q$  می‌باشد. با استفاده از رابطه 2 گشتاورهای مرتبه اول و دوم در حالت مالتی فرکتال از روابط زیر بدست می‌آید.

$$E(I_d) = \frac{E(I_D)}{D^{n_1}} d^{n_1} \quad [3]$$

$$E(I_d^2) = \frac{E(I_D^2)}{D^{n_2}} d^{n_2} \quad [4]$$

$$\text{Var}(I_d) = \frac{E(I_D^2)}{D^{n_2}} d^{n_2} - \left(\frac{E(I_D)}{D^{n_1}} d^{n_1}\right)^2 \quad [5]$$

در رابطه فوق  $n_2$  توان مقیاس در مرتبه دو می‌باشد. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم روزانه در منطقه مورد مطالعه با آزمون کای اسکور در سطح معنی‌داری 5 درصد از توزیع گامبل ( $EVI$ ) پیروی می‌کنند. در این تحقیق از این توزیع احتمالاتی برای استخراج رگبار طرح به روش متداول و مالتی‌فرکتال استفاده شده است. رابطه احتمال تجمعی  $EVI$  برای متغیر حداکثر شدت بارش سالانه ( $I_d$ ) در تداوم  $d$  به صورت زیر است:

$$F_{I_d} = \exp\left(-\exp\left(-\frac{I_d - j_d}{a_d}\right)\right) \quad [6]$$

<sup>2</sup> Location parameter

<sup>3</sup> Scale parameter

<sup>1</sup> Scaling exponent

می‌گردد که نمونه آن برای ایستگاه باران سنجی سد گتوند در شکل 1 ترسیم شده است. اگر در یک بازه زمانی گشتاور داده‌ها دارای رابطه توانی با مرتبه گشتاور باشد یعنی در مختصات لگاریتمی گشتاور داده‌ها دارای رابطه خطی با مرتبه بارش باشد، گفته می‌شود داده‌ها دارای رفتار فرکتالی می‌باشند. همانطور که در شکل 1 مشاهده می‌گردد، برای داده‌های حداکثر بارش سالانه محل سد گتوند، گشتاور داده‌ها در مختصات لگاریتمی در بازه زمانی 1 تا 8 روز دارای رابطه خطی با مرتبه گشتاور می‌باشد. بنابراین داده‌های حداکثر بارش در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی 1 تا 8 روز دارای ماهیت فرکتالی می‌باشند که این با نتایج تحقیقات پیشین سازگاری دارد (مارین و همکاران 2008 و ژو و همکاران 2005). در این بازه زمانی می‌توان با استفاده از تئوری فرکتال داده‌های بارش را از یک تداوم به تداوم دیگر تبدیل کرد. در شکل 1 شیب خط مربوط به گشتاور مرتبه  $q$ ، توان مقیاس  $(n_q)$  در مرتبه  $q$  خواهد بود. اگر تغییرات توان مقیاس نسبت به مرتبه آن خطی باشد، نوع فرکتال حاکم بر داده‌ها از نوع مونوفرکتال بوده و در غیر این صورت از نوع مالتی فرکتال خواهد بود. در شکل 2 توان گشتاور  $(n_q)$  در برابر مرتبه آن  $(q)$  برای ایستگاه باران سنجی محل سد گتوند ترسیم شده است. از آنجا که تغییرات توان مقیاس نسبت به مرتبه آن محدب می‌باشد، بنابراین فرکتال داده‌ها از نوع مالتی فرکتال خواهد بود.

همانطور که قبلاً ذکر شد، از بین توزیع‌های آماری متداول، توزیع احتمالاتی گامبل که امروزه بیشترین کاربرد در زمینه آنالیز فراوانی داده‌های حداکثر بارش دارد، با آزمون کای اسکور در سطح معنی داری 5 درصد به عنوان بهترین توزیع احتمالاتی داده‌های حداکثر بارش سالانه در محل سد گتوند انتخاب گردید. از آنجا که در این تحقیق برای استخراج رگبار طرح در تداوم و دوره‌بازگشت‌های مختلف تنها از داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه استفاده می‌گردد.

آنگاه پارامترهای توزیع گامبل  $(j_d$  و  $a_d)$  برای تداوم دلخواه  $d$  قابل برآورد است. از رابطه 6 می‌توان چندک‌های شدت بارش را از رابطه زیر بدست آورد.

$$I_d^T = j_d + a_d \hat{y} \quad [10]$$

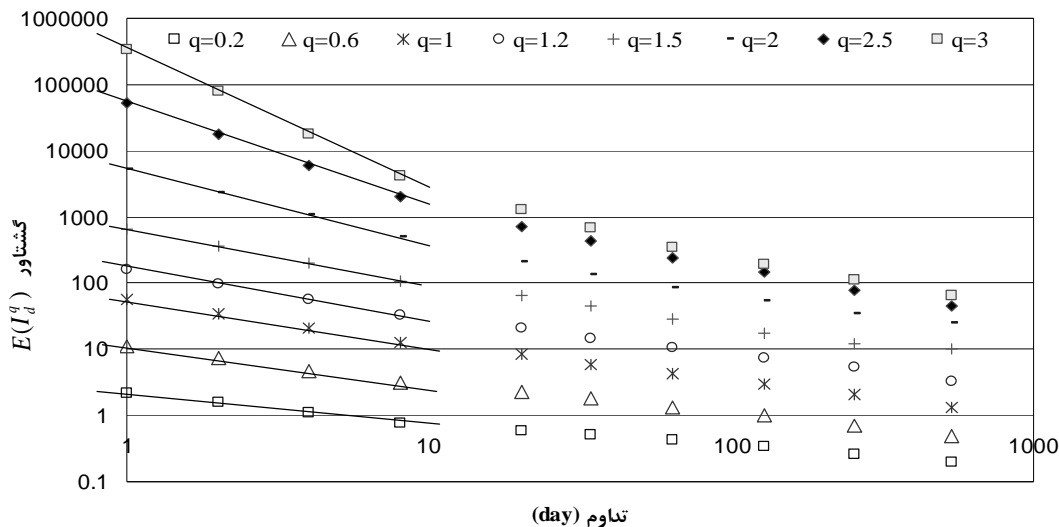
در رابطه فوق  $I_d^T$  چندک شدت بارش در تداوم  $d$  و دوره بازگشت  $T$  بوده و  $\hat{y}$  برابر  $-\ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]$  تعریف می‌شود. با استفاده از رابطه فوق می‌توان به کمک اطلاعات حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه، رگبار طرح در دوره بازگشت و تداوم مورد نظر را استخراج کرد.

#### منطقه مورد مطالعه

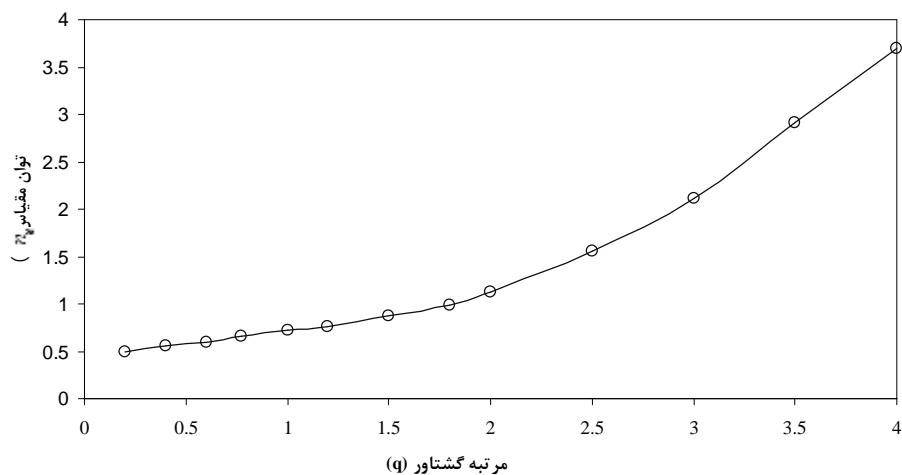
در این تحقیق بطور موردی روش مالتی فرکتال برای برآورد رگبار طرح در ایستگاه باران سنجی سد گتوند که در موقعیت طول جغرافیایی  $48^{\circ}49'$  و عرض جغرافیایی  $32^{\circ}15'$  در استان خوزستان و در جنوب غرب ایران قرار دارد، استفاده شده است. میانگین و انحراف معیار بارش سالانه این ایستگاه به ترتیب 404 و 154 میلی‌متر است. در این تحقیق برای استخراج رگبار طرح به روش مالتی فرکتال از داده‌های بارش روزانه با طول آماری 39 سال که از سال 1350 تا 1388 ثبت شده است، استفاده شده است. در حالی که برای محاسبه رگبار طرح به روش متداول از داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم‌های 1، 6، 12، 18 و 24 ساعته استفاده گردید. داده‌های بارش در این تحقیق از شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران تهیه گردیده است.

#### نتایج و بحث

برای بررسی بازه زمانی که رفتار فرکتالی در آن صادق است و تعیین نوع فرکتال از روش گشتاور آماری استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا از روی سری زمانی بارش روزانه، داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های 1، 2، 4، 8، ... روز استخراج گردید و سپس گشتاور  $(E(I_d^q))$  آنها در مرتبه‌های  $(q)$  مختلف محاسبه و در یک مختصات لگاریتمی ترسیم



شکل 1- منحنی تغییرات گشتاور  $(E(I_d^q))$  داده‌های حداکثر شدت بارش سالانه در تداوم‌های  $(d)$  مختلف در برابر مرتبه گشتاور  $(q)$



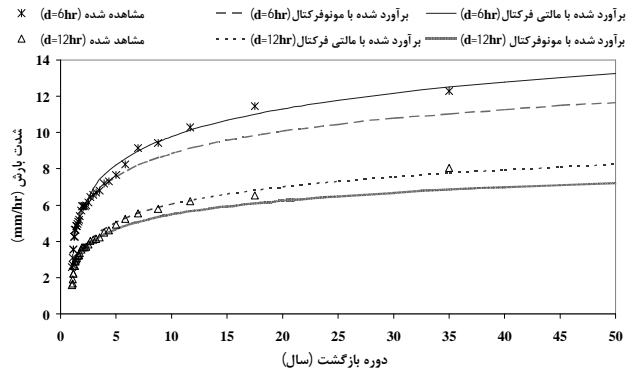
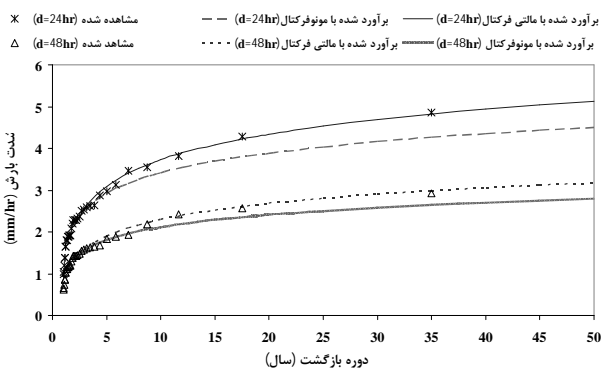
شکل 2- منحنی تغییرات توان مقیاس  $(n_q)$  در برابر مرتبه گشتاور  $(q)$

در حالی که در روش متداول استخراج رگبار طرح برای هر تداوم یک توزیع احتمالاتی مستقل برآزش داده می‌شود که این باعث بالا رفتن تعداد پارامترهای و افزایش عدم قطعیت نتایج می‌گردد. در شکل 3 رگبار طرح برای تداوم و دوره‌بازگشت‌های مختلف با روش مونوفرکتال و مالتی‌فرکتال برای ایستگاه باران سنجی محل سد گتوند محاسبه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود رگبار طرح برآورد شده به روش مالتی فرکتال

به کمک تئوری مالتی فرکتال پارامترهای توزیع گامبل برای هر تداوم مورد نظر با روابط 9 و 10 برآورد گردید و سپس به کمک تابع چندک توزیع گامبل (رابطه 11) رگبار طرح در تداوم و دوره‌بازگشت‌های مختلف محاسبه می‌گردد. در روش مالتی‌فرکتالی بکار برده شده تنها دو پارامتر توان مقیاس در مرتبه اول و دوم  $(n_1 = -0.75$  و  $n_2 = -1.13)$  وجود دارد که این کاهش پارامتر باعث افزایش اعتمادپذیری نتایج می‌گردد.

روزانه می‌باشد. زیرا رگبار طرح‌های استخراج شدت در تداوم‌های کوچکتر و بزرگتر از 24 ساعت که تنها از روی اطلاعات داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه برآورد شده است، بخوبی با داده‌های مشاهده شده انطباق دارند.

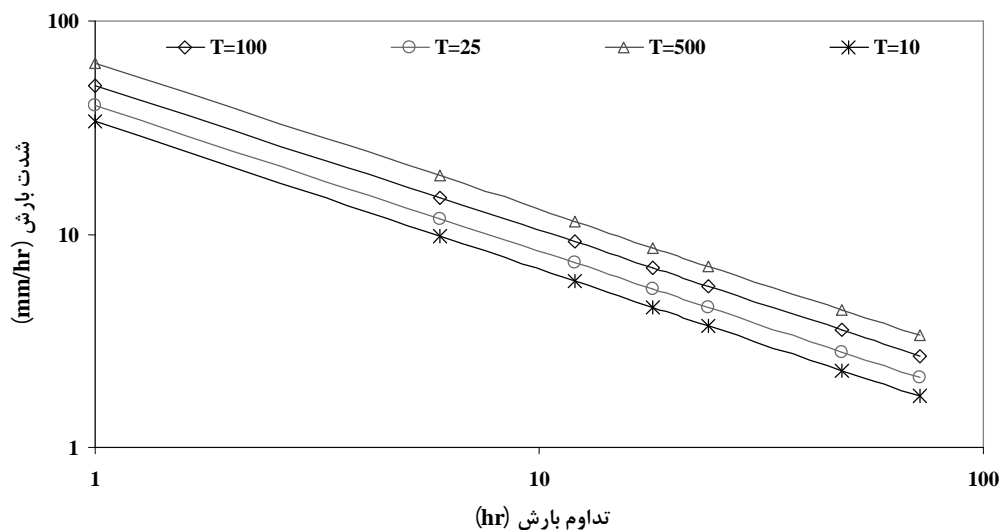
برآزش بهتری به داده‌های مشاهده شده دارد. در حالی که روش مونوفرکتال برآورد کمتری برای دوره‌بازگشت‌های بالا ارائه می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که تئوری مالتی فرکتال قادر به استخراج اطلاعات داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم‌های مختلف از روی داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم



شکل 3- رگبار طرح استخراج شده در تداوم‌های 6، 12، 24 و 48 ساعته با روش‌های مالتی فرکتال و مونوفرکتال

احتمالاتی برای مقادیر حدی بارش و رواناب رابطه توانی می‌باشد و توزیع‌های احتمالاتی متداول برآورد کمتری از مقادیر حدی ارائه می‌دهند. شیب منحنی‌های  $IDF$  در مختصات لگاریتمی یکسان و برابر توان مقیاس ( $n_1 = -0.75$ ) در مرتبه اول می‌باشد.

در شکل 4 منحنی‌های  $IDF$  برای محل سد گتوند که به روش مالتی فرکتال ساخته شده است، نمایش داده شده است. این منحنی‌ها در مختصات لگاریتمی کاملاً خطی می‌باشند زیرا این منحنی‌ها از تئوری مالتی فرکتال که دارای رابطه توانی است استخراج شده است. مالمود و تورکات (2006) نشان دادند که بهترین توزیع



شکل 4- منحنی‌های  $IDF$  استخراج شده به روش مالتی فرکتال در محل سد گتوند

## نتیجه‌گیری

قابل دسترس است، استفاده شده است که این می‌تواند مشکل کمبود داده و یا نبود آمار بارش در تداوم‌های مختلف را حل کند. زیرا یکی از مشکلات ما در برآورد رگبار طرح نبود داده بارش در تداوم مورد نظر است. در رابطه مالی فرکتالی استفاده شده برای استخراج منحنی‌های  $IDF$  که بر اساس توزیع احتمالاتی گامبل است، تنها به دو پارامتر مورد نیاز است که این کاهش پارامتر باعث افزایش اعتمادپذیری نتایج می‌گردد. در حالی که در روش متداول استخراج منحنی‌های  $IDF$  تعداد پارامترها زیاد بوده که این باعث افزایش عدم اعتمادپذیری خواهد شد. در تحقیق حاضر برای برآورد رگبار طرح به روش مالی فرکتال، برای دوره بازگشت‌های مختلف و در تداوم‌های مختلف تنها یک رابطه ارائه شده است. در حالی که در روش متداول برای هر تداوم یک رابطه جداگانه ارائه می‌گردد که این علاوه بر زیاد کردن پارامترها، باعث بالا رفتن مراحل محاسباتی نیز خواهد شد.

منحنی‌های  $IDF$  استخراج شده به روش مالی فرکتال دارای رابطه توانی با فراوانی (یا دوره بازگشت) دارند که این مطابق مطالعات پیشین نشان دهنده این است مقادیر حدی بارش دارای توزیع احتمالاتی توانی می‌باشند. مالامود و تورکات (2006) با استفاده از داده‌های سیلاب و بارش حداکثر سالانه نشان دادند که بین دوره بازگشت بارش (و سیلاب) و اندازه آن یک رابطه توانی برقرار است و رابطه توانی نسبت به توزیع‌های احتمالاتی متداول برآزش بهتری به داده‌های حدی دارد.

تئوری فرکتال که کاربرد وسیعی در علوم زمین دارد و از پشتوانه فیزیکی قوی برخوردار است در این تحقیق برای برآورد رگبار طرح در ایستگاه باران سنجی سد گتوند استفاده شده است. آنالیز گشتاورهای آماری نشان داد که داده‌های حداکثر بارش سالانه در بازه زمانی 1 تا 8 روز دارای ماهیت مالی فرکتالی می‌باشند. در مطالعات پیشین به علت سادگی از رفتار مونوفرکتالی برای برآورد رگبار طرح استفاده شده است. در حالی که نتایج این تحقیق نشان داد که تئوری مونوفرکتالی به علت ساده سازی‌های صورت گرفته برآورد کمتری از مقادیر حدی ارائه می‌دهد و در مقابل تئوری مالی فرکتال برآزش خوبی به داده‌های مشاهداتی بخصوص مقادیر حدی دارد. برنالدو و روسو (1996) دریافت اگر داده‌های بارش از تئوری مالی فرکتال تبعیت کنند، استفاده از مدل مونوفرکتال می‌تواند نتایج ضعیفی ارائه دهد.

در روش‌های متداول استخراج منحنی‌های  $IDF$  به خصوصیات بارش در تداوم‌های مختلف و ارتباط بین آنها توجه نمی‌شود. یعنی برای استخراج رگبار طرح یک ساعته تنها از داده‌های حداکثر سالانه یک ساله استفاده می‌شود. در حالی بر اساس تئوری فرکتال بین بارش‌ها در تداوم‌های مختلف تشابه آماری وجود دارد (مولنار و برنالدو 2005) و می‌توان با داشتن داده‌های حداکثر در یک تداوم، داده‌های حداکثر بارش در تداوم‌های مختلف را برآورد کرد. بر همین اساس در این تحقیق برای برآورد رگبار طرح به روش مالی فرکتال تنها از داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه که با کیفیت مناسب و به راحتی

## منابع مورد استفاده

- Bara M, 2009. Scaling properties of extreme rainfall in Slovakia. Pp. 6. Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Science Conference of PhD Students, VUT Brno (CD).
- Burlando P and Rosso R, 1996. Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation. Journal of Hydrology 187: 45-64.



- Garcia-Bartual R and Schneider M, 2001. Estimating maximum expected short-duration rainfall intensities from extreme convective rainfalls. *Phys Chem Earth B*, 26:675-681.
- Gupta VK and Waymire E, 1993. Multifractal properties of spatial rainfall and river flow distributions. *J Geophys Res* 95 (D3):1999-2009.
- Labat D, Mangin A and Ababou R, 2002. Rainfall-runoff relations for karstic springs: multifractal analysis. *Journal of Hydrology* 256: 176-195.
- Malamud BD and Turcotte DL, 2006. The applicability of power law frequency statistics of floods. *Journal of hydrology* 322:168-180.
- Marin APG, Hornero FJ and Munoz JLA, 2008. Universal multifractal description of an hourly rainfall time series from a location in southern Spain. *Atmosfera* 21(4):347-355.
- Menabde M, Seed A and Pegram G, 1999. A simple scaling model for extreme rainfall. *Water Resour Res* 35(1): 335-339.
- Molnar P and Burlando P, 2005. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. *Atmospheric Research* 77:137-151.
- Nhat LM, Tachilawa Y and Takara K, 2006. Establishment of intensity duration frequency curves of precipitation in the monsoon area of Vietnam. *Annuals of Disas Prev Inst. Kyoto Univ*, No. 49B. Pp: 232-245.
- Nhat LM, Tachikawa Y, Sayama T and Takara K, 2007: Regional rainfall intensity duration-frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. *Annuals of Disas Prev Res Inst. Kyoto Univ*, No. 50B. Pp: 33-43.
- Olsson J, Niemczynowicz J and Berndtsson R, 1993. Fractal Analysis of high resolution time series. *Journal of Geophysical Research*, 98: 23265-23274.
- Pandey G, Lovejoy S and Schertzer D, 1998. Multifractal analysis of daily river flows including extremes for basins of five to two million square kilometers, one day to 75 years. *Journal of Hydrology* 208:62-81.
- Pathirana A, Herath S, 2003. Estimating rainfall distributions at high temporal resolutions using a multifractal model. *Hydrology and Earth Sciences* 7(5): 668-679.
- Schertzer D and Lovejoy S, 1987. Physical modeling and analysis of rain and clouds by anisotropic scaling multiplicative processes. *Journal of Geophysical Research* 92: 9693 9714.
- Sherman CW, 1931. Frequency and intensity of excessive rainfall at Boston. *Trans ASCE* 95:951-960.
- Takara K, 2005. Report on data availability and IDF procedures: Situation in Japan. IHP-VI. Technical Document in Hydrology NO 5. Annex Japan country report.
- Van Nguyen VTV, 2000. Recent advances in modelling of extreme rainfalls and floods. Pp. 52-59. International European-Asian Workshop on Ecosystems, Hanoi, Vietnam.

- Yu PS, Yang TC and Lin CS, 2004. Regional rainfall intensity formulas based on scaling property of rainfall. *Journal of Hydrology*, 295 (1-4): 108-123.
- Zhou X, Persaud N and Wang H, 2005. Scale invariance of daily time series in agricultural watersheds. *Hydrol Earth Sys Sci Discuss* 2:1757-1778.