Research Paper

Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
Water and Soil Resources Conservation (WSRCJ)

Web site:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

Email:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

Vol. 12
No. 4 (48)
Summer 2023

Received:
2022-11-08

Accepted:
2023-01-20

Pages: 1-12

Investigating Changes in the Intensity of Short-Term Rainfall in the Last Half Century in the Context of Data Scarcity
(Case Study: Rasht City)

Mehdi Torabi[1] and Alireza Shokoohi[2*]

1) PhD. Student of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.
2) Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

*Corresponding author email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: With the increase in the production of greenhouse gases due to the industrialization of the countries of the world, we are witnessing the occurrence of global warming, which has caused climate changes all over the planet in recent years. One of the effects of this phenomenon is the change in the behavior of weather parameters such as temperature and precipitation. The effects of climate change phenomenon on precipitation have led to changes in the intensity of precipitation and finally changes in intensity-duration-frequency (IDF) curves of precipitation for different regions of the world and country. Therefore, updating the intensity-duration-frequency (IDF) curves is necessary because of their importance in the design of hydraulic structures used in urban flood management. One of the problems of producing intensity-duration-frequency (IDF) curves is the lack of access to rainfall data with different continuities. The purpose of this research is to use the fractal method to obtain precipitation with different continuities and then evaluate the effect of climate change on the intensity of precipitation in Rasht City. .

Method: In this research, the accuracy of the fractal method for generating intensity-duration-frequency curves is first evaluated. Then intensity-duration-abundance curves are produced by using fractal theory and by determining the effect of climate change on rainfall intensity by TREND software, two periods before and after climate change are evaluated and compared.

Results: In this research, the validation of the Fractal method shows that the IDF curve production for Rasht city using the Fractal method compared to the IDF curve production using observational data has about a three percent difference. Therefore, this method was used to generate IDF curves for the years when rainfall data with less than three hours of duration was not available. The evaluation of IDF curves with TREND software on the rainfall intensity for different durations demonstrates that the rainfall intensity jump occurred in 2003 towards becoming more intense due to the effect of climate change. For example, for 10 minutes with a return period of 100 years before the effect of climate change, the intensity of rainfall is 158 (mm/h) and after the effect of climate change, the intensity of rainfall is 225 (mm/h). Also, the results showed that the period of short returns has changed more than the period of large returns, that is, the 2-year return period has increased by about 70% and the 100-year return period has increased by about 40%.

Conclusion: In this research, by evaluating the fractal method, it was determined that if there is no access to rainfall data with different durations, the fractal method is a suitable method for generating different rainfall durations and generating IDF curves with acceptable accuracy. be Also, the results showed that the jump of intensity-duration-frequency curves occurred under the effect of climate change in 2003, and in the period of climate change, compared to the period before climate change, the intensity of rainfall moved towards more intense rainfall, and this event occurred in the period Short-term returns show a greater increase.

Keywords: Rainfall intensity, Intensity-Duration-Frequency curves, Fractal theory, climate changes, urban flood

10.30495/wsrcj.2023.70259.11331

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات شدت بارش‌های کوتاه مدت در نیم قرن اخیر در شرایط کمبود داده

(مطالعه موردی: شهر رشت)

مهدی ترابی[1] و علیرضا شکوهی[2*]

۱) دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین. ایران.
۲) استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، ، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:
https://wsrcj.srbiau.ac.ir

پست الکترونیک:
iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم
شماره چهار (۴۸)
تابستان ۱۴۰۲

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

صفحات: ۱۲-۱

چکیده:

زمینه و هدف: با افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای در پی صنعتی شدن کشورهای دنیا، شاهد رخداد گرمایش جهانی هستیم که در سال‌های اخیر باعث تغییرات اقلیمی در سراسر کره زمین شده است. از اثرات این پدیده می‌توان تغییر در رفتار فراسنج‌های آب و هوایی مثل دما و بارش را برشمرد. اثرات پدیده تغییرات اقلیمی بر روی بارش منجر به تغییر شدت بارش و در نهایت تغییر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) بارش برای مناطق مختلف جهان و کشور شده است. از این رو بروزرسانی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) به دلیل اهمیت آن‌ها در طراحی سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده در مدیریت سیلاب شهری امری ضروری است. یکی از مشکلات تولید منحنی-های شدت-مدت-فراوانی(IDF) عدم دسترسی به داده‌های بارش با تداوم‌های مختلف است. هدف از این پژوهش استفاده از روش فرکتال برای بدست آوردن بارش با تداوم های مختلف و سپس ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی شدت بارش در شهر رشت می‌باشد.

روش پژوهش: در این پژوهش ابتدا صحت روش فرکتال برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ارزیابی شد. سپس با استفاده از نظریه فرکتال منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی تولید شده‌اند و با تعیین جهش متاثر از تغییر اقلیم توسط نرم افزار TREND بر روی شدت بارش، دو دوره پیش و پس از تغییرات اقلیمی ارزیابی و مقایسه شده است.

یافته‌ها: در این پژوهش صحت سنجی روش فرکتال نشان داد که تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) برای شهر رشت با استفاده از روش فرکتال در مقایسه با تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) با استفاده از داده‌های مشاهداتی دارای اختلاف حدود سه درصدی می‌باشد. بنابراین برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) برای سال‌هایی که داده‌های بارش با تداوم زیر سه ساعت در دسترس نبود، از این روش استفاده شد. ارزیابی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) با نرم افزار TREND بر روی شدت بارش برای تداوم-های مختلف نشان داد که در سال ۲۰۰۳ جهش شدت بارش به سمت شدیدتر شدن تحت اثر تغییرات اقلیمی رخ داده است. به عنوان نمونه برای مدت زمان ۱۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰ سال پیش از اثر تغییر اقلیم شدت بارش ۱۵۸ (میلی‌متر بر ساعت) و پس از اثر تغییر اقلیم شدت بارش ۲۲۵ (میلی‌متر بر ساعت) شده است. همچنین نتایج نشان داد که دوره بازگشت‌های کوتاه تغییر بیشتری نسبت به دوره بازگشت‌های بزرگ داشته است یعنی دوره بازگشت ۲ ساله حدود ۷۰ درصد افزایش و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله حدود ۴۰ درصد افزایش مشاهده می‌شود.

نتایج: در این پژوهش با ارزیابی روش فرکتال مشخص گردید که در صورت عدم دسترسی به داده‌های بارش با تداوم‌های مختلف، روش فرکتال برای تولید تداوم‌های مختلف بارش و تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) با دقت قابل قبول، یک روش مناسب می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد جهش منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی تحت اثر تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۳ رخ داده است و در دوره تغییر اقلیم نسبت به دوره پیش از تغییر اقلیم شدت بارش به سمت شدیدتر شدن بارش حرکت داشته است و این رخداد در دوره بازگشت‌های کوتاه مدت افزایش بیشتری را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: شدت بارش، منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی، نظریه فرکتال، جهش اقلیمی، سیلاب شهری

10.30495/wsrcj.2023.70259.11331

مقدمه

داشتن روابط و منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی برای مدل سازی هیدرولوژیکی و طراحی سازه‌های هیدرولیکی امری ضروری می‌باشد. به منظور تعیین تغییرات شدت بارش در دوره کنونی نسبت به دوره تاریخی مطالعاتی وجود دارد که نشان می‌دهند شدت بارش در دو دهه کنونی نسبت به گذشته تغییراتی فاحش داشته است. حبیب نژاد و شکوهی (۲۰۲۰) وجود روند و جهش در بارش‌های کوتاه مدت مشاهداتی در شهر تهران (ایستگاه سینوپتیک مهرآباد) راتایید کردند. اندیموسو و همکاران (۲۰۱۹) افزایش ۱۲ درصد و ۸۷ درصد را در شدت بارش‌های به ترتیب با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله مشاهده کردند. از این رو با توجه به تغییرات اقلیمی رخ داده، بروزرسانی روابط مبتنی بر شدت بارش مانند منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) برای اصلاح عملکرد سیستم‌های کنترل و انتقال سیلاب شهری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. سرحدی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که در شرایط محیطی متغیر برای حفظ قابلیت اطمینان برای طراحی زیرساخت‌ها منحنی-های شدت-مدت-فراوانی باید با زمان تغییر کنند.. سینگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند در شرایط تغییر اقلیم با استفاده از سناریوهای خط سیر غلظت (RCPs) منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) برای تداوم‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه‌ای در همه دوره بازگشت‌ها افزایش داشته است. وسترا و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود برای تغییرات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) در آینده، به افزایش شدت بارش‌های کوتاه مدت منجر به طوفان‌های کوتاه مدت اشاره کرده اند. رودریگوئز و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که در مناطق مدیترانه‌ای در شرایط تغییر اقلیم و تحت سناریوهای A1B، A2 و B2 برای دوره بازگشت‌های بیشتر از ۲۰ ساله حداقل ۴ درصد افزایش در شدت بارش روزانه در آینده مورد انتظار می‌باشد.. یکی ازموانع اصلی تولید منحنی‌های IDF، عدم ثبت داده بارش با تداوم‌های مختلف و بخصوص بارش‌های کوتاه مدت برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در بسیاری از شهرهای کوچک و بزرگ در سراسر دنیا منجمله ایران است. در این میان حتی در برخی از مراکز استان‌های کشور که دارای حداقل یک ایستگاه سینوپتیک با وظیفه جمع‌آوری و ثبت رگبارها می‌باشند، کیفیت آمارهای ثبت شده،طول دوره آماری کم و نامناسب و همچنین تغییر نوع دستگاه ثبات و لذا روشهای آماربرداری در طول دوره کاری ایستگاه، مشکلاتی را برای تولید منحنی‌های شدت – مدت – فراوانی با دقت قابل قبول بوجود می‌آورند. برای فائق آمدن بر این مشکل و ضرورت بروزرسانی سیستم‌های دفاعی شهرها در مقابل سیلاب‌های مخرب در دو دهه اخیر محققان بدنبال راهکارهایی برای استفاده از بارش‌های روزانه (۲۴ ساعته) و تجزیه آن به بارش‌های کوتاه مدت بوده‌اند. بلوکی و همکاران (۲۰۲۱) برای ایستگاه سینوپتیک زاهدان و دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۹ رفتار فرکتالی داده‌ها را بررسی کردند و پس از تعیین رفتار منو فرکتالی داده‌ها و ارزیابی نظریه فرکتال با استفاده از روش تفاوت نسبی، با استفاده از بارش‌های ۲۴ ساعته منحنی-های شدت-مدت-فراوانی (IDF) را برای این ایستگاه استخراج نمودند. صفوی و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی تغییرات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه سینوپتیک اصفهان از اعمال نظریه فرکتال روی بارش‌های ۲۴ ساعته استفاده نمودند و پس از تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی و مقایسه با دوره تاریخی نشان دادند که شدت بارش دوره حاضر نسبت به دوره تاریخی به میزان حدود ۵۲ درصد افزایش داشته است. در مطالعه اژدری مقدم و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که نظریه فرکتال در مقایسه با استفاده از روابط تجربی دارای خطای کمتری برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی می-باشد. نوری قیداری(۲۰۱۲) با استفاده از نظریه فرکتال و حداکثر بارش روزانه، منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی را با خطایی کمتر از ۹/۸ درصد نسبت به روش متداول تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی برای ایستگاه باران سنجی پنج تنگه تولید کرد. ناهات و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از نظریه فرکتال روشی برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه‌های فاقد آمار توسعه دادند و توانستند داده‌های ساعتی را از روی داده‌های روزانه شبیه‌سازی نمایند. مولنار و برنالدو(۲۰۰۵) قابلیت بکارگیری مدل فرکتال جهت ساخت منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) در مناطق کوهستانی را تایید کردند و نشان دادند با تبدیل بارش ۱۲۸۰ دقیقه‌ای به ۱۰ دقیقه‌ای مشخصات بارش حفظ شده است. دیدا و همکاران (۲۰۰۰) داده‌های مکانی و زمانی بارش را با روش مالتی فرکتال ریز مقیاس سازی نمودند و با مقایسه سری زمانی مشاهداتی و تولید شده بارش توسط روش فرکتال دریافتند که مدل فرکتال توانسته به خوبی خصوصیات آماری داده‌ها را حفظ کند. گوپتا و همکاران (۱۹۹۰) معتقدند در هیدرولوژی می‌توان از خصوصیت عدم تغییر پذیری مقیاسی یا چند مقیاسی برای انتقال داده‌ها از یک مقیاس به مقیاس دیگر یا از یک حوضه به حوضه دیگر استفاده نمود. بطور مثال می‌توان با بکارگیری داده‌های بارش روزانه اطلاعاتی از داده‌های ساعتی بدست آورد.

در مطالعه حاضر تلاش شده است تا نشان داده شود که شهر مورد مطالعه یعنی شهر رشت که با قرار گرفتن در حاشیه جنوبی دریای خزر و با برخورداری از اقلیم شبه مدیترانه‌ای از

بارش سالانه بالاتر از ۱۰۰۰ میلیمتر برخوردار است، در دوره تاریخی ۵۰ ساله اخیر از نظر شدت بارش‌های کوتاه مدت دچار تغییرات عمده‌ای شده و لذا نیاز است که منحنی‌های شدت مدت فراوانی مورد استفاده برای طراحی سازه‌های مدیریت سیلاب شهری در آن بروز رسانی شود. در حال حاضر جدید ترین اطلاعات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی توسط وزیری در سال ۱۳۷۴ منتشر شده است. برای رسیدن به هدف مورد نظر یعنی تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) اصلاح شده لازم است که داده‌های بارش کوتاه مدت برای کل دوره تاریخی ۵۰ ساله اخیر در دسترس باشد. این امر با توجه به نحوه ثبت و گزارش داده‌های بارش به صورت مجموع بارش سه ساعته در بخشی از دوره تاریخی امکانپذیر نمی‌باشد. در این مطالعه علاوه بر جستجوی اثر تغییر اقلیم از زاویه تأثیر آن بر الگوی بارش‌های کوتاه مدت که برای اولین بار در یک اقلیم شبه‌مدیترانه‌ای صورت می‌گیرد و همچنین تعیین سال رخداد تغییرات، کمبود داده مربوط به بارش‌های با تداوم کمتر از ۳ ساعت با استفاده از روش فرکتال مرتفع شده و در نهایت نشان داده می‌شود که الگوی بارش در کدامین فراوانی‌ها و دوره‌های بازگشت دچار بیشترین تغییرات اثرگذار بر سیستم دفع سیلاب شهری گشته است.

در تحقیق حاضر به دلیل جامع‌تر بودن دوره ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک فرودگاه رشت (۱۹۶۰ تا ۲۰۲۱) نسبت به ایستگاه کشاورزی(۲۰۰۵ تا۲۰۲۱) از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه رشت استفاده شده است. در این مطالعه از دو دسته اطلاعات استفاده به عمل آمد. دسته اول داده‌های گزارش شده توسط دیتا لاگر ایستگاه سینوپتیک فرودگاه رشت طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ می‌باشد که صرفاً به صورت سه ساعته گزارش می‌گردد. دسته دوم داده‌های باران‌نگار و به عبارت دیگر هیتوگراف‌های ثبت شده همین ایستگاه است که از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۱ در اختیار است و بارش‌های با زمان تداوم مختلف از ده دقیقه تا سه ساعت از آنها قابل استخراج می‌باشد. از داده‌های دسته اول برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی دوره تاریخی و همچنین دوره پس از تغییر اقلیم و از داده‌های دسته دوم به منظور صحت سنجی بارش‌های با تداوم کمتر از ۳ساعت که به کمک روش فرکتال تولید شدند استفاده به عمل آمد.

شکل۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات و موقعیت ایستگاههای هواشناسی منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	محل ایستگاه	کد ایستگاه	مشخصات جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا	سال تاسیس
۱	رشت (سینوپتیک)	گیلان-رشت	۴۰۷۱۹	۴۹/۶۲	۳۷/۳۲	-۸/۶	۱۹۵۶
۲	رشت (کشاورزی)	گیلان-رشت	۹۹۲۷۲	۴۹/۶۵	۳۷/۲۰	۲۴/۸	۲۰۰۵

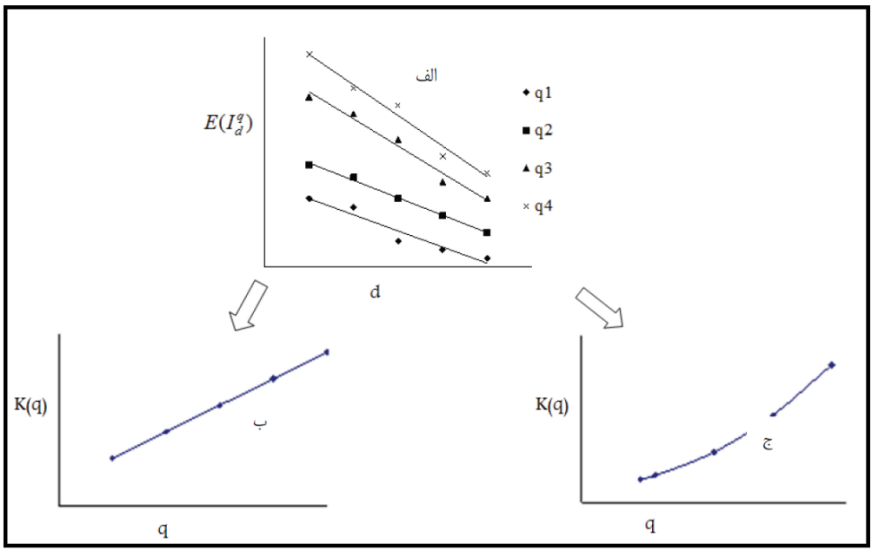
تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی با استفاده از روش متداول

برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی به روش متداول ابتدا داده‌های حداکثر سالانه بارش برای تداوم‌های مختلف (به عنوان مثال از ۱۰ دقیقه الی ۱۸۰ دقیقه) از روی هیتوگراف ثبت شده استخراج می‌گردد. در مرحله بعد بر هر یک از این داده‌ها با تداوم معین مثلا یک ساعته، یک توزیع احتمالاتی مثل توزیع گامبل، لوگ نرمال و ... برازش داده می‌شود و سپس مقدار بارش در همان تداوم به ازای دوره بازگشت‌های مختلف برآورد می‌گردد. این روند برای تمام تداوم‌ها انجام شده و در نهایت به داده‌های بارش در تداوم‌های مختلف که دوره بازگشت یکسانی (T) دارند یک منحنی برازش داده می‌شود که منحنی شدت-مدت-فراوانی(IDF) در همان دوره بازگشت (T) خواهد بود.(Burlando et al., 1996; Osman Akan et al., 2003)

استفاده از نظریه فرکتال برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی

واژه فرکتال در سال ۱۶۷۹ توسط ریاضیدان فرانسوی به نام بنوئیت مندلبرات وارد دنیای ریاضیات شد. فرکتال ساختاری هندسی و متشکل از اجزایی است که با بزرگ کردن هر یک به نسبت معین به دست می‌آید؛ در حقیقت هر جزء همانند کل است. این ساختارها برخلاف اشکال هندسی اقلیدسی به هیچ‌وجه منظم نبوده و میزان بی‌نظمی در آنها در مقیاس‌های مختلف یکسان است به طوریکه جسم از دور و نزدیک یکسان دیده میشود یا به تعبیر دیگر خود متشابه است (Mandelbrot, 1982). از جمله کاربردهای این نظریه در زمینه هیدرولوژی می‌توان به هیتوگراف بارش و تغییرات زمانی و مکانی بارش و رواناب اشاره نمود (Burlando et al., 1996). در صورتی که در پدیده‌هایی مثل بارش و سیلاب، برخی از خصوصیات آماری با تغییر مقیاس تغییر نکنند پدیده‌ی موردنظر از حیث مقیاس تغییرناپذیر یا ساده بوده و به این حالت مونوفرکتال گفته می‌شود. اگر شکل یا شئ موردنظر دارای خصوصیت عدم تغییرپذیری باشد، تنها با یک بعد قابل توصیف است، در غیر این صورت لازم است برای توصیف آن از چند بعد استفاده شود که به این حالت چند مقیاسی یا مالتی فرکتال گفته می‌شود(Schaefer, 1990).

از آنجا که ثبت بارش‌های کوتاه مدت با تداوم‌های مختلف به علت عدم وجود باران‌نگار در همه جا امکان‌پذیر نیست (عملاً در اکثر موارد بارش ۲۴ ساعته در دسترس است)، و همچنین روش‌های متداول تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی دارای پارامترهای زیادی هستند که ایجاد عدم اطمینان را در پی دارند، استفاده از نظریه فرکتال با توجه به دقت مطلوب، راه مناسبی برای بدست آوردن بارش با تداوم‌های مختلف است. برای تولید بارش کوتاه مدت از روی بارش بلند مدت در این روش در گام اول رفتار فرکتالی داده‌ها با طی مراحلی که در شکل (۲) آمده است بررسی می‌شود. در این شکل E(I) گشتاور شدت بارش با تداوم مشخص در مرتبه q (۱ تا ۵)، d مدت بارش و k(q) شیب خط نمودار E(I) در مقابل d (شکل ۲-الف) می‌باشند.



شکل۲. الف: لگاریتم گشتاورهای مرتبه q در برابر لگاریتم تداوم، ب: رابطه خطی k(q) و q که نشان دهنده عدم تغییر پذیری مقیاس زمانی (منوفرکتالی) است، ج: رابطه غیرخطی k(q) و q که نشان دهنده تغییر پذیری مقیاس (مالتی فرکتالی) است. (منوفرکتالی) است، ج: رابطه غیرخطی k(q) و q که نشان دهنده تغییر پذیری مقیاس (مالتی فرکتالی) است

همانطور که ملاحظه می‌شود در گام اول بعد از محاسبه گشتاورهای مرکزی مراتب مختلف در هر زمان تداوم، لگاریتم گشتاورها در مقابل زمان تداوم ترسیم می‌گردد. هدف از این کار تشخیص رفتار فراکتالی داده‌ها است (شکل‌های ۲-ب و ۲-ج). اگر ثابت شد که رفتار مجموعه‌ای از داده‌های بارش با زمانهای تداوم مختلف رفتاری منوفرکتالی است (مانند آنچه که در مورد مطالعه موردی این پژوهش صادق است) فرض برآن خواهد بود که توزیع فراوانی بارش‌های مزبور در تدامهای مختلف یکسان بوده و می‌توان با استفاده از رابطه (۱) که خصوصیت مقیاسی را بیان می‌کند، با داشتن شدت در تداوم D ساعته، شدت بارش در تداوم‌های d ساعته را بدست آورد:

$$I_d = (\frac{d}{D})^n I_D \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) مقدار n معرف توان مقیاس می‌باشد.

یکی از اهداف این پژوهش بررسی امکان وقوع تغییر اقلیم در سالهای گذشته از نظر تأثیر آن بر شدت بارش‌های کوتاه مدت شهر رشت می‌باشد. مشکلی که در این راه وجود دارد آن است که ایستگاه سینوپتیک این شهر فاقد آمار بارش کوتاه مدت (از ۱۰ دقیقه تا ۱۸۰ دقیقه) تا سال ۲۰۰۴ میلادی بوده و داده‌ها از سال ۱۹۶۰ تا سال ۲۰۰۴ تنها به صورت سه ساعته در دسترس می‌باشد. در پژوهش حاضر بارش‌های کوتاه مدت (از ۱۰ دقیقه الی ۱۸۰ دقیقه) سالهای گذشته (۱۹۶۰ الی ۲۰۰۴) با استفاده از نظریه فرکتال تولید شدند. صحت سنجی روش فرکتال با استفاده از سال‌های مشترک ۲۰۰۴-۲۰۲۱ بدین صورت انجام شد که بارش‌های ثبت شده طی این سال(که تداوم آن‌ها سه ساعته بود) با استفاده از روش فرکتال به تداوم‌های کمتر (از ۱۰ دقیقه الی ۱۸۰ دقیقه) تبدیل و با بارش‌های ثبت شده از باران نگار مقایسه گردید. سپس برای تبدیل زمانی بار-ش‌ها از سه ساعته به ۱۰ دقیقه الی ۱۸۰ دقیقه برای سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۴ از روش فرکتال استفاده گردید. در نهایت از بارش-های ۱۰ دقیقه‌ای تا ۱۸۰ دقیقه‌ای ایجاد شده توسط روش فرکتال برای کل دوره مطالعاتی یعنی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ برای تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) استفاده به عمل آمد.

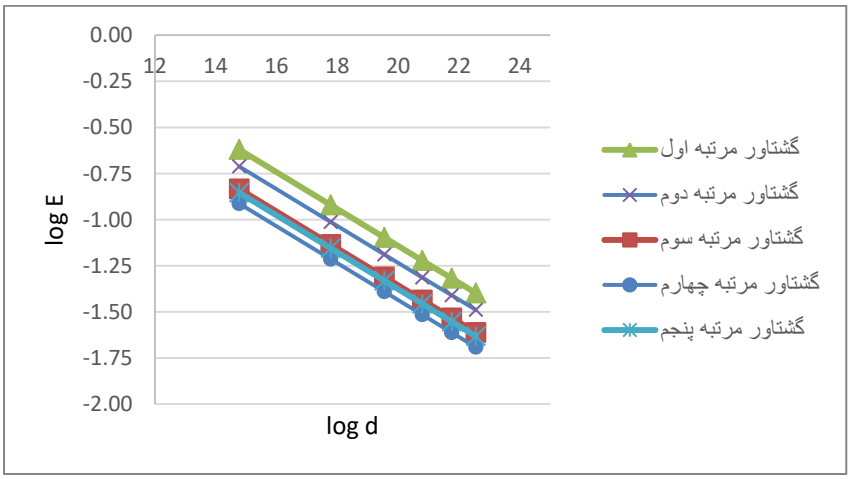
ارزیابی بروز تغییر اقلیم و تعیین جهش داده‌های بارش

ارزیابی بروز تغییر اقلیم از زاویه بررسی تغییر درازمدت یکی از پارامترهای آب و هوایی مانند الگوی زمانی بارش‌های کوتاه و به عبارت دیگر شدت بارش‌های کوتاه مدت نیازمند تعیین یک سال شاخص است به نحوی که آماره‌های پارامتر اقلیمی مورد نظر در حداقل دو دوره زمانی قبل و بعد از تغییرات با یکدیگر تفاوتی معنی‌دار در سطح اعتماد مورد نظر داشته باشند. در پژوهش حاضر این ارزیابی با تعیین شکست در منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی به عنوان یک عامل متاثر از تغییراقلیم انجام گردید و به عبارت مصطلح سال جهش در این داده‌ها با زمانهای تداوم مختلف مشخص شد. تعیین جهش با نرم افزار Trend انجام شده است و روش های مورد استفاده در تعیین جهش آزمون‌های کیوسام، Rank Sum و T student در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد می‌باشند.

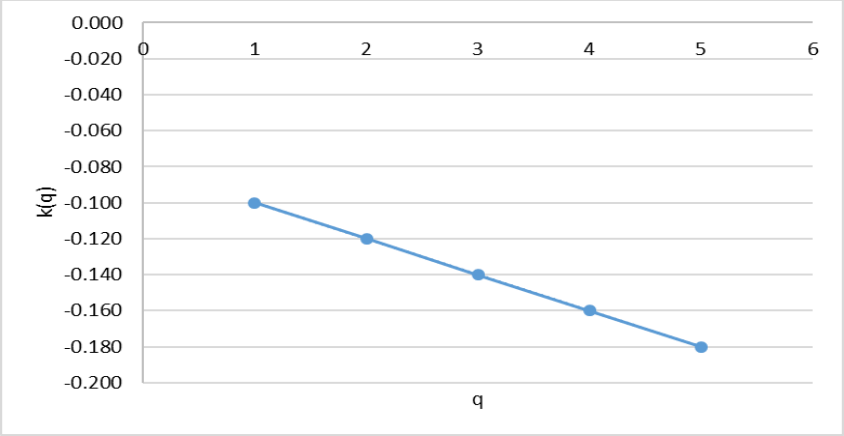
نتایج و بحث

تولید منحنی شدت-مدت-فراوانی در دوره مشترک(۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰) با استفاده از روش فرکتال

برای تولید منحنی شدت-مدت-فراوانی(IDF) مربوط به سالهای ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰ در ابتدا رفتار فرکتالی بارش در تداوم های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. گشتاورهای مرتبه اول تا پنجم شدت بارش ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه ایستگاه سینوپتیک رشت محاسبه و نتایج آن در شکل‌های (۳) و (۴) آورده شده است. در شکل (۳) محور xها لگاریتم زمان تداوم بارش و محور yها لگاریتم مقدار عددی گشتاور محاسبه



شکل۳. نمودار لگاریتمی گشتاورهای مرتبه یکم تا پنجم در برابر تداوم بارش



شکل۴. نمودار K(q) در مقابل q

شده برای هر زمان تداوم است. در شکل (۵) محور xها مقدار q که از ۱ تا ۵ می‌باشد و محور yها مقدار k(q) را نشان می‌دهد. با توجه به خطی بودن تغییرات گشتاور در زمانهای تداوم مختلف (شکل ۳ وشکل ۴) می‌توان نتیجه گرفت که رفتار داده‌های بارش شهر رشت در سالهای یاد شده منوفرکتال است که دلالت بر عدم تغییرپذیری مقیاس دارد و لذا می‌توان از رابطه (۱) برای تبدیل مقیاس استفاده نمود و تداوم‌های مختلف بارش از ۱۰ دقیقه تا ۱۸۰ دقیقه را از بارش سه ساعته تولید نمود.

صحت سنجی نتایج روش فرکتال

به منظور صحت‌سنجی روش فرکتال، منحنی شدت مدت فراوانی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰ مطابق آنچه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد بدست آمد. جدول ۲ نتایج حاصل از داده‌های باران‌نگار و جدول ۳ نتایج حاصل از اعمال روش فرکتال بر بارش سه ساعته در همین دوره را نشان می‌دهد.

شکل۵ برای مقایسه بهتر نتایج محنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) تولید شده با روش فرکتال و منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) حاصل از تحلیل بارش‌های ثبت شده برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به عنوان نمونه ارائه شده است. اختلاف کم شدتها در تداوم‌های مختلف نشان دهنده اولا درستی تشخیص رفتار مونو فرکتال بارش‌های کوتاه مدت در شهر رشت و سپس توانایی روش فرکتال برای تولید بارش‌های کوتاه می‌باشد.

در نهایت با مقایسه منحنی شدت مدت فراوانی حاصل از داده‌های تولید شده با روش فرکتال و همچنین داده‌های مشاهداتی باران نگارهای ثبت شده مشخص شد اختلافی در حدود ۳ درصد بین نتایج دو روش وجود دارد و لذا نظریه فرکتال با درصد اختلاف قابل قبول، قابلیت استفاده برای تولید بارش‌های کوتاه مدت در دوره فاقد آمار(۱۹۶۰ تا ۲۰۰۳) را داراست.

جدول ۲. منحنی شدت-مدت-فراوانی با استفاده از داده‌های در دسترس ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰

	شدت (میلیمتر بر ساعت)						
دوره بازگشت/مدت بارش	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۱۱۳	۱۵۶	۱۷۷	۱۹۳	۱۹۷	۲۰۹	۲۱۸
۲۰	۱۰۵	۱۴۵	۱۶۴	۱۸۰	۱۸۳	۱۹۴	۲۰۳
۳۰	۱۰۱	۱۳۹	۱۵۷	۱۷۲	۱۷۶	۱۸۶	۱۹۴
۴۰	۹۸	۱۳۵	۱۵۲	۱۶۷	۱۷۱	۱۸۱	۱۸۸
۵۰	۹۵	۱۳۲	۱۵۰	۱۶۳	۱۶۶	۱۷۷	۱۸۴
۶۰	۹۳	۱۲۹	۱۴۷	۱۵۹	۱۶۳	۱۷۳	۱۸۱
۹۰	۹۰	۱۲۳	۱۴۱	۱۵۳	۱۵۶	۱۶۶	۱۷۳
۱۲۰	۸۷	۱۲۰	۱۳۶	۱۴۹	۱۵۱	۱۶۰	۱۶۸
۱۵۰	۸۵	۱۱۷	۱۳۳	۱۴۵	۱۴۹	۱۵۷	۱۶۴
۱۸۰	۸۳	۱۱۵	۱۳۰	۱۴۲	۱۴۶	۱۵۳	۱۶۰

جدول ۳. منحنی شدت-مدت-فراوانی با استفاده از روش فرکتال ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰

	شدت (میلیمتر بر ساعت)						
دوره بازگشت/مدت بارش	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۱۱۶	۱۶۱	۱۸۲	۱۹۹	۲۰۳	۲۱۵	۲۲۵
۲۰	۱۰۸	۱۴۹	۱۶۹	۱۸۵	۱۸۹	۲۰۰	۲۰۹
۳۰	۱۰۴	۱۴۳	۱۶۲	۱۷۷	۱۸۱	۱۹۲	۲۰۰
۴۰	۱۰۱	۱۳۹	۱۵۷	۱۷۲	۱۷۶	۱۸۶	۱۹۴
۵۰	۹۸,۲	۱۳۶	۱۵۴	۱۶۸	۱۷۱	۱۸۲	۱۹۰
۶۰	۹۶,۳	۱۳۳	۱۵۱	۱۶۴	۱۶۸	۱۷۸	۱۸۶
۹۰	۹۲,۲	۱۲۷	۱۴۵	۱۸۵	۱۶۱	۱۷۱	۱۷۸
۱۲۰	۸۹,۵	۱۲۴	۱۴۰	۱۵۳	۱۵۶	۱۶۵	۱۷۳
۱۵۰	۸۷,۴	۱۲۱	۱۳۷	۱۴۹	۱۵۳	۱۶۲	۱۶۹
۱۸۰	۵۸,۷	۱۱۸	۱۳۴	۱۴۶	۱۵۰	۱۵۸	۱۶۵

شکل ۵. مقایسه شدت رگبارهای کوتاه مدت تاریخی (ثبت شده) و تولیدشده با روش فرکتال

تولید منحنی شدت مدت فراوانی برای کل دوره فاقد آمار و دارای آمار بارش کوتاه مدت با استفاده از روش فرکتال

براساس نتایج بدست آمده از صحت سنجی روش فرکتال، این نتیجه‌گیری حاصل شد که می‌توان از تبدیل فرکتال برای تولید بارش‌های کوتاه مدت ۱۰ دقیقه‌ای تا ۱۸۰ دقیقه‌ای در کل دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ استفاده نمود. اما پیش از انجام اینکار لازم است همگنی آماری داده‌های تاریخی از نظر وقوع تغییر اقلیمی و بروز جهش در داده‌های کوتاه مدت مورد بررسی قرار گیرد. علت این ارزیابی آن است که در صورت بروز تغییر در الگوی زمانی و یا به عبارت دیگر شدت بارش‌های کوتاه مدت نمی‌توان برای کل دوره تاریخی فقط از یک منحنی شدت-مدت-فراوانی(IDF) استفاده نمود و لازم است برای هر کدام از دو جامعه آماری قبل و بعد از جهش منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) مجزا تولید نمود. بدیهی است که برای ارزیابی سازه‌های طراحی شده قبل از جهش باید از منحنی شدت-مدت-فراوانی(IDF) مربوط به همان دوره استفاده نمود و برای طراحی در حال حاضر از منحنی‌های جدید بهره برد. این امر در صورتی که شدت رگبارهای کوتاه مدت در دوره حاضر یعنی دوره بعد از جهش زیادتر شده باشد، می‌تواند طراحی سازه‌های کنترل سیلاب در مناطق شهری را تحت تأثیر قرار داده و مدیریت سیلاب در این نوع حوضه‌ها را بشدت تحت تأثیر قرار دهد.

بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های کوتاه مدت در دوره تاریخی

برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر داده‌های بارش از آزمون‌های کیوسام، Rank Sum و T student برای همه تداوم‌ها استفاده شد. نتایج آزمونهای یاد شده در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۴. نتایج آزمون‌های جهش برای شدت بارش ایستگاه سینوپتیک هواشناسی فرودگاه رشت

آزمون‌ها	مقادیر بحرانی آزمون	مقادیر بحرانی			نتایج
		۰/۱a=	۰/۰۵a=	۰/۰۱a=	
Cusum	۱۰	۹/۵۲۹	۱۰/۶۲۲	۱۲/۷۳۱	S(۰/۱)
Rank Sum	-۰/۵۵۵	۱/۶۴۵	۱/۹۶	۲/۵۷۶	NS
Student's t	-∞	۱/۶۷۱	۲	۲/۶۶	S(۰/۰۱)

همانطور که ملاحظه می‌شود براساس آزمون کیوسام در سطح اطمینان ۹۰ درصد، میانه داده‌های سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ بزرگتر از داده‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲ می‌باشند. آزمونRank Sum تقریبا همان نتیجه آزمون کیوسام را بدست داد. نتیجه آزمون نشان می‌دهد که میانه سری داده‌های ۱۹۶۰-۲۰۰۲ کوچکتر از میانه سری داده‌های ۲۰۰۲-۲۰۲۰ می‌باشد. یعنی در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود جهش تایید می‌شود. در نهایت براساس آزمون Student's t در سطح ۹۹ درصد میانگین سری داده‌های ۱۹۶۰-۲۰۰۲ کوچکتر از میانگین سری داده-های ۲۰۰۲-۲۰۲۰ می‌باشد. می‌شود. شایان ذکر است که سالهای دیگری به عنوان سال جهش به صورت تصادفی بر نرم‌افزار تحمیل شد اما در بیشتر تداوم‌ها سال جهش سال ۲۰۰۳ بدست آمد.

تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی(IDF) برای دوره‌های دوگانه تاریخی

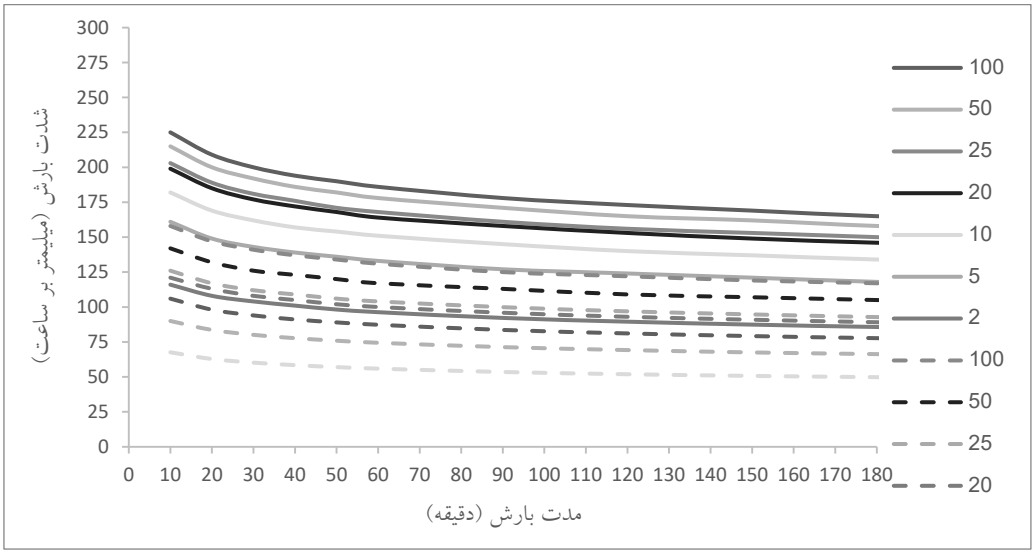
پس از تعیین جهش برای هر دو دوره قبل و بعد از جهش، با استفاده از رابطه ۱ رگبارهای ۱۰ تا ۱۸۰ دقیقه محاسبه و دسته بندی شدند. با استفاده از نرم افزار Hyfran با توزیع فراوانی منتخب GEV برمبنای آماره کای اسکور برای هر دو دوره برای تداوم های ۱۰ تا ۱۸۰ دقیقه و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی تولید شد. جداول (۵) و (۶) به ترتیب شدت‌های بدست آمده در قبل و بعد از جهش و شکل (۶) منحنی شدت-مدت-فراوانی(IDF) دو دوره را در کنار هم نشان می‌دهد.

جدول ۵- شدت بارش در دوره پیش از جهش(۱۹۶۰ تا۲۰۰۳) متاثر از تغییرات اقلیمی با استفاده از نظریه فرکتال

دوره بازگشت/مدت بارش	شدت (میلیمتر بر ساعت)						
	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۶۸	۹۰	۱۰۶	۱۲۱	۱۲۶	۱۴۲	۱۵۸
۲۰	۶۳	۸۴	۹۸	۱۱۳	۱۱۷	۱۳۲	۱۴۷
۳۰	۶۰	۸۰	۹۴	۱۰۸	۱۱۲	۱۲۶	۱۴۱
۴۰	۵۸	۷۸	۹۱	۱۰۵	۱۰۹	۱۲۳	۱۳۷
۵۰	۵۷	۷۶	۸۹	۱۰۲	۱۰۶	۱۲۰	۱۳۴
۶۰	۵۶	۷۴	۸۷	۱۰۰	۱۰۴	۱۱۷	۱۳۱
۹۰	۵۴	۷۱	۸۴	۹۶	۱۰۰	۱۱۳	۱۲۵
۱۲۰	۵۲	۶۹	۸۱	۹۳	۹۷	۱۰۹	۱۲۲
۱۵۰	۵۱	۶۸	۷۹	۹۱	۹۵	۱۰۷	۱۱۹
۱۸۰	۵۰	۶۶	۷۸	۸۹	۹۳	۱۰۵	۱۱۷

جدول ۶- شدت بارش در دوره پس از جهش(۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰) متاثر از تغییرات اقلیمی با استفاده از نظریه فرکتال

دوره بازگشت/مدت بارش	شدت (میلیمتر بر ساعت)						
	۲	۵	۱۰	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
۱۰	۱۱۶	۱۶۱	۱۸۲	۱۹۹	۲۰۳	۲۱۵	۲۲۵
۲۰	۱۰۸	۱۴۹	۱۶۹	۱۸۵	۱۸۹	۲۰۰	۲۰۹
۳۰	۱۰۴	۱۴۳	۱۶۲	۱۷۷	۱۸۱	۱۹۲	۲۰۰
۴۰	۱۰۱	۱۳۹	۱۵۷	۱۷۲	۱۷۶	۱۸۶	۱۹۴
۵۰	۹۸,۲	۱۳۶	۱۵۴	۱۶۸	۱۷۱	۱۸۲	۱۹۰
۶۰	۹۶,۳	۱۳۳	۱۵۱	۱۶۴	۱۶۸	۱۷۸	۱۸۶
۹۰	۹۲,۲	۱۲۷	۱۴۵	۱۸۵	۱۶۱	۱۷۱	۱۷۸
۱۲۰	۸۹,۵	۱۲۴	۱۴۰	۱۵۳	۱۵۶	۱۶۵	۱۷۳
۱۵۰	۸۷,۴	۱۲۱	۱۳۷	۱۴۹	۱۵۳	۱۶۲	۱۶۹
۱۸۰	۵۸,۷	۱۱۸	۱۳۴	۱۴۶	۱۵۰	۱۵۸	۱۶۵

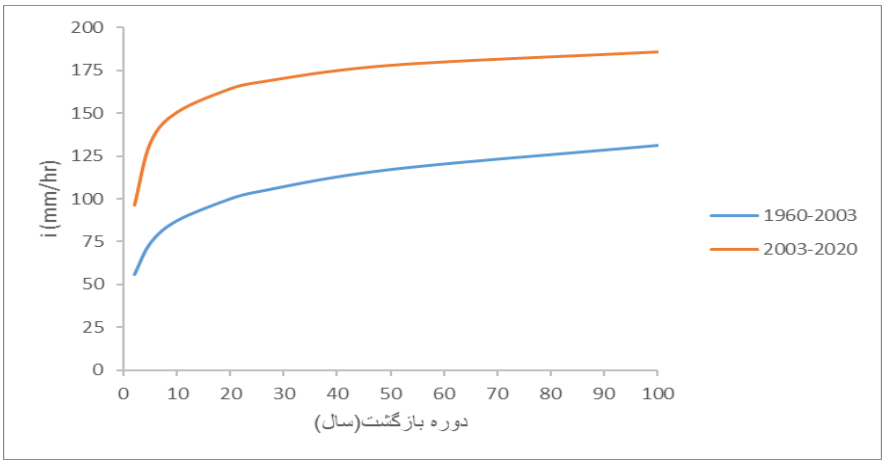


شکل ۶. نمایش شدت-مدت-فراوانی(IDF) شهر رشت در دوره های قبل و بعد از جهش اقلیمی

در جدول (۷) میزان افزایش شدت رگبار بعد از سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) برای چند تداوم به طور نمونه آورده شده است. شکل (۷) میزان اختلاف شدت رگبارهای یک ساعته بین دو دوره را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

جدول ۷- شدت رگبارهای شهر رشت قبل و بعد از سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳ میلادی)

شدت بعد از جهش	شدت قبل از جهش	d	T
۲۰۹	۱۴۷	۲۰	۱۰۰
۲۰۰	۱۳۲	۲۰	۵۰
۱۸۹	۱۱۷	۲۰	۲۵
۱۸۵	۱۱۳	۲۰	۲۰
۱۶۹	۹۸	۲۰	۱۰
۱۴۹	۸۴	۲۰	۵
۱۰۸	۶۳	۲۰	۲
۱۸۶	۱۳۱	۶۰	۱۰۰
۱۷۸	۱۱۷	۶۰	۵۰
۱۶۸	۱۰۴	۶۰	۲۵
۱۶۴	۱۰۰	۶۰	۲۰
۱۵۱	۸۷	۶۰	۱۰
۱۳۳	۷۴	۶۰	۵
۹۶	۵۶	۶۰	۲
۱۷۳	۱۲۲	۱۲۰	۱۰۰
۱۶۶	۱۰۹	۱۲۰	۵۰
۱۵۶	۹۷	۱۲۰	۲۵
۱۵۳	۹۳	۱۲۰	۲۰
۱۴۰	۸۱	۱۲۰	۱۰
۱۲۴	۶۹	۱۲۰	۵
۸۹	۵۲	۱۲۰	۲
۱۶۶	۱۱۷	۱۸۰	۱۰۰
۱۵۹	۱۰۵	۱۸۰	۵۰
۱۵۰	۹۳	۱۸۰	۲۵
۱۴۶	۸۹	۱۸۰	۲۰
۱۳۴	۷۸	۱۸۰	۱۰
۱۱۸	۶۶	۱۸۰	۵
۸۶	۵۰	۱۸۰	۲



شکل ۷. نمایش اختلاف شدت رگبارهای یک ساعته شهر رشت قبل و بعد از سال ۱۳۸۲(۲۰۰۳ میلادی)

آنچه از مقایسه ارقام ستونهای ۲ و ۳ در جدول (۶) مشهود است افزایش حدود ۴۰ درصدی برای شدت بارش در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و افزایش حدود ۷۰ درصدی برای دوره بازگشت ۲ ساله می‌باشد. در مدیریت سیلاب‌های شهری و طراحی سازه‌های انتقال و جمع‌آوری سیلاب در سطح شهر آنچه که حائز اهمیت است بارش‌های با دوره بازگشت کم می‌باشد که شاهد شدیدتر شدن آن‌ها به میزان چشمگیری هستیم. به عنوان مثال و براساس شکل (۶) مشاهده می‌شود که بارش با دوره بازگشت ۲ ساله پس از جهش نزدیک به بارش با دوره بازگشت ۲۰ ساله قبل از جهش شده است. یعنی شدتی که تا قبل از جهش ۵ درصد احتمال رخداد در هر سال را داشت پس از جهش احتمال رخداد آن به ۵۰ درصد افزایش یافته است.

نتیجه گیری

مهمترین عامل رخداد سیلاب‌های آنی در مناطق شهری شدت بارش است که امروزه یکی از مولفه‌های اصلی آب و هوایی متاثر از تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان و ایران می‌باشد. به همین منظور در این پژوهش تغییرات شدت بارش در نیم‌قرن گذشته برای شهر رشت به عنوان یک شهر پرباران که در اقلیمی نیمه‌مدیترانه‌ای واقع شده است انجام شد. یکی از علت‌های اصلی انتخاب این شهر برای مطالعه، عدم وجود گزارش در خصوص وقوع تغییر اقلیم دراین تیپ از اقلیم در سراسر جهان و ایران و از طرف دیگر توسعه یافته بودن این شهر و بزرگنمایی این واقعیت است که حتی در چنین شهر نسبتاً آباد و مرفه نیز ممکن است مشکل کمبود داده با کیفیت و مقیاس مناسب برای مطالعات مدیریت سیل شهری تبدیل به چالشی بزرگ گردد. در مطالعه حاضر به دلیل عدم دسترسی به بارش با تداوم کوتاه مدت و وجود بارش‌های با تداوم سه ساعت در طول دوره تاریخی، برای تبدیل مقیاس زمانی از نظریه فرکتال استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که روش فرکتال کمترین خطا را وارد ماهیت داده‌ها پس از تغییر مقیاس زمانی می‌کند. صحت‌سنجی داده‌های بدست آمده از روش فرکتال در مقایسه با داده‌های ثبت شده در یک دوره ۲۰ ساله نشان داد که متوسط خطای روش فرکتال در تولید بارش‌های کوتاه مدت از روی بارش‌های بلندتر(در اینجا سه ساعته) بطور متوسط در حدود ۳ درصد می‌باشد. در مطالعات نوری قیداری (۲۰۱۲)، اژدری مقدم (۲۰۱۸)، و صفری (۲۰۱۹) نیز به کاربرد این روش با درصد خطای قابل قبول برای بدست آوردن منحنی های شدت-مدت-فراوانی در شرایط عدم دسترسی مطلوب به بارش با تداوم‌های مختلف از روی بارش ۲۴ ساعته و طولانی‌تر اشاره شده است. نرم افزار TREND برای ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر روی شدت بارش نشان داد که شدت بارش‌ها از سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۳) به بعد یک جهش به سمت شدت‌های بیشتر را تجربه نموده‌اند. حبیب نژاد و شکوهی (۲۰۲۰) برای فرودگاه مهرآباد سال جهش را ۱۳۵۸ (۱۹۷۹) بدست آوردند. با داشتن سال جهش لازم است که منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی برای دو دوره پیش از جهش (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۳) و پس از جهش (۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰) بطور مجزا و مستقل بدست آید. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش شاهد شدیدتر شدن بارش‌ها در دوره دو دهه اخیر در منطقه مورد مطالعه که از اقلیمی نسبتا متعادل‌تر و با ثبات‌تر (Khosravi et al., 1392) نسبت به سایر مناطق کشور برخوردار است، می‌باشیم. نکته درخور توجه دیگر که در این پژوهش بدست آمد آن است که که شدت رگبار در بارش‌هایی با دوره بازگشت کوتاه (تا ۲۵ سال) که در استانداردهای طراحی برای سازه‌های کنترل و انتقال سیل در مناطق شهری جایگاه ویژه‌ای دارند(Public Works

Engineering Services, 2017)، افزایش بیشتری داشته است. به عنوان مثال و براساس یافته‌های این تحقیق، شدتی که تا قبل از جهش احتمال رخدادی معادل ۵ درصد در هر سال را داشت پس از جهش احتمال رخداد آن به ۵۰ درصد افزایش یافته است. به دلیل اهمیت منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در طراحی سازه‌های هیدرولیکی در مناطق شهری، بروزرسانی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی در دوره پس از تغییر اقلیم به مانند آنچه که در پژوهش حاضر صورت پذیرفته است، ضروری می‌باشد.

Reference:

Azhdary Moghaddam, M., Heravi, Z., 2018. Evaluation of IDF curve production methods by relationship based on nature of combination of fractal of precipitation. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 24(6). doi: 10.22069/jwsc.2018.11418.2582. [In Persian]

Bolouki , H., Fazeli, M., Sharifzadeh, M., 2021. Investigation of the effect of climate change under emission scenarios on intensity-duration-frequency curves of precipitation in Zahedan Synoptic Station using Fractal theory. Iranian Journal of Ecohydrology, vol. 8 pages 735-748. Doi: 10.22059/ije.2021.323710.1505. [In Persian]

Khosravi, M., Dooskamian, M., Mirmoosavi, H., Bayat, A., Beigrezaei, A., 1392. Classification of temperature and precipitation in Iran using geostatistics and cluster analysis methods. Regional Planning Publication, 4(13). https://www.sid.ir/paper/230505/fa. [In Persian]

Shokoohi, A., Habibnejad, R., ۲۰۲۰. Evaluating Intensity, Duration and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change Model (Case Study: Tehran). Iran-Water Resources Research, Volume 15, No. 4, Winter 2020 (IR-WRR). Doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.4.28.1. [In Persian]

Safavi, H.R., Dadjou. Sh., Naeimi, G., ۲۰۱۹. Extraction of Intensity-Duration-Frequency (IDF) Curves Under Climate Change, Case study: Isfahan Synoptic Station. Volume 15, No. 2, (IR-WRR). Doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.2.17.6. [In Persian]

Noori Gheidari, M.H., 2012. Extracting the Intensity - Duration – Frequency Curves with Daily precipitation Data Using Fractal Theory. Journal of Water and SoilVol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 718-726. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14939. [In Persian]

Andimuthu, R., Kandasamy, P., Mudgal, BV., Jeganathan, A., Balu, A., sankar, G.,2019. performance of urban storm drainage network under changing climate scenarios: Flood mitigation in Indian coastal city. Scientific Reports volume 9, Article number: 7783. https://www.nature.com/articles/s41598-019-43859-3.

Burlando, P., Rosso, R., 1996. Scaling and muitiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation. Journal of Hydrology 187:45-64. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03086-7.

Deidda, R., 2000. Rainfall downscaling in Space-time multifractal framework. Water Resources Research. 36: 1779-1794. https://doi.org/10.1029/2000WR900038

General Requirements and Details for the Design and Construction of Surface Water Systems, Public Works Engineering Services Surface Water Management, Vancouver, 2017. https://www.cityofvancouver.us/publicworks/page/general-requirement-standards-details-water-sanitary-sewer-stormwater

Gupta, V.K., and Waymire, E., 1990. Multiscaling properties of spatial rainfall and river flow distributions. Journal of Geophysical Research, 95 (D3): 1999-2009. https://doi.org/10.1029/JD095iD03p01999

Molnar, P., and Burlando, P., 2005. Preservation of rainfall properties in stochastic disaggregation by a simple random cascade model. Atmospheric Research, 77:137-151. DOI:10.1016/j.atmosres.2004.10.024

Mandelbrot, BB,. 1982. The fractal geometry of nature, vol 1. WH freeman New York. https://doi.org/10.2307/2323761.

Nhat, L.M., Tachikawa, Y., Sayama, T., and Takara, K., 2007. Regional rainfall intensity – duration – frequency relationships for ungauged catchments based on scaling properties. Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, 50, B: 33-43. http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/nenpo/no50/gaiyouB/b50b0p03.pdf

Akan, O., Houghtalen R.J., 2003. Urban hydrology, hydraulics and stormwater quality. John Wiley and Sons, Inc. https://books.google.ba/books?id=hmWflmO5uKcC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false.

Rodr´ıguez, R., Navarro, X., Casas, M.C., Ribalaygua, J., Russo, B., Pouget, L., Reda˜no, A., 2013. Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona (Spain). International journal of Climatology, vol,34, Pages 643-654. https://doi.org/10.1002/joc.3712

Sarhadi, A., Soulis, ED., 2017. Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate. Geophysical Research Letters. DOI:10.1002/2016GL072201

Schaefer, M.G., 1990. Regional analyses of precipitation annual maxima in Washington State. Water Resources Research 26(1):119-13. https://doi.org/10.1029/WR026i001p00119

Singh, R., Arya, D.S., Taxak, A.K., Vojinovic, Z., 2016. Potential Impact of Climate Change on Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curves in Roorkee, India, Water Resources Management volume 30, pages 4603–4616. https://doi.org/10.1007/s11269-016-1441-4

S. Westra, S., Fowler, H.J., Evans, J.P., Alexander, L.V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E.J., Lenderink, G., Roberts, N.M., 2014. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall, Rev. Geophysics. 52, 522–555, doi:10.1002/2014RG000464.