Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Extracting and Evaluating Future Intensity-Duration-Frequency Curves of the Present Century Using Dynamic Time and Space Down-Scaling (Case Study: Rasht City)

Mehdi Torabi | Alireza Shokoohi ✉
1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: me_rsc@yahoo.com
2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Feb. 26, 2023

Revised: Apr. 11, 2023

Accepted: Apr. 15, 2022

Published online: May. 22, 2023

Keywords:
Intensity-Duration-Frequency curves (IDF),
Climate Change,
Regional Climate Model,
Temporal downscaling,
Dynamic downscaling.

ABSTRACT

One of the main goals of this research is to evaluate the changes in intensity-duration-frequency (IDF) curves under the effect of climate change in the future to show the necessity of adopting new methods in urban flood management. In this research, the dynamic method and the PRECIS regional climate model were used for spatial downscaling, due to the need for high accuracy in urban areas. The data generated by general and regional circulation models are too large in terms of temporal resolution to be used in the development of IDF for short-term precipitation. In this research, a special and two-step method was used to convert daily rainfall into short-term rainfall up to a resolution of 10 minutes. In this research in the city of Rasht, as representative of the Semi-Mediterranean climate, the IDF curves for the distant future (2070-2100) were produced and were compared with the curves in the near historical period to ensure using the data belonging to the first and second decades of the 21st century, i.e. after occurring the climate jump in the region. The results showed that for storms with a short duration of 10 to 60 minutes for all return periods, the intensity of precipitation increases significantly. Therefore, it is necessary to review the intensity-duration-frequency (IDF) curves to adopt new methods in urban flood management in Rasht City.

Cite this article: Torabi, M., Shokoohi, A. R. (2023) Extracting and Evaluating Future Intensity-Duration-Frequency Curves of the Present Century Using Dynamic Time and Space Down-Scaling (Case Study: Rasht city), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (3),429-440. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356025.669460
© The Author(s).
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356025.669460

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۳ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

استخراج و ارزیابی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی قرن ۲۱ با استفاده از ریزمقیاس‌سازی زمانی و مکانی دینامیکی (مطالعه موردی: شهر رشت)

مهدی ترابی | علیرضا شکوهی ✉

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: me_rsc@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۳/۱

واژه‌های کلیدی:
منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF)،
تغییرات اقلیمی،
مدل اقلیمی منطقه‌ای،
ریزمقیاس سازی زمانی،
ریزمقیاس سازی دینامیکی.

چکیده

ارزیابی تغییرات منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) تحت اثر تغییر اقلیم در آینده برای نمایش ضرورت اتخاذ روشهای نوین در مدیریت سیلاب شهری از اهداف اصلی این تحقیق می‌باشد. در این پژوهش برای ریزمقیاس‌سازی مکانی، به علت نیاز به دقت زیاد در مناطق شهری، از روش دینامیکی و مدل تغییر اقلیم منطقه‌ای PRECIS استفاده شد. داده‌های مدل‌های گردش عمومی و منطقه‌ای جو از نظر قدرت تفکیک زمانی بزرگتر از آن هستند که بتوانند در تولید IDF برای بارش‌های کوتاه مدت بکار آیند. در این تحقیق از روشی خاص و دو مرحله‌ای برای تبدیل بارش روزانه به بارش‌های کوتاه مدت تا قدرت تفکیک ۱۰ دقیقه استفاده شد. در این تحقیق در شهر رشت، به عنوان معرف اقلیم شبه مدیترانه‌ای، منحنی‌های IDF آینده دور (۲۰۷۰ – ۲۱۰۰) تولید شده و با همین منحنی‌ها در دوره تاریخی نزدیک و پس از حصول اطمینان از جهش اقلیمی رخ داده در دهه اول و دوم قرن بیست و یکم مقایسه شدند. نتایج نشان داد که برای رگبارهای با تداوم کوتاه مدت ۱۰ الی ۶۰ دقیقه برای همه دوره‌های بازگشت‌ها شدت بارش به طور قابل توجهی افزایش پیدا می-کند. از این رو بازنگری در منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی (IDF) برای اتخاذ روش‌های نوین در مدیریت سیلاب شهری در شهر رشت ضروری است.

استناد: ترابی؛ مهدی، شکوهی؛ علیرضا، (۱۴۰۲). استخراج و ارزیابی منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی قرن ۲۱ با استفاده از ریزمقیاس‌سازی زمانی و مکانی دینامیکی (مطالعه موردی: شهر رشت)، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۳)، ۴۴۰-۴۲۹. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356025.669460

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.356025.669460

مقدمه

یکی از اثرات تغییرات اقلیمی، تغییر در شدت بارش می‌باشد که از اهمیت ویژه‌ای در طراحی زیرساخت‌های مورد نیاز برای مدیریت سیلاب در شهرها برخوردار است. با توجه به اینکه اغلب روش‌ها و مدل‌های ریاضی مطرح برای تعیین سیلاب طراحی در مناطق شهری از منحنی‌های منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) استفاده می‌کنند ارزیابی تغییرات این منحنی‌ها تحت اثر تغییرات اقلیمی چه در عصر حاضر و چه در دوره آینده از جمله نیازهای روز در دنیا قلمداد می‌گردد. در همین زمینه مطالعاتی هر چند اندک صورت گرفته است که به اثر تغییرات اقلیمی بر روی شدت بارش اشاره دارد. در پژوهش حاضر با توجه اهمیت کاربرد منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) برای طراحی زیرساخت‌های شهری در زمینه مدیریت سیلاب، اثر تغییر اقلیم از منظر تغییرات شدت بارش هم در زمان حال و هم برای آینده در شهر رشت ارزیابی شده است. بر اساس مطالعات پیشین برای مناطق مختلف جهان آنچه که مشهود است حتمی بودن تغییر شدت بارش به سمت شدت‌های بیشتر تحت اثر تغییرات اقلیمی می‌باشد ولی چند نکته وجود دارد که مطالعه بیشتر در این زمینه را الزامی می‌نماید: اولاً دقت این مطالعات در حد ریزمقیاس‌سازی مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد که برای بهره‌برداری در طراحی زیرساخت‌ها در مناطق شهری می‌تواند مورد پرسش قرار گیرد، ثانیاً روند تغییرات شدت بارش برحسب بزرگی دوره بازگشت مورد توافق پژوهشگران نیست و بالاخره این نکته را نیز باید مد نظر قرار داد که اصولاً تا کنون چنین مطالعه‌ای برای مناطق مرطوب با خصوصیات اقلیمی شبه‌مدیترانه‌ای انجام نشده است. آنچه که در بخش‌های بعد این مقاله ملاحظه خواهد شد معرفی منطقه مطالعاتی، مدل اقلیمی مورد استفاده، متدولوژی طراحی شده برای ریزمقیاس‌سازی زمانی و نهایتاً تولید منحنی‌های IDF در دوره آتی می‌باشد. در این تحقیق به علت نیاز به دقت مکانی بالا، لازم بود که از روش دینامیکی برای ریزمقیاس‌سازی مکانی استفاده شود. این روش تنها در مدلهای اقلیم منطقه‌ای قابل دستیابی است که داده‌های آنها تنها برای سناریوهای گزارش چهارم IPCC در دسترس قرار دارد. برای داشتن تصویری از بزرگ یا کوچک شدن بارش‌های کوتاه مدت در آینده لازم بود که IDF دوره تاریخی نیز بدست آید. در همین راستا لازم است که امکان وقوع تغییر اقلیمی در عصر حاضر بررسی گردد. این امر به مفهوم بررسی امکان بروز جهش در داده‌های تاریخی تا زمان انجام تحقیق می‌باشد که در صورت تأیید، می‌تواند شرایط مرزی مدل تغییر اقلیم را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. در بخش‌های بعد این موارد مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتنه و در نهایت نتایج بدست آمده برای منطقه مطالعاتی که از معدود مطالعات انجام شده در اقلیم شبه مدیترانه‌ای بطور عام و جنوب دریای مازندران (Caspian Sea) بطور خاص می‌باشد ارائه می‌گردد.

پیشینه پژوهش

در ارتباط با تغییر اقلیم و اثرات آن بر مقادیر پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی مقالات متعدد و تقریباً جامعی ارائه شده است ولی تعداد تحقیقاتی که بر روی خصوصیات این پارامترها که در مورد خاص این تحقیق، شدت بارش می‌باشد از تعداد و تنوع کمتری برخوردار است . برخی از مقالات مرتبط با اهداف مورد نظر در تحقیق حاضر که در دهه اخیر منتشر شده‌اند در اینجا ارائه می‌گردند. رودریگز 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 سال حداقل ۴ درصد افزایش در شدت بارش روزانه در آینده مورد انتظار می‌باشد. ییلماز و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که در ملبورن استرالیا تحت تاثیر تغییرات اقلیمی منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) تغییر معنادار داشته‌اند و رخداد سیل‌های ناگهانی در بارش‌های با مقیاس ساعتی افزایش یافته است. وسترا و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود برای تغییرات منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) در آینده، به افزایش طوفان‌های کوتاه مدت منجر به شدت بارش‌های کوتاه مدت اشاره کردند. 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. سرحدی و همکاران (۲۰۱۷) بیان نمودند که در شرایط محیطی متغیر برای حفظ قابلیت اطمینان در پروژه‌های کنترل سیلاب و برای طراحی زیرساخت‌ها، منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی باید با زمان تغییر کنند. نیل و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند در شهر کربلا تحت اثر تغییر اقلیم، شدت بارش در سال ۲۰۶۷ به بیشترین میزان خود می‌رسد که این افزایش شدت بارش معادل ۴ برابر شدت طراحی زیرساخت‌های شهری کربلا برای جمع آوری سیلاب می‌باشد. 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. این دو محقق نتیجه‌گیری کردند که 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. حبیب نژاد و

شکوهی (۱۳۹۷) وجود روند و جهش در بارش‌های کوتاه مدت مشاهداتی در شهر تهران (ایستگاه سینوپتیک مهرآباد) را تایید کردند و بیان نمودند که برای دوره آینده (۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰) در یک دوره بازگشت معین شدت بارش افزایش قابل توجهی خواهد داشت. بلوکی و همکاران (۱۴۰۰) منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی بارش برای ایستگاه سینوپتیک زاهدان و دوره آماری (۲۰۲۱– ۲۰۵۵) را با استفاده از مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 و با ریزمقیاس سازی آماری با استفاده از مدل LARS-WG استخراج نمودند. با مقایسه منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی دو دوره پیش‌بینی و دوره پایه (۱۹۸۲–۲۰۱۹) که با بکارگیری نظریه فرکتال استخراج شد دریافتند که میانگین بیشینه شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف و برای دوره بازگشت‌های مختلف تحت سناریوی RCP4.5 حدود ۲۳ درصد افزایش و تحت سناریوی RCP8.5 در حدود ۱۱ درصد کاهش می‌یابد. مارتل و همکاران (۲۰۲۱) با ارزیابی نتایج داده‌های مشاهداتی و مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) و همینطور مدل‌های اقلیم منطقه‌ای (RCMs) نشان دادند هم در دوره کنونی و هم در دوره آینده شدت بارش تحت اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی بیشتر می‌شود. نکته قابل توجه در مطالعات ایشان آن است که تغییرات اقلیمی بر روی تداوم‌های کوتاه مدت و دوره بازگشت‌های بزرگتر بیشتر اثر گذار می‌باشد. ترابی و شکوهی (۱۴۰۱) در شرایط کمبود داده بارش با تداوم‌های مختلف با استفاده از نظریه فرکتال منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) را برای شهر رشت طی دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ و با استفاده از داده‌های بارش سه ساعته تولید نمودند. نتایج ایشان نشان داد جهش اقلیمی در سال ۲۰۰۳ تحت اثر گرمایش جهانی رخ داده است و شدت بارش‌ها تحت اثر تغییرات اقلیمی در دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ برای همه تداوم‌های ۱۰ تا ۱۸۰ دقیقه و همه دوره‌های بازگشت افزایش یافته است. براین اساس دو محقق مزبور به این نتیجه رسیدند که لازم است منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) جدید برای طراحی سازه‌های مورد استفاده در مدیریت سیلاب شهری تولید گردند.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر شهر رشت مورد مطالعه قرار گرفته است. موقعیت شهر رشت در شکل ۱ و ایستگاه‌های هواشناسی آن که شامل دو ایستگاه سینوپتیک فرودگاه و ایستگاه کشاورزی می‌باشند در جدول ۱ آورده شده است.

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

در تحقیق حاضر به دلیل جامع‌تر بودن دوره ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک فرودگاه رشت (۱۹۶۰ تا ۲۰۲۱) نسبت به ایستگاه کشاورزی(۲۰۰۵ تا ۲۰۲۱) از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه رشت استفاده شده است. همچنین برای دوره آینده (۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰) از خروجی مدل اقلیم منطقه‌ای PRECIS تحت سناریوهای A2 و B2 که با ریزمقیاس سازی دینامیکی و قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر بدست آمده، استفاده شده است.

سناریوهای اقلیمی

سناریوهای SRES توسط IPCC در سال ۲۰۰۰ منتشر شد. سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای برای ارائه تصویری از تغییر اقلیم آینده کره زمین استفاده می‌گردند. سناریوهای SRES در گزارش ارزیابی سوم ۱(TAR) و چهارم (AR4) IPCC که به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۷ چاپ شدند مورد استفاده قرار گرفتند. این سناریوها به منظور بهبود سناریوهای IS92 که در سال ۱۹۹۵ در گزارش قبلی مورد استفاده بودند، طراحی گردیدند. سناریوهای SRES سناریوهای پایه (مرجع) می‌باشند و آن بدین معنی است که نمی‌توان از آن‌ها برای هرگونه اقدامی برای محدود کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای در حال یا آینده استفاده کرد. در جدول ۲ به طور خلاصه سناریوهای SRES توضیح داده شده‌اند. در پژوهش حاضر انتخاب سناریوی A2 بدان علت است که عملاً معادل سناریوی RCP8.5 از گزارش پنجم IPCC بوده و برای ترسیم شرایط بد کره زمین از نظر استفاده نامناسب از سوخت‌های فسیلی، همراه با افزایش جمعیت و گرمای بیش از حد کره زمین طراحی شده است. به همین ترتیب انتخاب سناریوی B2 بدان علت است که معادل سناریوی RCP6 از گزارش پنجم IPCC بوده و برای ترسیم شرایط بهتر کره زمین (بهترین شرایط محتمل در منطقه خاورمیانه) نسبت به شرایط موجود با استفاده متعادل از تکنولوژی‌های همگام با محیط زیست طراحی شده است (Rogelj et al, 2012).

جدول ۲. خلاصه‌ای از سناریوهای SRES

سناریوهای SRES	تاکید بیشتر بر جنبه‌های اقتصادی	تاکید بیشتر بر جنبه‌های زیست محیطی
دنیای همگرا	A1 رشد اقتصادی سریع (A1F1، A1T و A1B) افزایش دما (۱/۴ تا ۶/۴ درجه)	B1 توسعه پایدار زیست محیطی افزایش دما (۱/۱ تا ۲/۹ درجه)
دنیای واگرا	A2 توسعه اقتصادی منطقه محور افزایش دما (۲ تا ۵/۴ درجه)	B2 توسعه پایدار زیست محیطی محلی افزایش دما (۱/۴ تا ۳/۸ درجه)

مدل PRECIS

مدل اقلیم منطقه‌ای PRECIS دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر در سطح خشکی و ۵۰ کیلومتر در سطح اقیانوس‌ها است که با ۹ لایه در جو (از سطح زمین تا ۳۰ کیلومتری در لایه استراتوسفر) و ۴ لایه در عمق خاک در داخل شبکه مدل HadAM3H که خود مولفه جوی مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 مرکز هادلی می‌باشد، وضعیت آینده پارامترهای اقلیمی منجمله بارش را شبیه‌سازی می‌نماید. شایان ذکر است که از این مدل تنها مجوز دسترسی به خروجی‌های سناریوهای SRES به مؤلفین این مقاله داده شده است. این مدل با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالا عملاً از روش دینامیکی درمقابل روش‌های آماری رگرسیونی و یا توابع چگالی احتمال داده‌های تاریخی، برای ریزمقیاس‌سازی مکانی استفاده می‌نماید. در پژوهش حاضر نتایج حاصل از ریزمقیاس‌سازی دینامیکی مدل PRECIS تحت سناریوهای اقلیمی A2 و B2 در مقیاس زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر مورد استفاده قرار گرفته است.

ارزیابی داده‌های بارش کوتاه مدت تاریخی

تعیین شرایط مرزی زمانی و مکانی برای مدل‌های تغییر اقلیم از مهمترین مسائل مرتبط با صحت پیش‌بینی پارامتر اقلیمی مورد نظر در آینده می‌باشد. از دهه هفتم قرن بیستم که بروز تغییر اقلیم به اطلاع همگان رسید و پس از شدت گرفتن گرمای کره زمین از اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست ویکم، برای هر تحقیق علمی در هنگام کار با داده‌های اقلیمی این دغدغه مطرح بوده است که آیا در مقطعی از عصر حاضر "تغییر اقلیم همراه با جهش یکی از پارامترهای اقلیمی" اتفاق افتاده است یا خیر؟ اهمیت این موضوع در این است که در صورت بروز جهش اقلیمی، تعریف شرایط مرزی که با استفاده از داده‌های تاریخی انجام می‌شود تمام دوره تاریخی را در برنگرفته و سیستم

1. Third Assessment Report

باید بر پایه شرایط تاریخی کنونی و بعد از بروز جهش تنظیم شود. نظیر آنچه که حبیب‌نژاد و شکوهی (۱۳۹۷) برای تهران و وقوع جهش اقلیمی در سال ۱۹۷۸ بدست آوردند، ترابی و شکوهی (۱۴۰۱) با بررسی داده‌های تاریخی بارش در یک دوره طولانی مدت از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ در ایستگاه سینوپتیک رشت توانستند نشان دهند که بارش‌های کوتاه مدت در این شهر در سال ۲۰۰۳ دچار جهش شده و دوره تاریخی موجود به دو دوره تاریخی دور و نزدیک (دوره تاریخی کنونی) قابل تفکیک می‌باشد. این دو محقق با استفاده از داده‌های بارش تاریخی در دوره نزدیک با تداوم سه ساعته، توانستند بارش‌های با تداوم‌های کوچکتر از بارش سه ساعته (۱۰، ۲۰ ، ۳۰، ۴۰،۵۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه) را با استفاده از نظریه فرکتال بدست آورده و منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) شهر رشت را تولید نمایند. در مقاله حاضر برای تعریف شرایط مرزی و ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل بارش‌های مدل PRECIS در آینده از IDFهای بدست آمده توسط این دو محقق استفاده به عمل آمد.

تولید بارش‌های کوتاه مدت از روی بارش‌های ۳ ساعته با استفاده از روش فرکتال

همانطور که اشاره شد در این تحقیق برای تولید بارش‌های کوتاه مدت از بارش‌های بلند مدت ازروش فرکتال به صورتی که در مقاله ترابی و شکوهی(۱۴۰۱) ارائه شد استفاده به عمل آمده است. به طور خلاصه در این روش ابتدا رفتار فرکتالی داده‌ها ارزیابی می‌گردد تا مشخص گردد که داده‌ها منوفرکتال یا مالتی فرکتال هستند. در مورد داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک رشت مشخص شد که رفتار داده‌های بارش منو فرکتال است. در شرایط منو فرکتال بودن با تغییر مقیاس، ماهیت و اطلاعات داده‌ها حفظ گردیده می‌گردد. در این حالت با استفاده از رابطه $I_d = (\frac{d}{D})^n I_D$ تبدیل زمانی انجام می‌پذیرد و تداوم‌های کوچکتر از بارش سه ساعته تولید می‌گردند. در رابطه مورد استفاده D تداوم سه ساعته، d تداوم دلخواه کوچکتر از ۳ ساعت، I_D شدت رگبار در تداوم ۳ ساعته و n به اصطلاح توان مقیاس نامیده می‌شود که از ترسیم گشتاورهای مرتبه یک تا پنج داده‌های بارش با تداوم‌های مختلف در مقابل زمان تداوم بارش و محاسبه شیب خط حاصله بدست می‌آید.

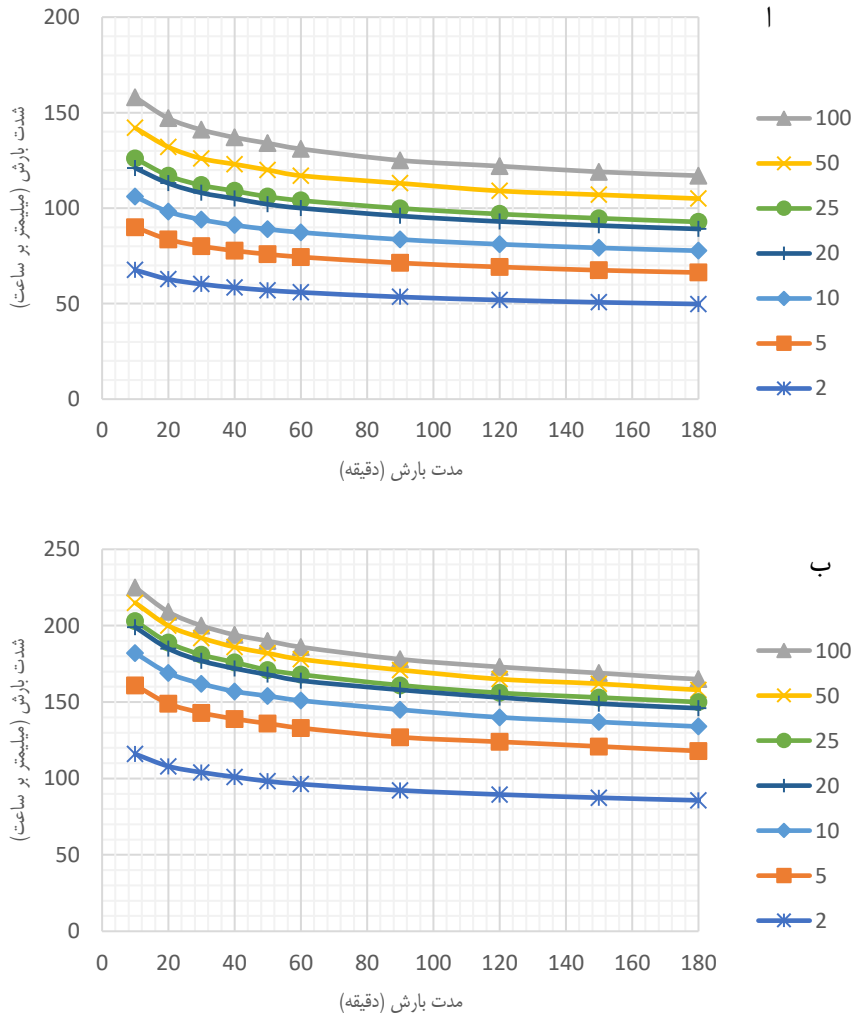
ریزمقیاس سازی زمانی و تولید منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی آینده

ریز مقیاس‌سازی زمانی طراحی شده در تحقیق حاضر یک فرآیند دومرحله‌ای می‌باشد. دومرحله‌ای شدن الگوریتم توسعه داده شده ناشی از ماهیت داده‌های در دسترس می‌باشد. در وهله اول با توجه به زمان تداوم ۳ ساعته بارش‌ها که از ایستگاه‌های سینوپتیک در دسترس قرار می‌گیرد یکبار باید ریزمقیاس‌سازی از ۳ ساعت به دوره‌های تداوم کوچکتر تا ۱۰ دقیقه صورت گیرد و در وهله دوم با توجه به مقیاس روزانه داده‌های RCM باید ضریب تبدیل بارش ۲۴ ساعته به سه ساعته بدست آورده شود. در این پژوهش برای تبدیل بارش ۳ ساعته به بارش های با تداوم کوتاه‌تر روش بدست آمده در تحقیق ترابی و شکوهی (۱۴۰۱) مورد پذیرش قرار گرفته و ضرایب ریزمقیاس‌سازی زمانی تولید شدند. در این مرحله به عنوان مثال مقدار بارش ۱۰ دقیقه‌ای هر رخداد بارش (تولید شده از روش فراکتال) به مقدار بارش سه ساعته همان رخداد بارش تقسیم شد. اینکار برای همه وقایع بارش تکرار و در نهایت از همه نسبت‌های ۱۰ دقیقه به سه ساعته‌ی بدست آمده میانگین گرفته شد. این میانگین به عنوان ضریب تبدیل بارش سه ساعته به ۱۰ دقیقه‌ای در نظر گرفته شد و به اختصار ضریب MT2 نام گذاری گردید. برای تداوم‌های دیگر بارش نیز همین مسیر طی شد. همانطور که گفته شد PRECIS بارش را در مقیاس زمانی روزانه (۲۴ ساعته) بدست می‌دهد در حالیکه برای تولید منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) به داده‌های بارش با تداوم‌های کوچکتر نیاز است. لذا ضریب تبدیل ۲۴ ساعته به سه ساعته با عنوان MT1 بدست آورده شده و در نهایت ریزمقیاس‌سازی زمانی از ضرب ضرایب تبدیل زمانی MT1*MT2 صورت گرفت. در واقع ابتدا MT1 که میانگین تمام نسبت‌های بارش سه ساعته به بارش ۲۴ ساعته هر رخداد بارشی می‌باشد برای تبدیل تداوم ۲۴ ساعته داده‌های PRECIS به سه ساعته اعمال گردید و سپس ضرایب تبدیل بارش سه ساعته به ۱۰، ۲۰ ، ۳۰، ۴۰،۵۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه اعمال شد. بدین‌ترتیب داده‌های بارش با تداوم‌های کوتاه مدت برای دوره‌ای تاریخی کنونی (پس از جهش اقلیمی) و آینده تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 برای تولید منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) آماده گردید. در ادامه منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) با استفاده از نرم افزار Hyfran با توزیع فراوانی منتخب GEV برمبنای آماره کای اسکور برای هر دو دوره برای تداوم‌های ۱۰ تا ۱۸۰ دقیقه و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تولید شدند. برای آنکه بتوان تصویر واضح‌تری از آینده سیلاب‌های شهری تحت تأثیر شرایط تغییراقلیم بدست آورد، منحنی‌های IDF دوره تاریخی دور یعنی قبل از جهش نیز محاسبه گردید. در نهایت منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) در دوره‌های تاریخی دور، تاریخی کنونی (پس از جهش اقلیمی) و آینده انجام شد و مقایسه شدت بارش با محاسبه درصد اختلاف بین دوره‌ها انجام پذیرفت.

یافته‌های پژوهش

تولید و مقایسه منحنی‌های شدت- مدت-فراوانی تاریخی قبل و بعد از جهش اقلیمی

ارزیابی تغییرات شدت بارش طی دوره آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰ نشان داد که تحت اثر تغییرات اقلیمی یک جهش اقلیمی در سال ۲۰۰۳ رخ داده است که نتیجه آن افزایش شدت بارش در تداوم‌های مختلف و برای همه دوره‌های بازگشت می‌باشد. همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود در دوره کنونی (پس از جهش اقلیمی؛۲۰۰۴ تا ۲۰۲۰) نسبت به دوره پیش از جهش اقلیمی (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۳) شدت بارش برای دوره بازگشت‌های کوچکتر در حدود ۷۵ درصد و برای دوره بازگشت‌های بزرگتر در حدود ۴۲ درصد افزایش یافته است (ترابی و شکوهی، ۱۴۰۱).



شکل۲. الف) منحنی شدت-مدت-فراوانی دوره تاریخی ۱۹۶۰-۲۰۰۳. ب) منحنی شدت-مدت-فراوانی دوره کنونی ۲۰۰۴-۲۰۲۰

تولید منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی آینده

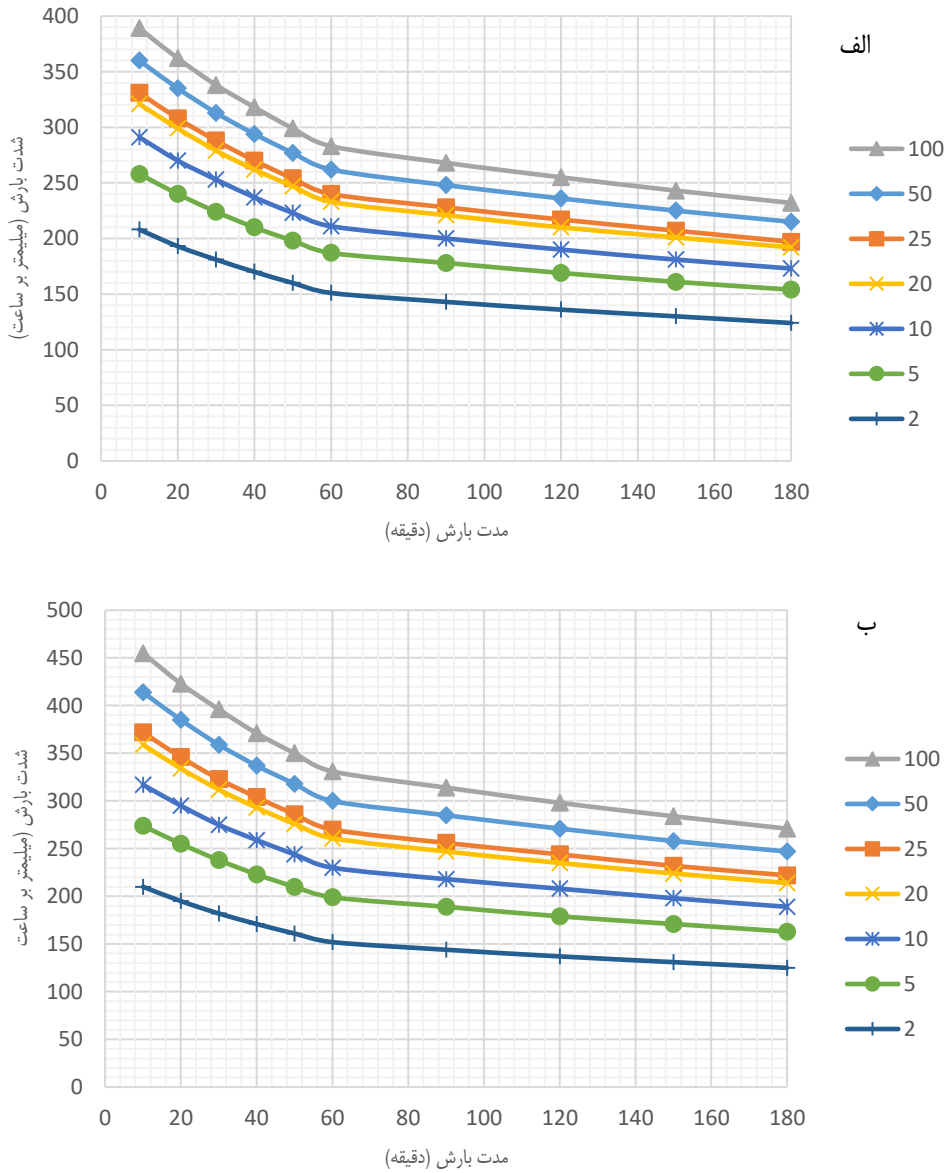
پس از دسته بندی داده‌های بارش PRECIS استخراج شده برای منطقه طرح، مقدار بیشینه بارش از ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ برای هر سال محاسبه گردید. سپس از آنجا که داده‌های خروجی از PRECIS روزانه هستند، برای ریزمقیاس سازی زمانی ضرایب MT1 و MT2 محاسبه گردید. ضریب MT1 که ضریب تبدیل ۲۴ ساعته به سه ساعته می‌باشد، حاصل میانگین نسبت تمام بارش‌های سه ساعته به بارش‌های ۲۴ ساعته همان رخداد بارش در دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ است که برابر با مقدار (MT1=۰/۰۹) بدست آمد. مقادیر بیشینه PRECIS برای هر سال در این مقدار ضرب شد و بارش سه ساعته متناظر محاسبه گردید. برای بارش‌های ۱۰، ۲۰ ، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰،

۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه، ضرایب MT2 (جدول ۳) در بارش سه ساعته ضرب شدند و مقادیر بارش ریز مقیاس شده برای سال‌های ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ محاسبه شدند و با تقسیم بر دوره زمانی متناظر شدت بیشینه هر تداوم بدست آمد.

جدول ۳. ضرایب MT2 برای تبدیل بارش ۳ ساعته به تداوم‌های کوچکتر

زمان تداوم(دقیقه)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰
ضریب **MT2**	۰/۰۱۸۶	۰/۰۲	۰/۰۲۱۴	۰/۰۲۲۸	۰/۰۲۴۲	۰/۰۲۵۶	۰/۰۲۷	۰/۰۲۸۴	۰/۰۲۹۸	۰/۰۳۱۲

در ادامه بیشینه‌های هر تداوم، به عنوان مثال ۱۰ دقیقه‌ای، برای ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ استخراج شدند و سپس با استفاده از نرم افزار Hyfran با توزیع فراوانی منتخب GEV (برمبنای آماره کای اسکوئر) برای برای هر دو سناریوی A2 و B2 در تداوم‌های ۱۰ تا ۱۸۰ دقیقه و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) تولید شدند. شکل (۳) منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) سناریوهای A2 و B2 برای شهر رشت در دوره آینده را نشان می‌دهد.

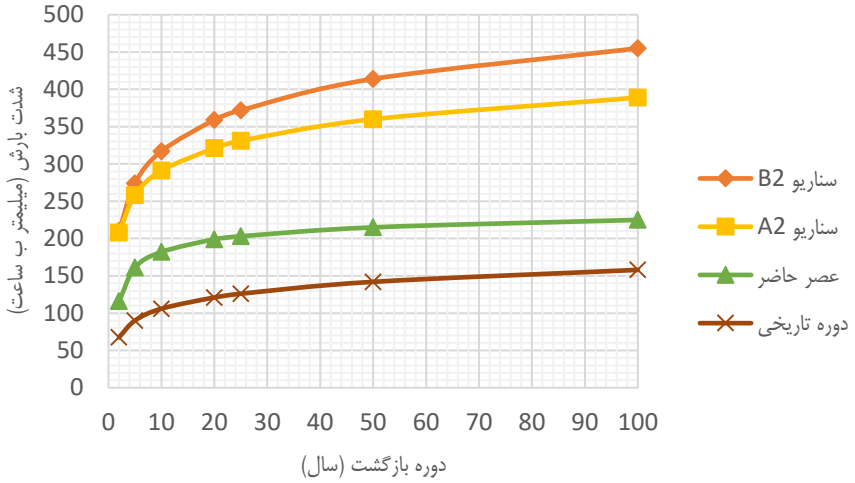


شکل ۳. الف) منحنی شدت–مدت–فراوانی تحت سناریوی A2 . ب)منحنی شدت–مدت–فراوانی تحت سناریوی B2

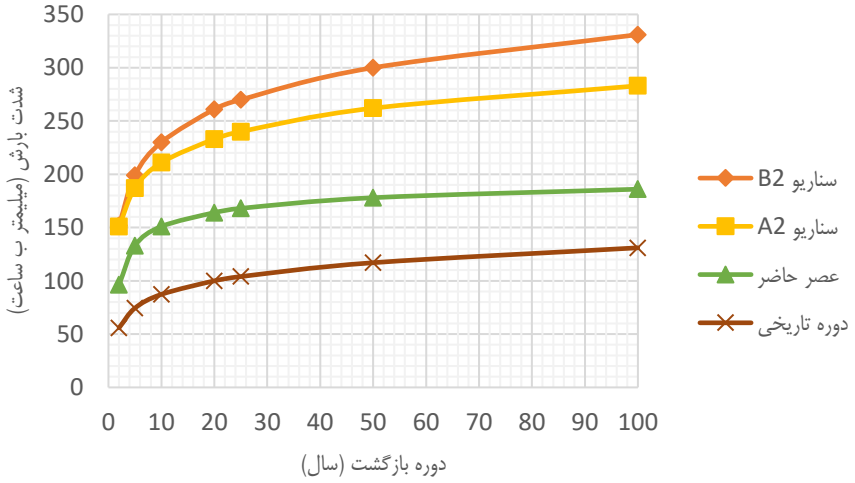
بحث

مقایسه شدت بارش در دوره تاریخی و آینده

در شکل‌های (۴) و(۵) مقایسه شدت بارش ۱۰ و ۶۰ دقیقه‌ای تحت سناریوهای A2، B2 و دوره تاریخی کنونی (پس از جهش اقلیمی؛۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰) و دوره تاریخی دور (پیش از جهش اقلیمی؛۱۹۶۰ تا ۲۰۰۳) ارائه گردیده است.



شکل ٤. مقایسه شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای تحت سناریوهای A2، B2 و عصر حاضر و دوره تاریخی



شکل ٥. مقایسه شدت بارش۶۰ دقیقه‌ای تحت سناریوهای A2، B2 و عصر حاضر و دوره تاریخی

همانطور که ملاحظه می‌گردد در مقایسه با دوره پس از جهش اقلیمی (دوره تاریخی کنونی)، شدت بارش‌ها برای دوره بازگشت‌های مختلف در همه تداوم‌ها به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین سناریوی B2 که نسبت به سناریو A2 مرطوب‌تر محسوب می‌گردد، شدت بارش بیشتری را در دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر نشان می‌دهد. به عنوان مثال شدت بارش در سناریوی B2 نسبت به سناریوی A2 برای دوره بازگشت‌های ۱۰۰ ساله، ۲۰ ساله و ۲ ساله به ترتیب ۱۶، ۱۲ و ۰,۷۵ درصد بیشتر می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده تحت سناریوی B2 نسبت به دوره تاریخی کنونی، در شدت‌های با تداوم ۱۰ الی ۶۰ دقیقه‌ای به طور میانگین افزایش ۷۵ درصدی و برای تداوم‌های ۹۰ الی ۱۸۰ دقیقه‌ای افزایش ۵۵ درصدی رخ داده است. در سناریوی A2 نیز برای تداوم‌های ۱۰ الی ۶۰ دقیقه‌ای و برای تداوم‌های ۹۰ الی ۱۸۰ دقیقه‌ای به ترتیب ۵۸ درصد و ۴۰ درصد افزایش در شدت بارش مشاهده شده است. همچنین مقایسه دوره پیش از جهش با دوره آینده برای دوره بازگشت‌های مختلف و برای همه تداوم‌ها نشان داد به طور میانگین افزایش ۱۷۰ درصدی تحت سناریوی B2 و افزایش ۱۴۵ درصدی تحت سناریوی A2 در شدت بارش رخ خواهد داد.

ارزیابی یافته‌ها

ارزیابی‌های به عمل آمده نشان داد که شدت بارش‌های کوتاه مدت تاریخی در شهر رشت دچار جهشی اقلیمی شده است. بطور مشخص می‌توان گفت که شدت بارش در شهر رشت به دو دوره قبل از جهش (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۲) و بعد از جهش (۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰)، تقسیم‌بندی می‌شود. براساس این یافته لازم است که برای افزایش اطمینان از عملکرد مدل در پیش‌بینی بارش در آینده، شرایط مرزی معرفی شده به آن، تنها براساس بارش‌های دوره تاریخی کنونی باشد و از داده‌های پیش از آن صرفنظر به عمل آید. وجود جهش اقلیمی در داده‌های بارش ایران در۵۰ سال اخیر در تحقیقات ترابی و شکوهی (۱۴۰۱) و حبیب‌نژاد و شکوهی (۱۳۹۷) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. دیگر نکته شاخص و بسیار حائز اهمیت دراین مطالعه در خصوص اثر تغییرات اقلیمی بر شدت بارش در دوره‌های تاریخی دور، دوره تاریخی کنونی (عصر حاضر) و آینده آن است که بیشترین افزایش در شدت بارش برای تداوم‌های کمتر از ۱ ساعت و دوره‌های بازگشت کم تا ۵ سال رخ خواهد داد. علت اهمیت این موضوع در آن است که اساس مدیریت سیلاب شهری همین نوع رگبارها می‌باشند. در این ارتباط مطالعات حبیب‌نژاد و شکوهی (۱۳۹۷)، بلوکی و همکاران (۱۴۰۰)، ییلماز و همکاران (۲۰۱۴) با پژوهش حاضر همسو می‌باشند، در حالی که مطالعات میرحسینی و همکاران (۲۰۱۳) و مارتل و همکاران (۲۰۲۱) برای دوره آینده افزایش بیشتر شدت بارش را در دوره بازگشت‌های بزرگتر و تداوم‌های بیشتر از ۱ ساعت گزارش نموده‌اند.

در ارتباط با اهمیت بارش‌های کوتاه مدت تا ۱ ساعت و با دوره بازگشت‌های کمتر از ۵ سال که براساس این تحقیق در اثر پدیده تغییر اقلیم در مقایسه با سایر زمان‌های تداوم و دوره‌های بازگشت به میزان قابل توجهی در معرض تغییر قرار می‌گیرد می‌توان گفت که طراحی سازه‌های کنترل سیل در مقیاس محلات و خیابان‌هایی که مساحت قابل زهکشی آنها تا ۲۰۰ هکتار می‌باشد بلااستثنا با دوره بازگشت تا ۵ سال صورت می‌پذیرد. این استاندارد برای تعیین ظرفیت مطمئن آبروها بکار برده شده و اساس طراحی تمام تأسیسات مربوطه منجمله زیرگذر خیابان‌ها می‌باشد (Brown et al., 1996).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در پژوهش حاضر نتایج خروجی مدل اقلیم منطقه‌ای PRECIS با مقیاس روزانه و قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 برای استخراج منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) دوره آینده (۲۰۷۰ تا۲۱۰۰) در شهر رشت به کار گرفته شد. در این پژوهش از یک روش ابداعی دو مرحله‌ای برای ریزمقیاس سازی زمانی که در آن ابتدا بارش ۲۴ ساعته به سه ساعته و سپس از سه ساعته به تداوم‌های کوچکتر ریزمقیاس می‌شود، استفاده گردید. حاصل این کار تولید منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) متأثر از تغییرات اقلیمی برای دوره آینده در شهر رشت برای تداوم‌های (۱۰، ۲۰ ، ۳۰، ۴۰،۵۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه) و دوره بازگشت‌های (۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰) بود. ارزیابی‌های به عمل آمده نشان داد که شدت بارش‌های کوتاه مدت تاریخی در شهر رشت دچار جهشی اقلیمی شده است. براین اساس برای اعمال صحیح شرایط مرزی فقط بارش‌های کوتاه مدت بعد از جهش (۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰) یعنی دوره تاریخی کنونی برای پیش بینی به مدل معرفی گردیدند. نتیجه مهم دیگر حاصل از این مطالعه آن بود که هم در عصر حاضر و هم در دوره آینده شدت بارش به خصوص در تداوم‌های کوتاه مدت کمتر از یک ساعت تحت اثر تغییر اقلیم افزایش چشمگیری داشته است. با توجه با اینکه این نوع رگبارها بیشترین کاربرد را در طراحی سازه‌های کنترل و هدایت سیلاب شهری دارند بازنگری و بروزرسانی منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) ضروری است. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که مقایسه منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF) بدست آمده در این پژوهش هم در دوره کنونی (پس از جهش اقلیمی؛۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰) و هم برای دوره آینده (۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰) حاکی از آن هستند که زیرساخت‌های مدیریتی سیلاب شهری مانند شبکه جمع آوری آب‌های سطحی شهر رشت نیازمند اصلاح می‌باشند. اگر این تحقیق برای منطقه مورد مطالعه هر چند سال یک بار بروز رسانی شود و نتایج حاصله تایید گردد و در عین حال در صورت دست یافتن به نتایج مشابه در دیگر مناطق و اقلیم‌ها می‌توان گفت که لازم است استانداردهای مورد استفاده در طراحی و اجرای سازه‌های کنترل، انحراف و انتقال سیلاب‌های شهری مورد بازنگری قرار گرفته و یا اینکه از نو نوشته شوند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

بلوکی، هدا؛ فاضلی، مهدی و شریف‌زاده، مهدی (۱۴۰۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم تحت سناریوهای انتشار بر منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی بارش

در ایستگاه همدید زاهدان با استفاده از تئوری فرکتال. *اکوهیدرولوژی*، ۸ (۳)، ۷۳۵-۷۴۷.

حبیب نژاد، رویا و شکوهی، علیرضا (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات شدت،مدت و دوره بازگشت بارش‌های کوتاه مدت با استفاده از مدل تغییراقلیم منطقه ای(مطالعه موردی تهران). *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۵ (۴)، ۴۱۲-۴۲۴.

ترابی، مهدی و شکوهی، علیرضا (پذیرش شده برای چاپ) ۱۴۰۱. بررسی تغییرات شدت بارش‌های کوتاه مدت در نیم قرن اخیر در شرایط کمبود داده (مطالعه موردی: شهر رشت). *حفاظت منابع آب و خاک*.

REFERENCES

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.

Brown, S.A., Stein, S.M., & Warner, J.C. (1996). Urban drainage design manual. *Hydraulic Engineering Circular No. 22*, Federal Highway Administration, Washington D.C.

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, 8 (3)*, 735-748. doi: 10.22059/ije.2021.323710.1505. (In Persian)

Burlando, P., & Rosso, R. (1996). Scaling and multiscaling 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.

Habibnejad, R., & Shokoohi, A. (2019). Evaluating Intensity, Duration, and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change Model (Case Study: Tehran). *Iran-Water Resources Research, 15(4)*, 412-424. doi: 20.1001.1.17352347.1398.15.4.28.1. (In Persian)

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

Martel, J.L., Brissette, P., Lucas-Picher, F., , Troin, P., & Arsenault, R. (2021). Climate Change and Rainfall Intensity–Duration–Frequency Curves: Overview of Science and Guidelines for Adaptation. *Journal of Hydrologic Engineering, 26(10):1-18*. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002122.

Mirhosseini, G., Srivastava, P., & Stefanova, L. (2013). The impact of climate change on rainfall Intensity–Duration–Frequency (IDF) curves in Alabama. *Reg Environ Change. 1-9*: doi: 10.1007/s10113-012-0375-5.

Nile, B.K., Hassan, W.H., & Alshama, A.G. (2019). Analysis of the Effect of Climate Change on Rainfall Intensity and Expected Flooding by Using ANN and SWMM Programs. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(5): 974-984.

Rodriguez, 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, 34(3):* 643-654. https://doi.org/10.1002/joc.3712

Rogelj, J., Meinshausen, M., & Knutti, R. (2012). Global warming under old and new scenarios using IPCC climate sensitivity range estimates. *Nature Climate Change*, 2: 248-253. doi: 10.1038/NCLIMATE1385

Sarhadi, A., & Soulis, ED. (2017). Time-varying extreme rainfall intensity-duration-frequency curves in a changing climate. *Geophysical Research Letters*, 2454-2463:10.1002/2016GL072201

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 30:* 4603–4616. https://doi.org/10.1007/s11269-016-1441-4

Torabi, M., & Shokoohi, A. 2023(Accepted for print). Investigating Changes in the Intensity of Short-Term Rainfall in the Last Half Century in the Context of Data Scarcity (Case Study: Rasht City). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. (In Persian)

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.

Yilmaz, A.G., Hossein, I., & Perera, B.J.C. (2014). Effect of climate change and variability on extreme rainfall intensity–frequency–duration relationships: a case study of Melbourne. *Hydrology and Earth System Science, 18*, 4065-4076, doi:10.5194/hess-18-4065-2014.

Extracting and Evaluating Future Intensity-Duration-Frequency Curves of the Present Century Using Dynamic Time and Space Down-Scaling (Case Study: Rasht City)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

One of the main goals of this research is to evaluate the changes in intensity-duration-frequency (IDF) curves under the effect of climate change in the future to show the necessity of adopting new methods in urban flood management. There are two major drawbacks to generating future IDF curves using atmospheric general circulation models. The precipitation values obtained from the mentioned models, on the one hand, have very little spatial accuracy for use in urban areas, and on the other hand, in terms of temporal resolution, they are much larger than the concentration-time used in the design of urban flood control and conveyance structures. In this research, an RCM model is employed instead of GCM models for raising spatial accuracy, and a new time-downscaling algorithm is introduced to generate short-duration rainfalls from 24-hour rainfalls.

Materials and Methods

In this research, in the city of Rasht, as representative of the Semi-Mediterranean climate, a dynamic method through using the PRECIS regional climate change model was employed for spatial downscaling due to the need for high accuracy in urban areas. The PRECIS model data, like many other climate change models, is presented daily (24 hours) and the synoptic station data are available every 3 hours. Meanwhile, durations shorter than 10 minutes to 180 minutes are needed to produce IDF curves. Therefore, in this research, a special two-step method was used to convert daily rainfall into short-duration rainfall up to 10 minutes resolution. Frequency analysis is used for the historical/future short-duration rainfalls to evaluate the extremes of different return periods.

Results

The PRECIS model's 24-hour rainfall conversion factor to 3-hour rainfall was first obtained, and then this rainfall was multiplied by the second factor, which is used to convert three-hour rainfall to less-duration rainfall. One of the important issues for introducing appropriate boundary conditions to climate change models is whether to use the entire existing historical period or not. In this research, the IDF curves for the far future (2070-2100) were produced and with the same curves in the recent historical period (2003-2020), after ensuring the climatic jump that occurred in the year 2003, were compared. The results showed that for rainfalls with a short duration of 10 to 60 minutes, the intensity of rainfall increases significantly for all return periods.

Conclusion

one main point that has been emphasized in this research concerning predicting future events is to define a correct boundary condition, which in turn needs to examine the possibility of climate change in the historical period. If there is evidence of jumping in the historical data, it should be divided into two periods before and after the jump year, and the period after the occurrence of a change in the desired parameter, which is precipitation here, is used to produce down-scaling coefficients. The special result obtained in this research is although the intensity of rainfall has increased in all durations due to climate change, rainfall with a duration of less than 1 hour and a return period of up to 5 years will increase significantly. Considering that these intensity of rainfalls with the mentioned return periods are of particular importance in the design standard of urban flood control structures, revision of intensity-duration-frequency (IDF) curves to adopt new methods in urban flood management in all urban areas including the city of Rasht is essential.

Keywords: **Intensity-Duration-Frequency curves (IDF), Climate Change, Regional Climate Model, Temporal downscaling, Dynamic downscaling.**