بررسی جامع رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ مشهد

بیژن قهرمان[1]

چکیده

رگبار شدید مورخ ۱۳۷۱/۳/۱٦ در شهر مشهد باعث وقوع سیلاب در سطح شهر و سه منطقه مسکونی نجفی، چهارچشمه و نودره شد. در جریان سیل ایجاد شده از این رگبار، که در نوع خود بی‌نظیر بود، ۲۵ نفر جان خود را از دست دادند و خسارات مالی فراوانی وارد گردید. سه ایستگاه ثبات فرودگاه، دانشکده کشاورزی و سازمان آب در داخل شهر مشهد، و یک ایستگاه ثبات سد طرق در حومه این شهر توزیع زمانی رگبار فوق را ثبت کرده‌اند. اطلاعات مربوط به این بارندگی در ۲۵ ایستگاه غیر ثبات دیگر نیز جمع‌آوری گردید.

نتایج تحلیل این بارندگی نشان داد که اولاً، بیشترین شدت بارش مزبور در یک فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در ایستگاه دانشکده کشاورزی ۱۱۲ میلی‌متر در ساعت بوده است. ثانیاً، الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه‌های ثبات مذکور تقریباً یکسان است، ثالثاً، این الگو با دیگر الگوهای باران‌های ثبت شده گذشته تقریباً مشابهت دارد. رابعاً، مقایسه حداکثر شدت بارش در یک فاصلهٔ زمانی ۱۵ دقیقه‌ای با منحنی‌های شدت– مدت – فراوانی ایستگاه‌های ثبات، گویای دوره بازگشتی برابر ۳۸۰ سال می‌باشد. بررسی انجام شده مشخص ساخت که گرچه باران با شدت زیاد نازل شده است، ولی تنها می‌توان آن را یک مشاهده استثنایی دانست.

واژه‌های کلیدی: *رگبار، مشهد، ایران، توزیع زمانی باران، توزیع مکانی باران*

مقدمه

در حال حاضر فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی ناشی از افزونی جمعیت کره زمین موجب متصاعد شدن بیش از حد گازهای گلخانه‌ای شده است. گرچه اثر گلخانه‌ای به منظور حفظ دمای زمین یک پدیده حیاتی است (٤)، شناخته‌ترین تأثیر مستقیم ازدیاد این گازها افزایش دمای زمین بوده است. واکنش سیستم اقلیم در برابر افزایش دما، آثار ناخوشایندی بر محیط زیست و انسان تحمیل می‌کند. از جمله این آثار می‌توان به نوسانات نامنظم در بارندگی (برای اصفهان گزارش کاویانی، ١٦؛ برای استان فارس گزارش رحیم‌زاده و رستمی‌فر، ٦؛ برای هندوستان

۱. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

گزارش ریزوی، ۳۵؛ برای بنگلادش گزارش الامیاه، ۱۹ و برای پکن گزارش آنجیان، ۲۰)، افزایش خشکسالی‌ها و وقوع رگبارها و سیل‌های شدید (برای ایران گزارش رستم افشار و فهمی، ۷؛ برای بنگلادش گزارش الامیاه، ۱۹؛ برای هندوستان گزارش دومروس، ۲٤ و برای غرب آمریکا گزارش چانگ‌نون و هاف، ۲۳) و نیز ذوب شدن تدریجی یخ‌های قطبی (۳۲، ۳۳ و ۳٤) اشاره کرد. به رغم وجود این شواهد مستدل در نامنظمی‌های اخیر، در حال حاضر نمی‌توان در مورد تغییر اقلیم یک نتیجه کلی و قطعی گرفت (۵، ۱۱ و ۳۰).

یکی از این نامنظمی‌ها در بارندگی ممکن است رگبار شدید مورخ ۱۳۷۱/۳/۱٦ در شهر مشهد باشد. این رگبار باعث وقوع سیلاب در سطح شهر و سه منطقه مسکونی نجفی، چهارچشمه و نودره گردید. مرکز این رگبار در ارتفاعات جنوب غربی مشهد بوده است. در جریان سیل ایجاد شده از این رگبار که در نوع خود بی‌نظیر بود، ۲۵ نفر جان خود را از دست دادند و ۱۰۰ واحد مسکونی تخریب گردید که در دامنه کوه‌ها و مناطق شیب‌دار و حاشیه رودخانه‌های قدیمی قرار داشت، و زمین‌های این مناطق ظرف سال‌های اخیر توسط سازمان زمین شهری به مردم واگذار گردیده بود. پل ارتباطی راه‌آهن مشهد- تهران آسیب دید و تردد قطارها متوقف شد، و بنا به اظهار شهردار مشهد ۲۰۰ مورد آب‌افتادگی در مناطق مسکونی قدیمی شهر گزارش شده است (۲).

الگوی توزیع مکانی این رگبار قبلاً بررسی شده بود (۱۲). از ویژگی‌های مهم یک رگبار، دوره بازگشت آن، به‌ویژه در دوره زمانی متناظر با شدیدترین شدت بارندگی، تغییرات دوره بازگشت در سال‌های مختلف آماری مربوط به این مدت تداوم، و نیز مقایسه الگوی توزیع زمانی آن با سایر رگبارهای تاریخی ثبت شده در منطقه مورد مطالعه است. این مقاله به موارد فوق می‌پردازد. هم‌چنین، در بارهٔ احتمال تکمیل سری زمانی حداکثر شدت رگبار از روی مقادیر حداکثر باران روزانه بحث خواهد شد.

مواد و روش‌ها

اساس انجام این بررسی، آمار و اطلاعات بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی و برگه‌های باران‌نگاری در ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات است. هم‌چنین، موقعیت نسبی قرارگیری ایستگاه‌های فوق به منظور بررسی تغییر مکانی بارش مورد نیاز است. زمان آغاز و پایان باران و تقویم آماربرداری، برای یک کاسه کردن آمار بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی، که در نظارت سازمان‌های مختلف می‌باشد، ضروری است.

به منظور تهیه منحنی بدون بعد بارش، بایستی مقدار تجمعی بارندگی در فواصل زمانی مختلف استخراج گردد. سپس زمان بدون بعد به صورت زمان واقعی از آغاز رگبار تقسیم بر کل مدت بارندگی، و ارتفاع بارش بدون بعد نیز به صورت حاصل تقسیم بارش تجمعی در هر زمان خاص بر کل ارتفاع بارندگی در نظر گرفته شود. مقایسه چنین منحنی‌هایی، شباهت داشتن یا نداشتن یک واقعه بارش خاص در ایستگاه‌های مختلف، و یا بارش‌های باریده شده قبلی با یک بارندگی مفروض را تعیین می‌کند. پس از تقسیم مدت تداوم بارش به چهار بخش مساوی، مقدار بارش در هر بخش معلوم می‌شود. بر حسب این که مقدار بارش در کدام بخش (مثلا i) حداکثر باشد، بارش را چارک i امی می‌گویند (۲٦).

توابع توزیع احتمال مختلفی را می‌توان روی یک سری هیدرولوژیک برازش داد (۲۲ و ۲۹). غالباً از دو روش آزمون کای‌دو و کولموگروف – اسمیرنوف برای انتخاب بهترین تابع توزیع احتمال استفاده می‌کنند (۲۵). پژوهندگان مختلفی از تابع توزیع احتمال گامبل برای توضیح روند یک سری از مشاهدات هیدرولوژیک استفاده کرده‌اند (برای یک مرور سریع نگاه کنید به: سوروک و گایگر، ۳٦)، ولی ضریب چولگی و کشیدگی در این تابع توزیع احتمال منحصر به فرد و به ترتیب برابر با ۱/۱۳ و ۵/٤ می‌باشد (۲۹). اشکر و بوبی (۲۱) و بوبی و اشکر (۲۲) برای نشان دادن انعطاف توابع توزیع مختلف در مقایسه با یکدیگر، از دیاگرام نسبت گشتاور (MRD) استفاده کردند. این دیاگرام (صفحه ۱٦۵ در بوبی و اشکر، ۲۲) دو محور متعامد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

دارد، که محور افقی آن (B1) توان دوم ضریب چولگی و محور عمودی آن (B2) بیانگر ضریب کشیدگی است. هر توزیع احتمالی که پارامتر (ضریب شکل)های بیشتری داشته باشد، انعطاف بیشتری در تطابق با داده‌های مشاهده‌ای خواهد داشت، و فضای بیشتری را در دیاگرام MRD اشغال می‌کند. به این ترتیب، تابع توزیع احتمال گامبل، که بدون ضریب شکل است، یک *نقطه*، و تابع توزیع احتمال گاما، که دو ضریب شکل دارد، یک *ناحیه* را روی دیاگرام MRD اشغال می‌کند.

نتایج و بحث

آمار بارندگی

بیست و نه ایستگاه باران‌سنجی در سطح شهر مشهد و حومه مقدار باران را در تاریخ ۱۶ خرداد ۱۳۷۱ ثبت کرده‌اند. از این میان، ۱۰ ایستگاه زیر نظر شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان و بقیه زیر نظر سازمان هواشناسی کل کشور قرار دارند. جدول ۱ این آمار را پس از تبیین تقویم مشترک نشان می‌دهد. درستی این داده‌ها پیش‌تر در قهرمان (۱۳) گزارش شده است. داده‌های این جدول تغییرات بارندگی بین صفر تا ۵۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. دلیل چنین تفاوتی به طور کلی مربوط به این است که این بارندگی از تشدید ناپایداری سیستمی در نتیجه صعود هوا به کوه‌های بینالود ناشی شده، و در نتیجه سلول طوفانی تنها به صورت محلی رشد و گسترش پیدا کرده است. معمولاً تک سلول‌های طوفانی ناشی از گسترش ابرهای کومولونیمبوس، محدوده‌ای با شعاع در حدود ۱۵ تا ۳۰ کیلومتر را پوشش می‌دهند، که قاعدتاً بیشترین بارندگی به طرف مرکز طوفان گرایش دارد. این نکته ثبت باران‌های صفر در پاره‌ای از ایستگاه‌های انتخابی را توجیه می‌کند.

ثبت ارتفاع بارش روزانه در ایستگاه‌های غیر سینوپتیک مربوط به مجموع دو قرائت در ساعت‌های ٦ و ۳۰ دقیقه و ۱۸ و ۳۰ دقیقه است، ولی ثبت ارتفاع بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک مربوط به مجموع هشت قرائت به فواصل زمانی سه ساعت، از ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه بامداد تا ساعت ۳ و ۳۰ دقیقه بامداد روز بعد (ساعت ٢٤ گرینویچ) می‌باشد. بنابراین، بین ساعت گزارش بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک و غیر سینوپتیک تفاوت وجود دارد، که در انجام این پژوهش منطقه‌ای باید به آن توجه شود. بر این اساس، ارتفاع باران باریده شده در روز ١٦ خرداد ۱۳۷۱ (برابر با ٦ ژوئن ۱۹۹۲) بین ساعت ۳ و ۳۰ بامداد تا ۳ و ۳۰ بامداد روز بعد، که از کاغذ باران‌سنج ثبات ایستگاه فرودگاه قابل استخراج است، تنها ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. در حالی که مقدار گزارش شده سازمان هواشناسی (مکاتبات هواشناسی منطقه خراسان و شهرداری مشهد) ١٦/٥ میلی‌متر است. در نتیجه، باران‌سنج ثبات ایستگاه فرودگاه موفق به ثبت کامل توزیع زمانی رگبار مورد بررسی نشده است. قهرمان (۱۳) برای تبدیل بارش در روز ١٦ خرداد این ایستگاه از تقویم ۳ و ۳۰ به تقویم ٦ و۳۰، به منظور هماهنگی با ۲۸ ایستگاه دیگر، مقدار باران نازله در فواصل سه ساعته گرینویچ را برای سه روز ۱۵، ١٦ و ۱۷ خرداد ۱۳۷۱ تجزیه و تحلیل، و مقدار بارش ۲۲/۵ میلی‌متر را به عنوان بارش در روز ١٦ خرداد قابل تطبیق با دیگر ایستگاه‌های غیر سینوپتیک گزارش کرده است. با این حال، به دلیل ثبت نشدن کامل بارش نمی‌توان مدت بارش باران را محاسبه کرد.

در میان ایستگاه‌های موجود، چهار ایستگاه فرودگاه مشهد، دانشکده کشاورزی، اداره آب مشهد، و نیز ایستگاه سد طرق دارای دستگاه باران‌سنج ثبات هستند (جدول ۱) و نحوه توزیع زمانی رگبار اخیر را ثبت کرده‌اند. بیشترین شدت رگبار ثبت شده در یک دوره زمانی ۱۵ دقیقه‌ای، برابر ۱۱۲ میلی‌متر در ساعت در کانون اصلی بارش واقع در ایستگاه دانشکده کشاورزی بوده است (۱۳). در حالی که بیشترین شدت رگبار در ایستگاه‌های سازمان آب و سد طرق به ترتیب ٤٤/٦ و ۱۹/۲ میلی‌متر در ساعت محاسبه شده است (۱۳).

بررسی تداوم رگبار در ایستگاه‌های ثبات

بررسی باران‌نمودهای باران‌سنج ثبات بارش ٧١/٣/١٦ در ایستگاه‌های تحت بررسی، مشخص می‌سازد که رگبار مورد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

جدول ۱. آمار بارندگی ۷۱/۳/۱۶ در ایستگاه‌های موجود[1] بر اساس تقویم مشترک

ردیف	ایستگاه	باران (mm)	ردیف	ایستگاه	باران (mm)
۱	آب و برق	٤۱	۱٦	مشهد (فرودگاه)[2]	۲۲/۵*
۲	شهر طوس	۱۹/۱	۱۷	سنگ بست	۹
۳	شهرک طالقانی	۳٤/٦	۱۸	سیلو گندم	۵۳
٤	طرق کرطیان	۳۳	۱۹	میامی لنگرک	۳/۵
۵	غار مغان	۱۱/۵	۲۰	النگ اسدی	۱۲
٦	فارمد	۰	۲۱	اندرخ	۱۰
۷	امام تقی	۱۷/۵	۲۲	جاغرق	۲۷
۸	امیرآباد مشهد	۷	۲۳	حصار	۳۳
۹	پارک وحدت	٤۸/۳	۲٤	دولت‌آباد	۸
۱۰	دام‌پروری عباس‌آباد	۲۸	۲۵	سازمان آب[2]	۳۱/۷
۱۱	دانشکده کشاورزی[2]	۵۰	۲٦	سد طرق[2]	۲٤/۱
۱۲	دهنه اخلمد	۰	۲۷	سرآسیاب زشک	۱۰/۵
۱۳	کنویس	۰	۲۸	فریزی	٦
۱٤	گلشن (شهر جدید)	۳۳/۵	۲۹	موشنگ	٦
۱۵	گلمکان	٤/۳			

۱. نوزده ردیف اول زیر نظر هواشناسی خراسان، و بقیه زیر نظر آب منطقه‌ای خراسان می‌باشند.
۲. ایستگاه مجهز به باران‌سنج ثبات
* : عدد اصلاح شده است

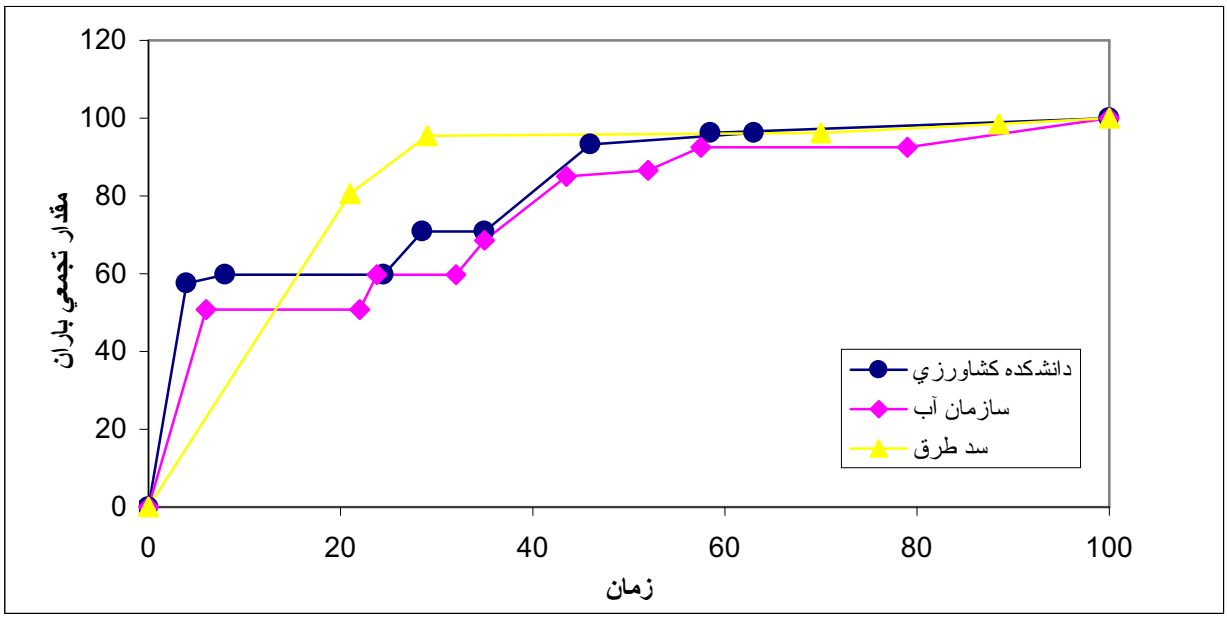
بحث تقریباً در یک زمان در دو ایستگاه دانشکده کشاورزی و سازمان آب آغاز شده، و شکل کلی آنها نیز با تقریب خوبی مشابه یکدیگر است (برای توضیح بیشتر به قهرمان (۱۲) مراجعه کنید). باران در سد طرق با تأخیر زمانی حدود ۳/۵ ساعته به ثبت رسیده، و گرچه شکل کلی آن نیز مشابه دو ایستگاه دیگر است، ولی پایان آن مقداری تفاوت را نشان می‌دهد، و در کل نیز مقدار کمتری باریده است. زمان آغاز رگبار در دانشکده کشاورزی ۳:۱٦، در سازمان آب ۲:۳٦ و در سد طرق ۵:۳۰ می‌باشد.

به منظور بررسی الگوی بارش بدون بعد، درصد مقدار باران در درصدهای زمانی از آغاز بارش برای هر ایستگاه محاسبه شد (شکل ۱). شکل ۱ نشان می‌دهد که گرچه تشابه توزیع باران در سد طرق با توزیع‌های دو ایستگاه دیگر کمتر است، ولی تمامی باران‌نگارها باران چارک اولی را تولید کرده‌اند. رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ را می‌توان جزو الگوی بارش نوع I دانست (۲٦).

مقایسه الگوی بارندگی ۷۱/۳/۱٦ با باران‌های تاریخی دیگر

به دلیل ثبت نشدن کامل رگبار در ایستگاه فرودگاه، بررسی‌ها در سه ایستگاه دیگر متمرکز شد. ایستگاه دانشکده کشاورزی از سال ۱۳٥٤ دارای آمار است (۱۰). از این ایستگاه ۳۹ رگبار در ماه‌های مختلف سال انتخاب گردید. مشخصات این رگبارها شامل تاریخ بارش، ساعت آغاز و پایان، مقدار باران و درصد زمان برای ریزش ۵۰ درصد اولیه مقدار بارندگی قبلاً درگزارش قهرمان (۱۳) ارائه شده است. رگبارهای انتخابی در ماه‌های مختلف سال دسته‌بندی، و منحنی‌های تجمعی بدون بعد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]



شکل ۱. منحنی‌های تجمعی بدون بعد بارندگی ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ در سه ایستگاه ثبات

بارش‌های فوق استخراج گردید. ایستگاه سازمان آب در سال ۱۳٤٥ تأسیس شده (۱۸)، ولی تنها اندکی از رگبارهای آن را امور مطالعات منابع آب شرکت سهامی آب خراسان تجزیه و تحلیل و در فواصل زمانی ۱٥ دقیقه‌ای گزارش کرده است (۱). با این وجود، کیفیت استخراج باران‌ها نازل است. ایستگاه سد طرق در سال ۱۳٦۷ تأسیس شده، و تنها شمار کمی از رگبارهای آن تجزیه و تحلیل و گزارش شده است (۱).

منحنی‌های تجمعی بدون بعد کلیه رگبارهای انتخابی مشخص ساخت که بارش‌های ماه‌های اردیبهشت و خرداد عمدتاً چارک اولی‌اند، در حالی که بارش‌های ماه‌های مهر تا اسفند عمدتاً از توزیع زمانی یکسانی برخوردارند، و به سختی می توان آنها را به چارک خاصی نسبت داد. بارش‌های ماه فروردین مخلوطی از این دو نوع غالب است (۱۳).

دوره بازگشت بارندگی ۷۱/۳/۱٦ مشهد

مدت تداوم بارندگی ۱٦ خرداد در ایستگاه‌های دانشکده کشاورزی، سازمان آب و سد طرق، که موفق به ثبت کامل آن شده بودند، به ترتیب ٥:٤٥، ۷:۳۰ و ٦:۱٥ ساعت می‌باشد. شدت میانگین بارندگی ایستگاه‌ها به ترتیب ۸/٥۲، ٤/۲۲ و ۳/۸ میلی‌متر در ساعت است. ولی شدیدترین بخش ریزش باران تنها در ۱٥ دقیقه رخ داده است. شدت حداکثر باران در این مدت ۱۱۲، ۳٦/۱۲ و ٤۱/۲۸ میلی‌متر در ساعت در ایستگاه‌های دانشکده کشاورزی، سازمان آب و سد طرق محاسبه گردید. تعیین دوره بازگشت بارندگی فوق از مقایسه این اعداد با دسته منحنی‌های شدت – مدت – تناوب بارندگی (IDF) ۱٥ دقیقه‌ای ایستگاه‌های مربوط میسر خواهد بود:

الف) ایستگاه باران‌سنج ثبات سد طرق را سازمان آب منطقه‌ای خراسان در سال ۱۳٦۷ تأسیس کرده است. بنابراین، طول دوره آماری آن برای استخراج منحنی‌های شدت – مدت – تناوب بارندگی کافی نیست.

ب) ایستگاه سازمان آب که در گزارش‌های آب منطقه‌ای خراسان به نام «محل اداره مشهد» نامیده می‌شود، در سال ۱۳٤٥ تأسیس شده است. گرچه این ایستگاه تا به حال سه مرتبه تغییر مکان داده و در خلال سال‌های ۱۳٥٤ تا پایان ۱۳٦۳ دارای آمار نمی‌باشد، ولی وزیری (۱۸) آمار قابل استخراج آن را تا سال ۱۳٦٦ تجزیه و تحلیل کرده است. نام‌برده منحنی‌های شدت – مدت – تناوب رگبارهای این ایستگاه را بدون ارائه هیچ دلیل، تنها بر اساس تابع توزیع احتمال گامبل، ارزیابی کرده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

مقایسه حداکثر شدت باران ۱۵ دقیقه‌ای ۷۱/۳/۱۶ مشهد در این ایستگاه (۳۶/۱۲ میلی‌متر در ساعت) با دسته منحنی‌های شدت – مدت – فراوانی این ایستگاه مشخص می‌سازد که دوره بازگشت تقریبی باران فوق برابر ۲/۹ سال است.

ج) ایستگاه باران‌سنج ثبات دانشکده کشاورزی از سال ۱۳۵٤ دارای آمار است (۱۰). علیزاده (۱۰) رگبارهای این ایستگاه را در خلال سال‌های ۱۳۵٤–۱۳۷۱ تجزیه و تحلیل، و دسته منحنی‌های شدت – مدت – تناوب آن را پس از انجام آزمون‌های آماری کای‌دو و کولموگروف- اسمیرنوف به کمک تابع احتمال گامبل، ارزیابی و محاسبه کرده است. گرچه مدت تداوم ۱۵ دقیقه‌ای در پژوهش علیزاده (۱۰) بررسی نشده است، ولی وجود مدت‌های تداوم ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای امکان برآورد شدت‌های ۱۵ دقیقه‌ای را فراهم می‌سازد. بر اساس آماری که نام‌برده ارائه کرده دوره بازگشت شدیدترین بخش بارندگی ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ مشهد برابر ۳۸۰ سال به دست می‌آید.

د) ایستگاه سینوپتیک فرودگاه مشهد از سال ۱۳٤۸ (۱۹٦۹ میلادی) مجهز به باران‌سنج ثبات شده است. نخستین تجزیه و تحلیل مدون را در آمار این ایستگاه وزیری (۱۷) انجام داده است. وی شدت‌های حداکثر باران در تداوم‌های مختلف را برای محدوده سال‌های ۱۳٤۹ الی ۱۳٦۹ (۱۹۷۰–۱۹۸۱ میلادی) استخراج و توابع توزیع احتمال متداول را روی آنها برازش داده است. اخیراً سازمان هواشناسی کشور اوراق باران‌نگارهای ایران را به صورت رایانه‌ای تفسیر و مقادیر حداکثر سالیانه شدت رگبارها را در تداوم‌های مختلف برای هر یک از سال‌های آماری استخراج و گزارش کرده است (۳). برای قابل مقایسه بودن با تجزیه و تحلیل‌های قبلی، تابع توزیع احتمال گامبل با اعداد مربوط به هر مدت تداوم تطبیق داده شد. گرچه قهرمان و رضایی پژند (۱٤) توزیع مکانی بارش ۷۱/۳/۱٦ را بدون احتساب بارندگی فرودگاه رسم کرده‌اند، ولی قهرمان (۱۳) نشان داد که با منظور کردن مقدار دقیق بارندگی در این ایستگاه، روند خطوط هم‌بارش فوق تغییری نمی‌کند؛ بنابراین نتیجه گرفت که بارش نازل شده در ایستگاه فرودگاه مشهد در تطابق کامل با بارش ایستگاه‌های مجاور خود است. پس می‌توان نتیجه گرفت که منحنی تجمعی بدون بعد این ایستگاه نیز باید در تطابق با سه ایستگاه ثبات دیگر در منطقه باشد. از این رو، حداکثر شدت باران ۱۵ دقیقه‌ای ایستگاه سینوپتیک فرودگاه برابر ۵۰/٤ میلی‌متر در ساعت برآورد می‌شود. مقایسه این مقدار با دسته منحنی‌های IDF این ایستگاه، نشانهٔ دوره بازگشت ۲٦ سال می‌باشد.

قهرمان و همکاران (۱۵) آمار رگبارهای ایستگاه سینوپتیک مشهد را بررسی کرده، و با استناد به دیاگرام MRD نشان دادند که تابع توزیع گامای ۲ پارامتری تطابق بهتری با سری داده‌های باران مشهد (از ۱۰ دقیقه تا ۹ ساعت) دارد. با استفاده از این تابع توزیع، حداکثر باران ۱۵ دقیقه‌ای با شدت ۵۰/٤ میلی‌متر در ساعت (برآورد شده)، دوره بازگشتی در حدود ۲۵ سال خواهد داشت.

در توجیه اعداد به دست آمده با دامنه‌ای بین ۲/۹ سال تا ۳۸۰ سال، بیان چند نکته اساسی ضروری است:

۱. طول دوره آماری سه ایستگاه ثبات تحت بررسی نه تنها یکسان، بلکه مشترک نیز نیست. میانگین اقلیم ایستگاه فرودگاه مشهد بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه نیمه‌خشک و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن خشک سرد است. به طور کلی، از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه خشک، تغییرپذیری شدید مکانی و زمانی بارندگی و به ویژه رگبارهای آن است (۲۷). با تغییر طول دوره آماری، نه تنها پارامترهای یک تابع توزیع احتمال، بلکه نوع تابع توزیع نیز ممکن است دستخوش تغییر گردد (۸، ۲۸ و ۳۱). این دو نکته، خطر استفاده از سری‌های با طول زمان یادداشت برداری کوتاه را، که منطبق بر حداقل یک دوره ترسالی و یک دوره خشک‌سالی کامل نباشد، یادآوری می‌کند. مسئله تغییر احتمالی اقلیم موجب پیچیدگی بیشتر در نتیجه‌گیری‌ها می‌شود.

۲. وزیری (۱۸) در تجزیه و تحلیل آمار بارندگی ایستگاه سازمان آب، محدوده سال‌های ۱۳۵٤–۱۳٦۳ را «بدون گراف و غیر قابل تکمیل شدن به وسیلهٔ روش نسبت‌ها» عنوان کرده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

است. ولی در گزارش نام‌برده مشخص نیست که آیا آمار این سال‌ها با روش دیگری تکمیل شده است یا خیر. تکمیل نکردن این کمبود آماری باعث خدشه‌دار شدن تطبیق یک تابع توزیع احتمال می‌گردد، در حالی که تکمیل کردن این کمبود به وسیلهٔ روش‌های مشکوک و غیر اصولی سبب کاستن دقت برآوردها می‌شود. هم‌چنین، معلوم نیست که با سه مرتبه تغییر مکان این ایستگاه چگونه برخورد شده است.

۳. به رغم این که رگبارهای ایستگاه دانشکده کشاورزی در محدوده سال‌های ۱۳٥٤-۱۳۷۱ در تهیه منحنی‌های IDF این ایستگاه به کار رفته است (۱۰)، ولی استفاده از رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ در سری آمارهای مورد تجزیه و تحلیل به طور صریح مشخص نیست. دلیل اصلی این گفته، دوره بازگشت زیاد آن (۳۸۰ سال) در مقایسه با طول دوره آماری این ایستگاه (۱۸ سال) است. علیزاده (۱۰) هیچ اشاره‌ای به احتمال وجود یک مشاهده استثنایی در سری داده‌های این ایستگاه نکرده است.

٤. حداکثر شدت باران ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای در ایستگاه فرودگاه مربوط به سال ۱۳۷۱ (۱۹۹۲)، ۱۳/۲ و ۱۲/۹ میلی‌متر در ساعت است (۳). گرچه به دلیل ثبت نشدن کامل رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ در ایستگاه فرودگاه مشهد (۱۳)، و پذیرفتن این مطلب که این رگبار شدیدترین رگبار در سال ۱۹۹۲ میلادی (۱۳۷۱ شمسی) بوده، عدد تقریبی ٥۰/٤ میلی‌متر در ساعت برای حداکثر شدت باران ۱٥ دقیقه‌ای این ایستگاه به دست آمده است. ولی این مقدار با اعداد گزارش شده ۱۳/۲ و ۱۲/۹ میلی‌متر (۳) برای تداوم ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای هماهنگی ندارد.

٥. پارامترهای B1 و B2 برای سری ۲٥ ساله باران ۱٥ دقیقه‌ای ایستگاه فرودگاه مشهد به ترتیب ۱/۰۸ و ۳/٦٤ است. مقایسه این مشخصات با محل‌های تئوریک توابع توزیع احتمال مختلف در دیاگرام MRD نشان می‌دهد که انتخاب تابع توزیع احتمال گامبل برای این سری داده‌ها مناسب نمی‌باشد (۱۳). به همین دلیل، ممکن است که تابع توزیع احتمال گامبل در ایستگاه‌های دانشکده کشاورزی (۱۰) و سازمان آب (۱۸) نیز قابل قبول نباشد. به علت در دسترس نبودن آمار شدت بارندگی در تداوم‌های مختلف و برای سال‌های آماری در این ایستگاه‌ها، نمی‌توان اظهار نظر قطعی کرد.

٦. تطبیق یک تابع توزیع احتمال بر سری زمانی رگبارهای حداکثر ۱٥ دقیقه‌ای مشهد مستلزم این نکته است که کلیه رگبارهای نازله در سال‌های مختلف به طور دقیق ثبت شده باشد، به طوری که انتخاب حداکثر شدت باران در مدت تداوم مشخص و در سال‌های مختلف به درستی صورت پذیرد. شریفان (۹) نشان داد که کلیه رگبارهای ایستگاه فرودگاه مشهد به ثبت نرسیده، و یا گزارش نشده است. از این رو، به دلیل عدم امکان بازسازی آن‌ها نمی‌توان اقدام مناسبی کرد.

با جمع‌بندی مطالب یاد شده، در حال حاضر استفاده از رگبار دقیق ثبت شده در ایستگاه دانشکده کشاورزی و منحنی‌های IDF این ایستگاه بر اساس تابع توزیع احتمال گامبل (۱۰)، برای برآورد دوره بازگشت بارندگی ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ (۳۸۰ سال)، منطقی‌ترین اقدام به شمار می‌آید.

نوسانات دوره بازگشت باران‌های کوتاه مدت در ایستگاه فرودگاه مشهد

تنها سری زمانی در دسترس حداکثرهای سالیانه شدت باران‌های کوتاه مدت مشهد مربوط به ایستگاه فرودگاه است (۳). تابع توزیع احتمال گامای ۲ پارامتری روی سری زمانی حداکثرهای سالیانه شدت باران‌های ۱۰ دقیقه‌ای این ایستگاه تطبیق داده شد (برای رعایت اختصار اطلاعات نشان داده نشده است)، و دوره‌های بازگشت متناظر هر سال استخراج گردید. شکل ۲ نوسانات دوره بازگشت رگبارهای ۱۰ دقیقه‌ای را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. ثبت نشدن کامل تمامی رگبارها (۹) باعث می‌شود که سری زمانی تشکیل داده شده معنای واقعی سری «حداکثر» سالیانه (AMS) را نداشته باشد.

از آن جا که حداکثرهای سالیانه بارش‌های روزانه، در مقایسه با حداکثرهای رگبارها با دقت بیشتری قابل استخراج

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

است، به منظور بررسی بیشتر برای رسیدن به سری حداکثر سالیانه بارش ۱۰ دقیقه‌ای، سری زمانی بارش حداکثر روزانه ایستگاه فرودگاه مشهد در طی دوره متناظر با رگبارهای آن از ۱۳٤۸ تا ۱۳۷۲ (۱۹٦۹-۱۹۹۳) تشکیل، و تابع توزیع احتمال گامای ۲ پارامتری بر آن برازش داده شد. کلیه نقاط در داخل محدودهٔ اطمینان ۹۵ درصدی قرار گرفتند، که مؤید درستی انتخاب این تابع توزیع احتمال است. نوسانات دوره بازگشت باران‌های حداکثر روزانه در سال‌های مختلف نیز در شکل ۲ ارائه شده است. گرچه در بسیاری از مواقع تغییرات دوره بازگشت برای پارامترهای مختلف پژوهش روندی یکسان دارند، ولی در بسیاری از مواقع نیز این تغییرات مختلف است. با توجه به این که به نظر می‌رسد طول دوره آماری ۲۵ ساله برای نتیجه‌گیری قطعی کافی نباشد، ولی شکل ۲ نشان می‌دهد که به رغم وجود یک سری تناوبی با نقاط اوجی که به مقدار زیاد با هم تفاوت ندارند، برای سری حداکثر باران روزانه، سری حداکثر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای دارای روندی «میرا» است؛ با این وجود، رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ این استنباط را خدشه‌دار می‌سازد. شکل ۳ تغییرات هم‌زمان دوره بازگشت را برای دو پارامتر حداکثر بارش روزانه و حداکثر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه فرودگاه مشهد نشان می‌دهد. با این که بین این دو پارامتر یک روند مستقیم به چشم می‌خورد، ولی نوسان پیرامون خط ۱:۱ بسیار شدید است. از سوی دیگر، برای تغییرات هم‌زمان حداکثر بارش روزانه استاندارد شده و حداکثر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای استاندارد شده در این ایستگاه چنین روند مستقیمی به چشم نمی‌خورد (شکل ٤). برای پارامترهای حقیقی (غیر استاندارد شده) نیز چنین نامنظمی در شکل ۵ ارائه شده است.

بررسی شکل‌های ۳، ٤ و ۵ نشان می‌دهد که به رغم این که انتظار می‌رود ثبت و گزارش حداکثر بارش روزانه در یک ایستگاه باران‌سنجی از دقت مناسبی برخوردار باشد، ولی نمی‌توان از آن برای تصحیح احتمالی سری زمانی حداکثر سالیانه رگبارهای کوتاه مدت استفاده کرد. در شکل ۵ منحنی پوش روی حداکثرهای تداوم دو پارامتر حداکثر بارش روزانه و حداکثر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه فرودگاه مشهد برازش داده شده است. به نظر می‌رسد که برای تصحیح سری حداکثر بارش‌های کوتاه مدت با استفاده از این منحنی پوش باید سه شرط فراهم باشد: الف) حداکثرهای انتخاب شده برای ترسیم منحنی پوش، خود واقعاً در سال‌های مورد نظر «حداکثر» بوده باشند؛ ب) در سال‌های دیگر امکان یک حداکثر واقعی، که بیشتر از حداکثر ثبت شده باشد، وجود داشته باشد؛ ج) هر ساله با فراهم شدن داده‌های افزوده شده، این منحنی پوش به روز شود. از چنین مفهومی در شکل‌های ۳ و ٤ نمی‌توان استفاده کرد، زیرا با تغییر طول دوره آماری، میانگین، انحراف معیار، و در نتیجه برازش تابع توزیع احتمال تغییر خواهد کرد (۲۸).

نظریه استفاده از منحنی پوش برای تصحیح سری حداکثر بارش‌های کوتاه مدت از روی حداکثرهای بارش روزانه، برای نخستین بار در جهان در این بررسی پیشنهاد گردید. آیا این نظریه کاراست؟ امید است که پژوهش‌های آینده بتوانند درستی(ها) و یا نادرستی(های) آن را نشان دهد.

نتیجه‌گیری

۱. الگوی توزیع زمانی بارش در سه ایستگاه ثبات دانشکده کشاورزی، سازمان آب و سد طرق یکسان است (شکل ۱).

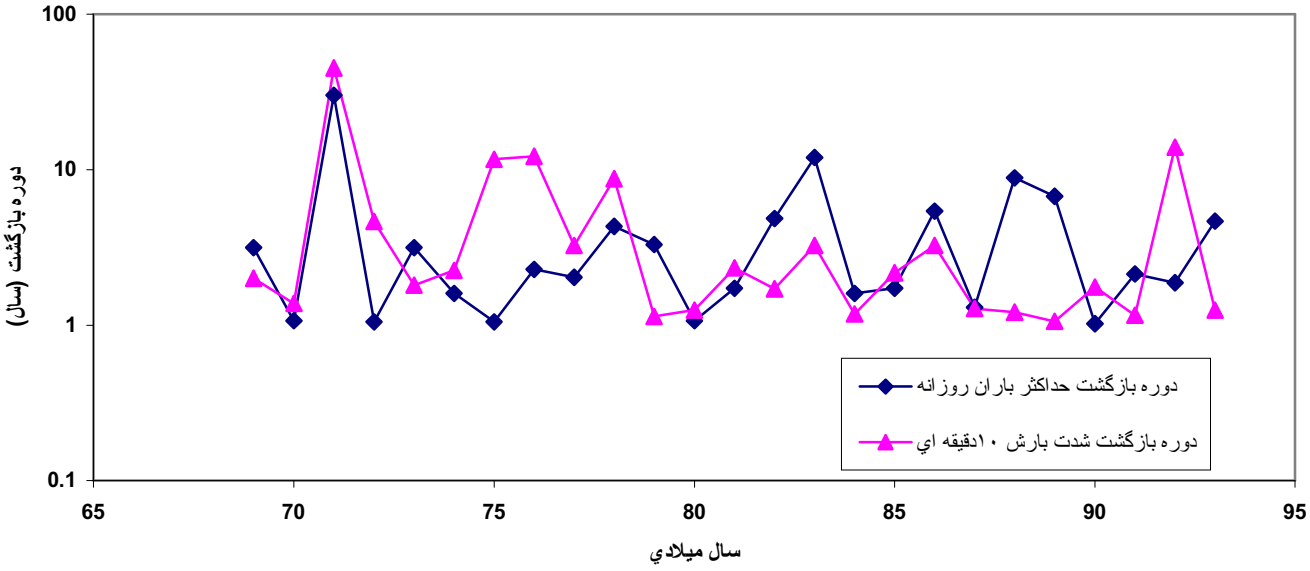
۲. رگبارهای تاریخی این سه ایستگاه با رگبار ۱۳۷۱/۳/۱٦ الگوی توزیع زمانی مشابه دارد.

۳. دوره بازگشت برای شدیدترین بخش بارش در ایستگاه‌های مختلف یکسان نیست و بین ۲/۹ تا ۳۸۰ سال تغییر می‌کند. گرچه عدد ۳۸۰ سال برای دوره بازگشت این بارش پذیرفته شد، ولی مقادیر دیگر (۲/۹، ۱۳/۹٤ و ۲٦ سال) نشان می‌دهد که آمار و اطلاعات رگبارهای کوتاه مدت در حدی نیست که بتوان به یک نتیجه‌گیری واحد رسید.

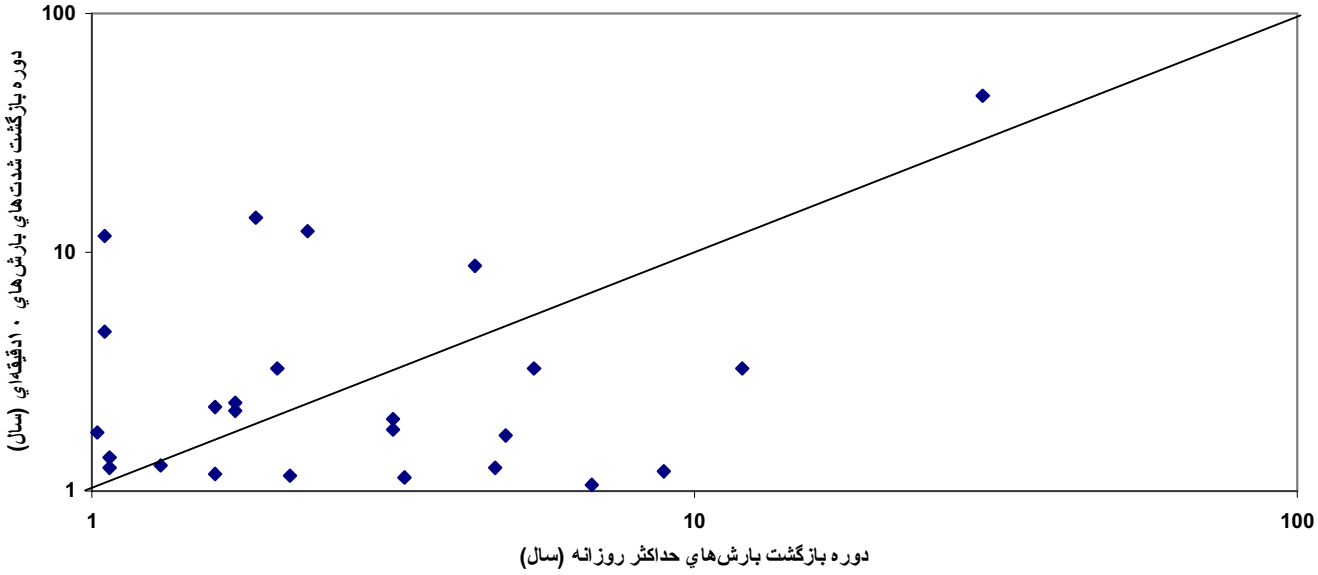
با جمع‌بندی موارد فوق می‌توان نتیجه گرفت که بارش شدید ۷۱/۳/۱٦ اختلاف بنیادی با دیگر بارش‌های تاریخی به ثبت رسیده نداشته، و تفاوت‌ها ناشی از نوسانات طبیعی است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]



شکل ۲. نوسانات دوره بازگشت حداکثر باران روزانه و شدت‌های بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه فرودگاه مشهد در سال‌های مختلف



شکل ۳. تغییرات توأم دوره بازگشت بارش‌های حداکثر روزانه و شدت‌های بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه فرودگاه مشهد

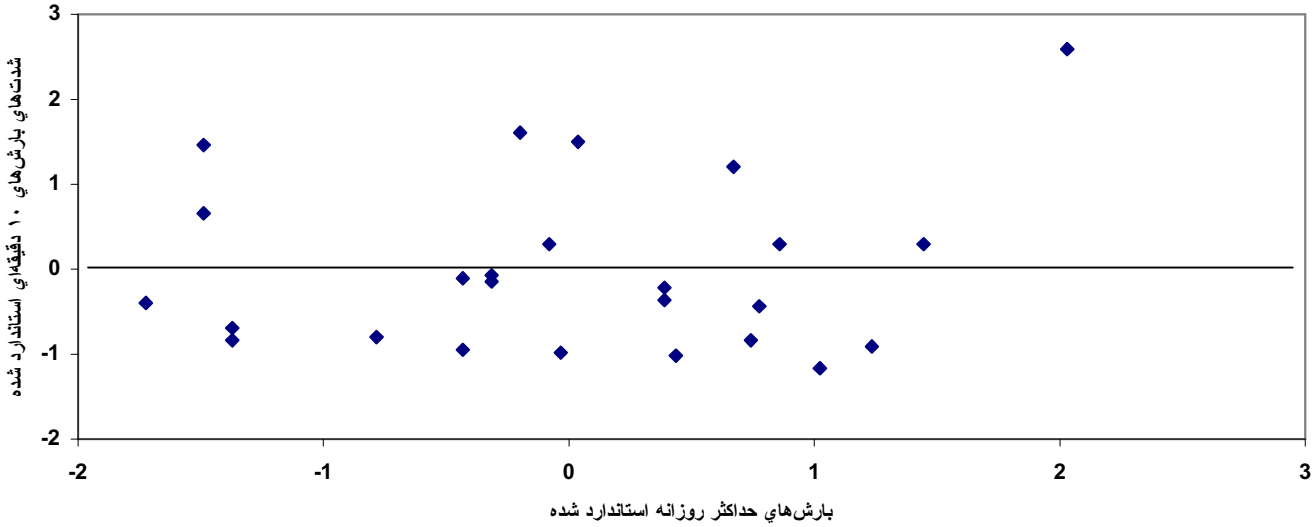
٤. با توجه به این که غالباً ثبت رگبارها با محدودیت‌های جدی مانند نبود کاغذ، خرابی قطعات مکانیکی دستگاه‌های ثبات، عدم مراقبت کامل از دستگاه‌ها به ویژه در مناطق دورافتاده، و واکنش نامناسب به رگبارهای شدید رو به رو است، نظریه‌ای مطرح شد که شاید بتوان با توجه به مقادیر بارش‌های حداکثر روزانه، نسبت به ترمیم، تکمیل و یا تطویل آمار باران‌های کوتاه‌مدت اقدام کرد.

سپاسگزاری

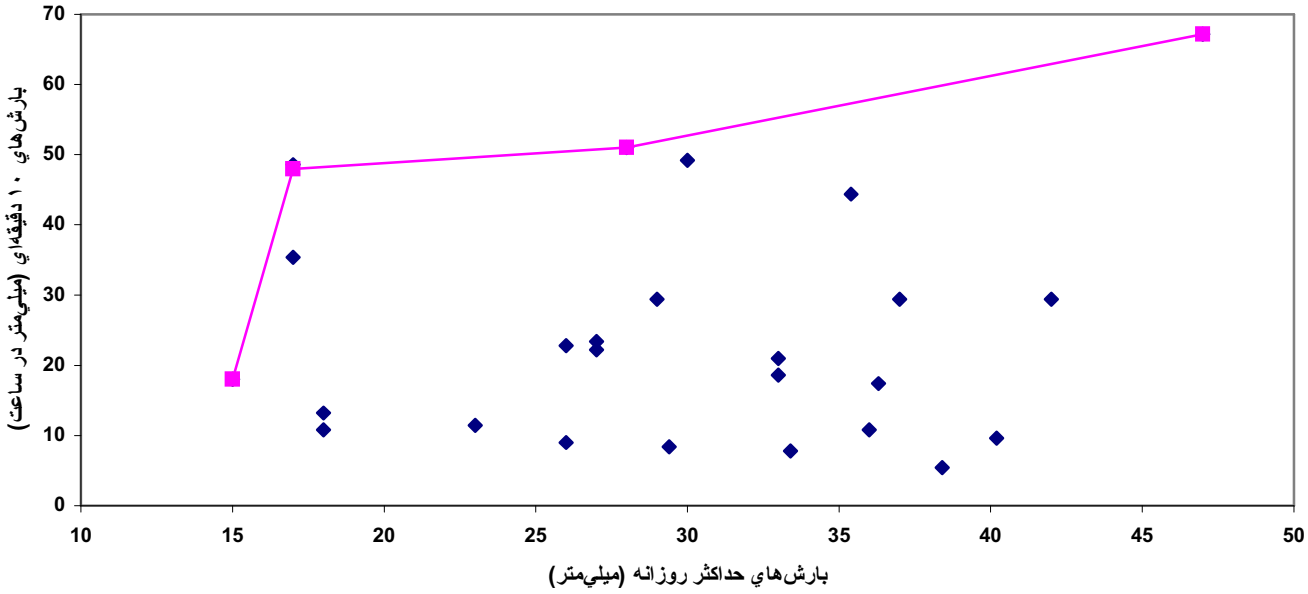
از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به خاطر تأمین بخشی از هزینه‌های این پژوهش، و از آقای دکتر ثنایی‌نژاد برای نظریات سودمندشان سپاسگزاری می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]



شکل ٤. تغییرات توأم بارش‌های حداکثر روزانه استاندارد شده و شدت‌های بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای استاندارد شده در ایستگاه فرودگاه مشهد



شکل ۵. تغییرات توأم بارش‌های حداکثر روزانه و شدت‌های بارش‌های ۱۰ دقیقه‌ای در ایستگاه فرودگاه مشهد

منابع مورد استفاده

۱. بی نام.۱۳۷۰. تجزیه و تحلیل گراف‌های ثبات باران‌سنج. امور مطالعات منابع آب، شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان، وزارت نیرو.

۲. بی نام. ۱۳۷۲. بارندگی‌های شدید و رگبارها. بولتن وضعیت منابع آب کشور (سال آبی ۷۱-۷۰)، سازمان تحقیقات منابع آب، وزارت نیرو ۷: ۲-۲۳.

۳. بی نام. ۱۳۷۳. پروژه رقومی کردن رگبارهای ایران. سازمان هواشناسی کل کشور، گزارش منتشر نشده.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

٤. خالدی، ش. ۱۳۷۵. نگرشی بر اثر گلخانه‌ای و ارائه راه‌های علاج‌بخش در برابر آن. خلاصه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

۵. خلیلی، ع. ۱۳۷۵. جستجوی شواهد آماری تغییر اقلیم بارندگی و توابع چگالی احتمال بارش‌های سالیانه بر اساس داده‌های سده‌ای پنج ایستگاه قدیمی ایران. مجموعه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

٦. رحیم‌زاده، ف. و ف. رستمی‌فر. ۱۳۷۵. آشکارسازی تغییر اقلیم در جنوب کشور. مجموعه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

۷. رستم افشار، ن. و ه. فهمی. ۱۳۷۵. تحلیل سیل‌خیزی کشور. مجموعه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

۸. سپاسخواه، ع. ر. و ب. قهرمان. ۱۳٦۸. تعیین مشاهدات استثنایی در سری داده‌های هیدرولوژیکی. نشریه فنی شماره ۱۲، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۹. شریفان، ح. ۱۳۷۵. بررسی ضریب فرسایش‌زایی باران در مشهد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۰. علیزاده، ا. ۱۳۷۳. روابط شدت–مدت–تناوب بارندگی در مشهد. علوم و صنایع کشاورزی ۸(۱): ۵۵–٦٦.

۱۱. غیور، ح.ع. ۱۳۷۵. نگرشی تحلیلی بر چند نظریه تغییرات اقلیمی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

۱۲. قهرمان، ب. ۱۳۷٤الف. برخی از خصوصیات رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ مشهد. نیوار ۲۷: ۱٦–۳۹.

۱۳. قهرمان، ب. ۱۳۷٤ب. تهیه منحنی‌های ارتفاع–مساحت–تداوم باران ۱٦ خرداد سال ۱۳۷۱ مشهد. گزارش نهایی طرح پژوهشی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۱٤. قهرمان، ب. و ح. رضایی پژند. ۱۳۷۲. تجزیه و تحلیل رگبار ۱٦ خرداد ۱۳۷۱ مشهد: دسته منحنی‌های DAD. شهرداری مشهد.

۱۵. قهرمان، ب.، ا. علیزاده و غ.ع. کمالی. ۱۳۷٤. بررسی جامع رگبارهای کوتاه مدت مشهد. نیوار ۲۸: ٦–۲۱.

۱٦. کاویانی، م. ر. ۱۳۷۵. تغییرات محیطی زمین از بدو سنجش‌های مستقیم هواشناسی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، مرکز ملی اقلیم‌شناسی، سازمان هواشناسی کشور، تهران، ۱ تا ۳ خرداد ۱۳۷۵.

۱۷. وزیری، ف. ۱۳٦۳. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت–مدت مناطق مختلف ایران. مجتمع دانشگاهی فنی و مهندسی، واحد طرح و تحقیقات جهاد دانشگاهی، گروه آب، تهران.

۱۸. وزیری، ف. ۱۳۷۰. تجزیه و تحلیل رگبارها در نقاط مختلف ایران. جهاد دانشگاهی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، واحد طرح و تحقیقات.

19. Alam Miah, M. 1996. Effect of climate change in disaster especially in floods and droughts in Bangladesh. Abstract of articles of the First Regional Conference on Climate Change, National Center for Climatology, IRIMO, Tehran, 21-23 May, 1996.

20. Anjian, S. 1996. The climate change since instrument observation period and its impact on winter wheat yields in Beijing area. Abstract of articles of the First Regional Conference on Climate Change, National Center for Climatology, IRIMO, Tehran, 21-23 May, 1996.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]

21. Ashkar, F. and B. Bobee. 1989. A discussion of statistical distributions and fitting techniques in flood frequency analysis. Ninth Canadian Hyrotechnical Conference, St-Johns, New Foundland, 8-10 June, 1989.
22. Bobee, B. and F. Ashkar. 1991. The Gamma Family and Derived Distribution Applied in Hydrology. Water Resour. Publ., Littleton, Colorado, USA.
23. Changnon, S. A. and F. A. Huff. 1991. Potential effects of changed climate on heavy rainfall frequencies in the Midwest. Water Resour. Bull. 27(5): 753-759.
24. Domros, M. 1996. Aspects of climate change in South Asia. Abstract of articles of the First Regional Conference on Climate Change, National Center for Climatology, IRIMO, Tehran, 21-23 May, 1996.
25. Hann, C. T. 1977. Statistical Methods in Hydrology. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA.
26. Huff, F. A. 1967. Time distribution of rainfall in heavy storms. Water Resour. Res. 3(4): 1007-1019.
27. Jones, K. R., O. Berney, D. P. Carr and E. C. Barret. 1981. Arid Zone Hydrology for Agricultural Development. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 37, Rome.
28. Kishihara, N. and S. Gregory. 1982. Probable rainfall estimates and the problem of outliers. J. Hydrol. 58: 341-356.
29. Kite, G. W. 1988. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resour. Publ., Littleton, Colorado, USA.
30. Koch, E. and E. Rudel. 1996. A critical view on the current scientific discussion on global climate change. Abstract of articles of the First Regional Conference on Climate Change, National Center for Climatology, IRIMO, Tehran, 21-23 May 1996.
31. Kottegoda, N. T. 1984. Investigation of outliers in annual maximum flow series. J. of Hydrol. 72: 105-137.
32. Laumann, T. and A. M. Tvede. 1989. Simulation of the effects of climate changes on a glacier in Western Norway. PP. 339-352. *In*: Conference on Climate and Water, Volume I, September 11-15, Helsinki, Finland.
33. Martinec, J. and A. Rango. 1989. Effects of climate change on snowmelt runoff patterns. Remote Sensing and Large-Scale Global Processes, IAHS Publication No. 186, Wallingford, England.
34. Rango, A. 1992. Worldwide testing of the snowmelt runoff model with applications for predicting the effects of climate change. Nordic Hydrology 23(3): 155-172.
35. Rizvi, S. I. M. 1996. An assessment of climate changes over central parts of India in respect to temperature and rainfall. Abstract of articles of the First Regional Conference on Climate Change, National Center for Climatology, IRIMO, Tehran, 21-23 May, 1996.
36. Sevruck, B. and H. Geiger. 1981. Selection of Distribution Type for Extremes of Precipitation. Operational Hydrology Report No. 15, WMO, No. 560.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2025-08-23]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1382.7.2.3.9]