

# تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر

ولی الله کریمی<sup>۱</sup>

عیسی کیا<sup>۲</sup>

محمدعلی ملکی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

\*\*\*\*\*

## چکیده

منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارندگی یا روابط دیگری که بتواند شدت بارندگی را به ازای یک تداوم مشخص تعیین کند از ملزومات طراحی در هر پروژه هیدرولوژیکی است، چرا که سیل طراحی براساس رگبار طراحی بوده و رگبار نیز دارای تداوم معینی است که می‌بایست شدت آن مشخص گردد. پدیده تغییر اقلیم ناشی از گرم شدن کره زمین بر مقدار و به تبع آن شدت بارش‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی تأثیرگذار است. به منظور بررسی اثر گرم شدن کره زمین بر شدت بارندگی‌ها در ایستگاه سینوپتیک بابلسر، دوره مورد مطالعه به دو بازه زمانی ۲۶ ساله (۱۹۶۸-۱۹۹۳) و (۱۹۹۴-۲۰۱۹) تقسیم شد. شدیدترین رگبار ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه، ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت هر سال از روی تمام رگبارهای رخ داده در آن سال استخراج گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار EasyFit و با آزمون نکویی برازش کولموگرواف-اسمیرنوف برای هر یک از ۲۸ سری داده‌ها، مقادیر شدت بارندگی برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به دست آمد. نتایج نشان داد که شدت بارش‌های ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای و ۱۸ و ۲۴ ساعته بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول به ترتیب ۵۴، ۱۷، ۳۵ و ۳۵ درصد افزایش یافته در حالی که شدت بارش‌های ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه‌ای و ۲، ۴، ۶ و ۹ ساعته به ترتیب ۱۰، ۲۶، ۳۱، ۳۵، ۳۴، ۲۰ و ۱۰ درصد کاهش یافته است. آزمون t جفتی انجام شده با نرم‌افزار SPSS روی پارامترهای دما نشان داد که در بازه زمانی دوم نسبت به زمانی اول افزایش دما رخ داده است که مقدار افزایش دمای میانگین ۲۶ ساله بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول، ۱/۱۶ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین براساس آزمون من کندال انجام شده روی داده‌های ۵۲ ساله پارامترهای دما، روند صعودی مشاهده شد. به عنوان نتیجه کلی می‌توان عنوان نمود که تغییر اقلیم باعث افزایش شدت بارش‌های کوتاه مدت (۳۵/۵٪) و بلند مدت (۳۵٪) و کاهش شدت رگبارهای میان مدت (۲۴٪) در ایستگاه سینوپتیک بابلسر شده است.

واژه‌های کلیدی: شدت بارش، تغییر اقلیم، بابلسر، گراف بارش

\*\*\*\*\*

۱- استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران (نویسنده مسئول) Vkarimi80@gmail.com

۲- محقق پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران Eassa\_kia@yahoo.com

۳- گروه تحقیقات هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی استان مازندران، ایران M\_ali\_maleki@yahoo.com

## ۱- مقدمه

آیند. یکی از مهم‌ترین اثرات گرم شدن اقلیم در آینده، افزایش فراوانی و شدت وقایع بارندگی حدی است که این روند افزایشی بارندگی‌های حدی هم در داده‌های ثبت شده بارندگی‌ها و هم در مدل‌های اقلیمی دیده شده است (مارتل و همکاران، ۲۰۲۱). ایستگاه مورد مطالعه، در محدوده شهری بابلسر و در مجاورت ساحل دریای خزر واقع شده است. لذا به‌دست آوردن دسته منحنی‌های شدت مدت فراوانی با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی، ضمن اقتصادی کردن مطالعه، طراحی، ساخت و بهره‌برداری، ایمنی بیشتر سازه‌های متعدد موجود در منطقه مورد مطالعه را به همراه خواهد داشت. نتایج این تحقیق مشخص می‌کند که آیا در این شهر تغییر اقلیمی رخ داده یا خیر؟ و در صورت بروز تغییر اقلیم آیا تأثیر آن روی منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی قابل توجه است یا قابل اغماض؟ و اگر شدت بارندگی‌ها در طول دوره مورد مطالعه تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته باشد ضروری است تا اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های آتی مورد مطالعه قرار گیرد و ویژگی‌های رخدادهای بارش آتی با دقت بیشتری برآورد شده لذا می‌توان خسارات و تلفات کمتری را در آینده انتظار داشت. همچنین مشکلات کمتری مانند آبگرفتگی معابر، پس زدن فاضلاب‌ها، انتشار آلودگی در محیط‌های شهری و روستایی، افزایش بار ترافیکی، زمین لغزش و سیل برای ساکنین منطقه بروز خواهد کرد.

هدف از این تحقیق مقایسه روابط و دسته منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارندگی قبل و بعد از سال ۱۹۹۳ ایستگاه سینوپتیک بابلسر به منظور تشخیص اثر تغییر اقلیم بر شدت بارندگی‌ها در طول ۵۲ سال می‌باشد.

فتحی و همکاران (۱۳۸۷) منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی ایستگاه باران نگاری ایدنک حوضه آبریز رود مارون را برای تداوم‌های ۲۵/۰ تا ۲۴ ساعت به‌دست آوردند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دوره بازگشت، شدت بارندگی افزایش می‌یابد و با توجه به ضرائب همبستگی به‌دست آمده در دوره بازگشت‌های مختلف و سطح معنی‌دار بودن قابل قبول، می‌توان منحنی‌های IDF به‌دست آمده را

صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته باعث افزایش دمای کره زمین و تغییر در پارامترهای اقلیمی شده که در متون علمی به آن تغییر اقلیم می‌گویند. این تغییرات اقلیمی سبب تغییر الگوهای مکانی و زمانی بارش در سطح کره زمین می‌گردد. به واسطه این تغییرات، چرخه هیدرولوژیکی تغییر کرده به نحوی که شدت، مدت و فراوانی وقایع بارندگی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (بختیاری و همکاران، ۱۳۹۳). منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی نشان‌دهنده بزرگی وقایع بارندگی حدی با دوره بازگشت و تداوم مشخص هستند که به‌طور گسترده‌ای برای طراحی سازه‌های هیدرولوژیکی، پروژه‌های مدیریت ریسک سیلاب و مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند (گالیتاستو و یلیادیس، ۲۰۲۲). دسته منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارندگی برای طراحی اقتصادی و ایمن تأسیسات زهکشی، بندهای اصلاحی، سازه‌های مدیریت آب شهری مانند کالورت‌ها، شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها و همچنین مطالعات مربوط به زمین لغزش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. طراحی سازه‌های فوق‌الذکر براساس دسته منحنی‌های به‌دست آمده از سری زمانی داده‌های تاریخی گذشته انجام می‌شود حال آنکه با توجه به عمر سازه‌ها که چند دهه می‌باشد این دسته منحنی‌ها متأثر از تغییر اقلیم خواهند بود. لذا در صورت بروز تغییر اقلیم که تأثیر آن روی روابط شدت مدت فراوانی بارندگی قابل ملاحظه باشد بایستی این روابط را برای سال‌های آتی اصلاح نمود. وقوع سیلاب‌های متعدد با خسارات مالی و جانی فراوان و میزان بالای فرسایش خاک در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز و همچنین آبگرفتگی زیادی که هر ساله در شهرهای بابلسر، انزلی و رشت رخ می‌دهد از جمله مشکلاتی است که با موضوع این تحقیق مرتبط هستند.

پدیده تغییر اقلیم بر مقدار و به تبع آن شدت بارش‌ها در مناطق مختلف جغرافیایی تأثیرگذار است لذا ضروری است تا این منحنی‌ها با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی به‌دست

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر / ۱۲۹

جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG، داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک ارومیه را برای دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ تولید کردند و دریافتند که بارش دوره آتی ۹ میلی‌متر کاهش می‌یابد در حالی که دمای حداقل ۱/۰۵ و دمای حداکثر ۰/۸۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

غفاری راد (۱۳۹۵) اثرات تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت مدت فراوانی بارش را در ایستگاه باغ ملک حوزه رود زرد استان خوزستان مورد بررسی قرار داد و دسته منحنی‌های شدت مدت فراوانی را با استفاده از توزیع گامبل و لوگ پیرسون تیپ III به‌دست آورد. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت بارندگی‌ها با دوره بازگشت کمتر از ۲/۳۳ سال افزایش و برای دوره بازگشت‌های بزرگ‌تر، شدت کاهش می‌یابد.

توانگر و همکاران (۱۳۹۸)، طی پژوهشی اثر تغییر اقلیم بر مقدار و شدت باران را در سواحل جنوبی دریای خزر، مورد مطالعه قرار دادند و منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی را با استفاده از فرمول‌های تجربی و براساس بارندگی ۲۴ ساعته ترسیم نمودند. براساس نتایج به‌دست آمده، به‌طور کلی میانگین بارش ماهانه افزایش یافته و حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای طی دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه بابل افزایش خواهد یافت.

قاسمی و همکاران (۱۳۹۸)، روند تغییرات اقلیمی آینده را با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال برای جنوب اهواز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که پارامتر دمای دوره آینده بین ۰/۵ تا ۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد این در حالی است که منطقه مورد مطالعه شاهد کاهش بارش در اکثر ماه‌ها خواهد بود.

یوسفی ملک‌شاه و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر تغییر اقلیم آینده بر تغییرات دما، بارندگی و منحنی‌های شدت مدت فراوانی ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه تحقیقات آن‌ها نشان داد که شدت بارندگی

برای این منطقه توصیه کرد. بختیاری و همکاران (۱۳۹۳)، اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت مدت فراوانی بارش ایستگاه بابلسر را مورد بررسی قرار دادند. دو توزیع گامبل و لوگ-پیرسون تیپ سه را با مقادیر بارندگی ساعتی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۸ برازش دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد که ضریب همبستگی در توزیع گامبل در بازه ۰/۹۹۶ تا ۰/۹۹۸ و در توزیع لوگ-پیرسون تیپ سه در بازه ۰/۹۶۹ تا ۰/۹۷۴ قرار دارد لذا توزیع گامبل از همبستگی بالاتری برخوردار است.

روشن و قانقرمه (۱۳۹۳)، احتمال تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات منحنی شدت و فراوانی بارش مؤثر را در شمال غرب ایران مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که در دهه‌های آتی ایستگاه‌های کرمانشاه و اردبیل شاهد کاهش بارش سالانه خواهند بود در حالی که ایستگاه‌های تبریز، قزوین، همدان و سنندج، افزایش بارش سالانه را تجربه می‌کنند.

در بسیاری از مناطق تنها آمار بارش‌های روزانه موجود است که از روی این آمارها استخراج منحنی‌های IDF به روش‌های متداول ممکن نمی‌باشد. خلف و سلطانی (۱۳۹۳)، روشی را با استفاده از خصوصیات مقیاس زمانی بارش ۲۴ ساعته به‌کار بردند و منحنی‌های IDF را برای دوام‌های کوتاه مدت به‌دست آوردند. نتایج به‌کارگیری این روش در ایستگاه اهواز نشان داد که دقت برآوردهای آن برای رگبارهای ۳۰ تا ۱۸۰ دقیقه قابل قبول بوده و دارای خطای حداکثر ۱۱/۵ درصد می‌باشد. نوری قیداری (۱۳۹۱) نیز از تئوری فرکتال برای استخراج منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش از روی داده‌های حداکثر بارش سالانه در تداوم روزانه استفاده کرد و میزان اختلاف روش فرکتال را با روش تجربی مرسوم ۹/۸ درصد برآورد نمود. آقاجانی و کرمی (۱۳۹۴)، نیز با استفاده از روش‌های تجربی بل و قهرمان، منحنی‌های IDF ایستگاه سینوپتیک مشهد را از داده‌های روزانه بارش به‌دست آوردند و دریافتند که روش بل خطای بسیار کمتری نسبت به روش قهرمان دارد.

تداوم ۲۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰ سال می‌باشد. اولوقاین (۲۰۱۹)، اثرات تغییر اقلیم روی معادلات شدت مدت فراوانی شهر بنین نیجریه را در دوره زمانی ۱۹۶۴ تا ۲۰۰۰ مورد ارزیابی قرار دادند و از آزمون من کندال برای تجزیه و تحلیل روند و روش شیب سن برای برآورد بزرگی تغییرات استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که شدت بارش‌های سالانه با تداوم ۱۰ تا ۳۰ دقیقه‌ای روند منفی معنی‌داری دارد ولی برای شدت‌های با تداوم بیش از ۴۵ دقیقه به جز ۵۴۰ دقیقه که روند مثبت معنی‌داری دارد، روندهای مثبت و منفی وجود دارد.

آنی و برما (۲۰۱۸) منحنی‌های شدت-مدت - فراوانی بارش را با استفاده از توزیع گامبل نوع I برای حوضه آبخیز رودخانه واما ناپورام هند به‌دست آوردند و دریافتند که با افزایش تداوم، شدت بارش کاهش می‌یابد. نهایتاً منحنی‌های IDF به‌دست آمده را برای مدیریت رگبار جهت طراحی سازه‌های هیدرولیکی مختلف در این حوضه مناسب و مفید دانستند.

گراتین و همکاران (۲۰۱۹) توسعه منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی را برای سازه‌های هیدرولیکی در حوضه نیابارونگو در کشور رواندا مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که همخوانی خوبی بین شدت بارندگی محاسبه‌شده با روش مورد استفاده و مقادیر برآورد شده با فرمول واسنجی شده با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۸ وجود داشته است.

مهدی و محمدمکی (۲۰۲۰) برای آنالیز فراوانی شدت - مدت - فراوانی بارش شهر بغداد از نرم‌افزار EasyFit 5.6 و آزمون نکویی برازش کولوموگروف-اسمیرنوف استفاده کردند. از سه توزیع آماری گامبل، لوگ پیرسون نوع III و لوگ نرمال استفاده کردند. حداکثر شدت بارش ۱۱۸ میلی‌متر در ساعت با تداوم ۰/۲۵ ساعت و دوره بازگشت ۱۰۰ سال رخ داد در حالی که کمترین شدت بارش ۱/۲۶ میلی‌متر بر ساعت در تداوم ۲۴ ساعت و دوره بازگشت دو سال روی داد.

برای به‌دست آوردن منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی،

در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ و ۲۰۵۱-۲۰۸۰ تحت هر سه سناریوی ۶/۲، ۵/۴ و ۵/۸ در تمام دوره بازگشت‌ها نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ کاهش خواهد یافت.

حبیب‌نژاد و شکوهی (۱۳۹۹) ارزیابی تغییرات منحنی‌های شدت مدت فراوانی ایستگاه مهرآباد تهران را با استفاده از مدل منطقه‌ای PRECIS انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشینه بارش برای تداوم ۱۰ دقیقه تا ۳ ساعت در آینده تحت سناریوهای تاریخی و مرطوب به‌ترتیب ۳۶ و ۳۱ درصد نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که در مدیریت سیلاب شهری باید مد نظر قرار گیرد.

کیا و کریمی (۱۳۹۹)، پارامترهای ۳۲ ساله دما و بارندگی دوره آماری ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۵ حوضه آبخیز هراز را با آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سری زمانی داده‌های بارش و دما دارای روند معنی‌داری است. نتایج نشان داد که در طی ۶۰ سال آینده، دمای حداکثر، حداقل و متوسط ماهانه حوضه نسبت به دوره پایه، به‌ترتیب ۰/۹۱، ۱/۱۳ و ۰/۹۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و میزان بارندگی ماهانه ۱۵/۱ درصد کاهش خواهد یافت.

کارلایر و خطابی (۲۰۱۶)، اثر گرم شدن کره زمین را بر روابط شدت - مدت - فراوانی بارندگی شهر تورنتو کانادا مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که شدت بارندگی‌های کوتاه مدت برای بعد از سال ۱۹۸۰ کمتر از قبل از سال ۱۹۸۰ بوده است. همچنین اذعان داشتند که اثر گرم شدن کره زمین روی بارندگی‌ها به موقعیت جغرافیایی منطقه بستگی داشته و نمی‌توان یک قاعده کلی را برای کل کره زمین در نظر گرفت.

روشن و همکاران (۲۰۱۹) اثرات تغییر اقلیم را روی منحنی‌های شدت مدت بارش ایستگاه سینوپتیک شیراز در دوره آماری ۱۹۶۸ تا ۲۰۰۰ بررسی کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که متوسط حداکثر بارندگی‌های روزانه و بارندگی‌های سالانه در آینده کاهش می‌یابد و تغییر محسوسی در شدت بارش‌های با تداوم بیشتر از ۶۰ دقیقه رخ نمی‌دهد. اما بیشترین کاهش شدت بارندگی مربوط به

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر / ۱۳۱

بیشینه مطلق دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما و میانگین دما دوره آماری ۵۲ ساله ایستگاه سینوپتیک بابلسر نیز از دیگر داده‌های تاریخی هواشناسی هستند که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. برای اطمینان از همگنی و تصادفی بودن داده‌ها از آزمون ران تست استفاده شد. در این پژوهش، آزمون همگنی داده‌ها برای سری بارندگی سالانه، سری‌های شدت بارندگی سالانه با تداوم‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه و ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت و پارامترهای پنج‌گانه‌ی دمای سالانه؛ شامل کمینه مطلق دما، بیشینه مطلق دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما و میانگین دما مربوط به دوره آماری ۵۲ ساله انجام شد.

### ۱-۲- روابط شدت-مدت-فراوانی بارش

جهت پی بردن به اثر تغییر اقلیم بر شدت بارش‌ها در تداوم و دوره بازگشت متفاوت در ایستگاه سینوپتیک بابلسر، دوره مورد مطالعه را به دو بازه زمانی ۲۶ ساله، ۱۹۶۸ تا ۱۹۹۳ و ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ تقسیم نموده و شدت بارش با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای هر یک از تداوم‌های ۱۴ گانه (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه و ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت) مربوط به هر بازه زمانی به صورت مجزا محاسبه و با یکدیگر مقایسه شدند. پس از آن با آزمون t جفتی معنی‌دار بودن اختلاف بین سری داده‌های شدت بارش بین دو بازه زمانی، مورد بررسی قرار گرفتند.

### ۲-۲- استخراج رگبارهای با تداوم مختلف

ممکن است در طول مدت بارندگی‌ها وقفه‌ای صورت گیرد و پس از آن بارندگی ادامه پیدا کند. لذا لازم است تا معیاری جهت خاتمه یک رگبار یا به عبارتی تفکیک یک رگبار به دو یا چند رگبار تعریف نمود. حاتمی‌یزد و همکاران (۱۳۸۴)، ملایی و همکاران (۱۳۸۵)، خاک‌سفیدی و همکاران (۱۳۸۹) و نورا و همکاران (۱۳۸۹) و کریمی و

ضروری است تا حداکثر شدت بارندگی‌های سالانه برای تداوم‌های مختلف محاسبه شود. معمولاً این شدت بارش‌ها از آنالیز بارش‌های ثبت شده روی کاغذ محاسبه می‌شوند. تاپیا و همکاران (۲۰۲۰) استخراج شدت بارندگی‌های مرکز کشور شیلی با استفاده از گراف‌های بارش را مورد مطالعه قرار دادند. با استفاده از یک نوع اسکنر و به کارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر، از ۸۰۰۰۰ گراف بارش کاغذی برای برآورد حداکثر شدت بارش‌ها در تداوم‌های مختلف استفاده کردند. برای اعتبارسنجی روش به کار رفته در این پژوهش، آن را با مقادیر به دست آمده از تجزیه و تحلیل بصری مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که هیچ اختلاف معنی‌داری بین حداکثر مقادیر شدت بارندگی برای تداوم‌های ۲/۱ و ۲۴ ساعت دو روش وجود ندارد.

بررسی پژوهش‌های انجام شده در داخل کشور نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص مقایسه تغییرات شدت‌های بارش در دوره‌های زمانی گذشته صورت نگرفته و تحقیقات روی اثر تغییر اقلیم بر تغییرات پارامترهای هواشناسی در آینده متمرکز بوده است فلذا این تحقیق با هدف بررسی اثر گرم شدن کره زمین بر شدت بارش‌های با تداوم و دوره بازگشت مختلف، انجام شد.

### ۲- مواد و روش‌ها

اولین ایستگاه هواشناسی استان مازندران در سال ۱۳۳۰ در بابلسر تأسیس شد. این ایستگاه در ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریای آزاد و ۷ متر از سطح دریای خزر واقع شده و دارای طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه آن ۹۲۸ میلی‌متر است و به طور متوسط ۹۹ روز از سال بارانی است. در این پژوهش از داده‌های تاریخی بارندگی و دمای ایستگاه سینوپتیک بابلسر استفاده شد. دوره آماری مورد بررسی از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۹ میلادی (۵۲ سال) را شامل می‌شود. بارندگی سالانه و پارامترهای پنج‌گانه‌ی دمای سالانه؛ شامل کمینه مطلق دما،

مقدار بارش ۱۰ دقیقه‌ای استخراج و به این ترتیب سری داده‌های بیشترین مقدار بارش ۱۰ دقیقه‌ای در طول دوره مورد مطالعه ساخته شد و به همین صورت، سری داده‌های مقدار بارش برای ۱۳ تداوم دیگر هر یک از بازه‌های زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۳-۱۹۶۸ و ۲۰۱۹-۱۹۹۴) به دست آمد. سپس با توجه به تداوم، مقدار بارش هریک از سری‌های ۲۸ گانه به شدت بارش تبدیل شد.

### ۲-۳- مناسب‌ترین توزیع آماری

پس از مشخص شدن سری داده‌های شدت بارش برای تداوم‌های ۱۴ گانه هر یک از دو بازه زمانی ۲۶ ساله، از نرم‌افزار EasyFit برای یافتن بهترین توزیع آماری استفاده شد. در این نرم‌افزار ۶۵ توزیع مختلف جهت برازش روی داده‌های ورودی وجود دارد. برخی از این توزیع‌ها عبارتند از: ویول، گاما، نرمال، پیرسون، گامبل، لوگ نرمال، لوگ پیرسون، نمایی، لجستیک، کوشی، لوی، بتا، واکابی. پس از اجرای برنامه برای سری داده‌ها، اطلاعات مربوط به ۶۵ توزیع نمایش داده می‌شود.

برای انتخاب بهترین مدل توزیع، نرم‌افزار از سه آزمون نکویی برازش بهره می‌برد. این سه آزمون کولموگروف-اسمیرنوف<sup>۱</sup>، اندرسون-دارلینگ<sup>۲</sup> و کای مربع<sup>۳</sup> می‌باشد. هر یک از این آزمون‌ها براساس کمترین سطح احتمال<sup>۴</sup>، بهترین مدل‌های توزیع را اولویت‌بندی و مرتب می‌کنند. پس از انتخاب بهترین توزیع آماری براساس آزمون نکویی برازش، مقدار شدت بارش مربوط به هر دوره بازگشت قابل محاسبه است.

### ۲-۴- آزمون t جفتی

برای بررسی معنی‌دار بودن اختلاف بین شدت بارش در دو بازه زمانی مورد مطالعه، داده‌های مربوط به هر تداومی

همکاران (۱۳۹۲) در مطالعات خود از روش زیر استفاده نمودند که در این پژوهش نیز از آن استفاده شد. در انتخاب رگبارها جهت تجزیه و تحلیل و تعیین رگبارهای بیشینه، ابتدا رگبارهایی که دارای بارندگی پیوسته هستند، مشخص می‌شوند. سپس برای رگبارهای ناپیوسته که دارای وقفه‌ای در طول مدت بارش هستند، اگر فاصله زمانی بین دو واقعه بارش کمتر از حاصل تقسیم مدت کل بارش بر ضریب تداوم مربوط به گروه تداوم باشد این دو بارش یک واقعه در نظر گرفته می‌شوند. ضریب مربوط به هر گروه تداوم در جدول (۱) آورده شده است. این ضریب طوری انتخاب شده است تا با افزایش مدت بارش، زمان وقفه مجاز در وسط بارندگی افزایش یابد.

جدول ۱: نحوه تفکیک بارش‌ها

| گروه تداوم | ضریب گروه | بازه تحت پوشش (ساعت) |
|------------|-----------|----------------------|
| ۱          | ۲         | کمتر از ۲            |
| ۳          | ۳         | از ۲ تا کمتر از ۴    |
| ۶          | ۴         | از ۴ تا کمتر از ۵/۷  |
| ۹          | ۵         | از ۵/۷ تا کمتر از ۱۰ |
| ۱۲         | ۶         | از ۱۰ تا کمتر از ۱۴  |
| ۱۸         | ۷         | از ۱۴ تا کمتر از ۲۰  |
| ۲۴         | ۸         | بیشتر از ۲۰          |

برای تمام رگبارهایی که در تداوم بارش آن‌ها وقفه‌ای ایجاد شده باشد آزمون فوق انجام می‌شود. با مشخص شدن زمان شروع و خاتمه هر رگبار، آن‌ها را به صورت سالانه دسته‌بندی نموده، تمام رگبارهای رخ داده در یک سال جهت استخراج شدیدترین رگبارهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه و ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا داده‌های مربوط به هر رگبار را وارد نرم‌افزار EXCEL نموده و با توجه به انتخاب گام زمانی ۱۰ دقیقه‌ای، مقدار بارش رخ داده در هر ۱۰ دقیقه محاسبه شده، بزرگ‌ترین آن استخراج گردید و برای تمام رگبارهای رخ داده در هر سال، بیشترین

1- Kolmogorov- Smirnov

2- Anderson- Darling

3- Chi- Squared

4- P-Value

### ۳- بحث و نتیجه گیری

آزمون همگنی داده‌ها برای سری بارندگی سالانه، سری‌های شدت بارندگی سالانه با تداوم‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه و ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت و پارامترهای ۵ گانه‌ی دمای سالانه؛ شامل کمینه مطلق دما، بیشینه مطلق دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما و میانگین دما مربوط به دوره آماری ۵۲ ساله انجام شد و تصادفی بودن داده‌ها تأیید شد.

برای استخراج مقدار بارش در گام‌های زمانی ۱۰ دقیقه‌ای، از گراف‌های بارش اسکن شده و نرم‌افزار "سامانه بازیافت داده از گراف‌های هواشناسی" استفاده شد. داده‌های خروجی نرم‌افزار را به صورت ستونی به محیط اکسل انتقال داده و پس از تفکیک رگبارها، بزرگ‌ترین مقدار بارش هر سال برای هریک از تداوم‌ها به دست آمد. سپس مقدار بارش به شدت بارندگی در هر تداومی تبدیل شد و هریک از سری داده‌های شدیدترین رگبار سالانه در نرم‌افزار EasyFit وارد شده و پس از اجرای برنامه، بهترین تابع توزیع برازش یافته، براساس بیشترین مقدار سطح احتمال<sup>۱</sup> و آزمون نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف انتخاب شد. شدت بارش برای دو بازه زمانی مورد مطالعه و تداوم‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه، ۲، ۴، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته و دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به دست آمد که در جداول (۲) و (۳) قابل ملاحظه هستند. مقادیر شدت بارندگی بر حسب میلی‌متر بر ساعت، دوره بازگشت بر حسب سال و تداوم بارش بر حسب ساعت می‌باشد. مقایسه مقادیر شدت بارش مربوط به تداوم‌های مختلف در دو بازه زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که شدت بارش‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ دقیقه و ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول افزایش یافته ولی در تداوم‌های ۵۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه، ۲، ۴، ۶، ۹ ساعته شدت بارش‌های بازه زمانی دوم کمتر از بازه زمانی اول بوده است.

دو به دو مقایسه شدند به این نحو که داده‌های شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای (۶ عدد) بازه زمانی اول با داده‌های شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای (۶ عدد) بازه زمانی دوم مقایسه شدند و برای ۱۳ تداوم دیگر نیز مقایسه جفتی بین آن‌ها صورت گرفت. برای این منظور از آزمون t جفتی در نرم‌افزار SPSS استفاده شد. همچنین برای بررسی تغییرات دما و بارش و معنی‌دار بودن اختلاف بین دو بازه زمانی مورد مطالعه و ارتباط دادن آن به تغییرات اقلیمی، پارامترهای پنجگانه دمای سالانه هوا در دو دوره مورد مطالعه؛ شامل کمینه مطلق دما، بیشینه مطلق دما، میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما و میانگین دما همگی بر حسب درجه سانتی‌گراد با استفاده از آزمون t جفتی در نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

### ۲-۵- آزمون من-کندال

برای تعیین روند در عناصر اقلیمی مانند دما و بارش می‌توان از آزمون من-کندال استفاده نمود. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک می‌باشد و نهایتاً در خصوص پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌کند. فرض صفر آن مبتنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌هاست و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. در این آزمون آماره Z با استفاده از روابط ریاضی برای سری داده‌ها محاسبه می‌شود در صورت مثبت بودن Z روند صعودی و در صورت منفی بودن روند سری داده‌ها نزولی خواهد بود. معمولاً این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد انجام می‌شود. در سطح اطمینان ۹۵ درصد Z برابر ۱/۹۶ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد Z برابر ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

در این پژوهش سری ۵۲ ساله (۱۹۶۸-۲۰۱۹) پارامترهای پنجگانه دمای هوا و بارندگی سالانه با استفاده از آزمون من-کندال برای تعیین وجود روند صعودی یا نزولی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

جدول ۲: مقادیر شدت بارندگی محاسبه شده برای دوره بازگشت‌ها و تداوم‌های مختلف بازه زمانی اول مورد مطالعه (۱۹۶۸-۱۹۹۳)

| دوره بازگشت | تداوم بارش (ساعت) |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |      |      |      |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|
|             | 0.17              | 0.33  | 0.5   | 0.67  | 0.83  | 1     | 1.5   | 2      | 4     | 6     | 9     | 12   | 18   | 24   |
| 2           | 26.82             | 19.6  | 16.86 | 14.65 | 14.28 | 14.02 | 12.32 | 11.094 | 8.07  | 5.98  | 4.01  | 3.41 | 2.56 | 1.69 |
| 5           | 36                | 25.96 | 21.43 | 19.69 | 19.06 | 18.07 | 15.84 | 14.41  | 10.81 | 8.39  | 5.87  | 4.84 | 3.26 | 2.51 |
| 10          | 41.12             | 29.76 | 24.17 | 22.91 | 22.05 | 20.79 | 18.51 | 16.68  | 12.31 | 9.67  | 7.03  | 5.45 | 3.5  | 2.82 |
| 25          | 46.76             | 34.19 | 27.51 | 26.51 | 25.33 | 24.32 | 22.08 | 19.4   | 13.96 | 11    | 8.38  | 5.9  | 3.69 | 3.06 |
| 50          | 50.49             | 37.26 | 29.96 | 28.82 | 27.38 | 26.97 | 24.8  | 21.28  | 15.05 | 11.82 | 9.33  | 6.11 | 3.85 | 3.17 |
| 100         | 53.9              | 40.17 | 32.36 | 30.81 | 29.13 | 29.63 | 27.53 | 23     | 16.06 | 12.51 | 10.22 | 6.23 | 4.08 | 3.24 |

جدول ۳: مقادیر شدت بارندگی محاسبه شده برای دوره بازگشت‌ها و تداوم‌های مختلف بازه زمانی دوم مورد مطالعه (۱۹۹۴-۲۰۱۹)

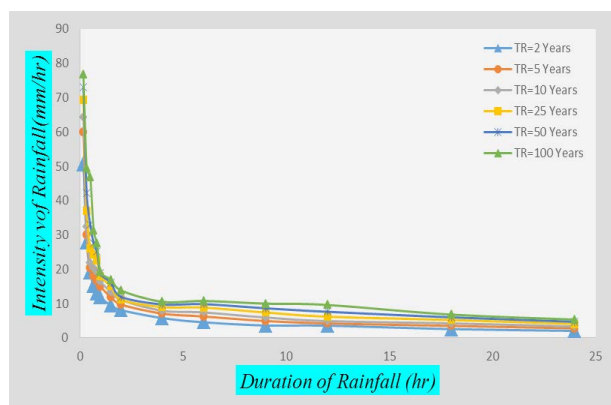
| دوره بازگشت | تداوم بارش (ساعت) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|             | 0.17              | 0.33  | 0.5   | 0.67  | 0.83  | 1     | 1.5   | 2     | 4     | 6     | 9    | 12   | 18   | 24   |
| 2           | 50.45             | 27.72 | 19.15 | 15.07 | 12.96 | 11.77 | 9.46  | 8.08  | 5.78  | 4.56  | 3.62 | 3.56 | 2.57 | 2.04 |
| 5           | 59.93             | 29.92 | 20.35 | 18.03 | 16.61 | 14.9  | 11.85 | 9.71  | 7.08  | 6.24  | 4.94 | 4.23 | 3.5  | 2.78 |
| 10          | 64.36             | 32.3  | 21.83 | 20.48 | 19.24 | 16.55 | 13.36 | 11.07 | 7.93  | 7.42  | 5.95 | 4.9  | 4.23 | 3.33 |
| 25          | 69.37             | 36.98 | 26.05 | 24.23 | 22.61 | 18.04 | 15.03 | 11.14 | 8.98  | 8.84  | 7.41 | 6.19 | 5.22 | 4.09 |
| 50          | 73.01             | 42.19 | 33.01 | 27.51 | 25.1  | 18.81 | 16.09 | 11.96 | 9.76  | 9.84  | 8.64 | 7.62 | 6    | 4.7  |
| 100         | 76.69             | 49.47 | 46.9  | 31.23 | 27.55 | 19.37 | 16.99 | 17.03 | 10.53 | 10.76 | 10   | 9.6  | 6.8  | 5.33 |

زمانی دوم (۱۹۹۴-۲۰۱۹) در نگاره (۲) نشان داده شده است. مقایسه این دو دسته منحنی نشان می‌دهد که تأثیر دوره بازگشت بر شدت بارندگی تداوم‌های میان مدت در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول کمتر شده است. به عنوان مثال در تداوم دو ساعته، اختلاف بین منحنی‌های با دوره بازگشت ۲ و ۱۰۰ ساله بازه زمانی اول بسیار بیشتر از بازه زمانی دوم است. خلاصه نتایج آنالیز آماری سری داده‌های شدت بارش در جدول (۴) آورده شده است. هریک از جفت سری داده‌های شدت بارش مربوط به بازه زمانی اول (۱۹۶۸-۱۹۹۳) و بازه زمانی دوم (۱۹۹۴-۲۰۱۹) با آزمون t جفتی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

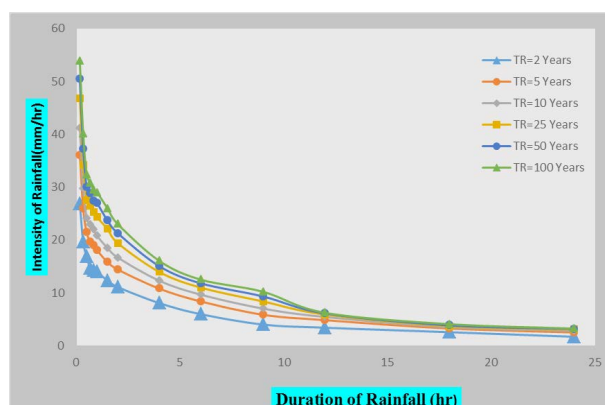
با توجه به وجود اختلاف بین سری داده‌های مقادیر شدت بارش هر تداومی در بازه مورد مطالعه اول با مقادیر مربوط به بازه دوم، از آزمون t جفتی برای آنالیز معنی‌داری این اختلاف بین جفت سری‌ها استفاده شد. به این منظور مقادیر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای بازه زمانی اول با مقادیر شدت بارش ۱۰ دقیقه‌ای بازه زمانی دوم مقایسه شدند و به همین ترتیب ۱۳ سری دیگر نیز با آزمون t جفتی آنالیز شدند. از نرم‌افزار SPSS برای انجام آزمون استفاده شد. دسته منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش مربوط به بازه زمانی اول (۱۹۶۸-۱۹۹۳) در نگاره (۱) و دسته منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش مربوط به بازه

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (س)

تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر / ۱۳۵



نگاره ۲: دسته منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش مربوط به بازه زمانی ۱۹۹۴-۲۰۱۹ در ایستگاه سینوپتیک بابلسر



نگاره ۱: دسته منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی بارش مربوط به بازه زمانی ۱۹۶۸-۱۹۹۳ در ایستگاه سینوپتیک بابلسر

جدول ۴: خلاصه نتایج آنالیز آماری مقایسه سری داده‌های شدت بارش بازه زمانی اول (قبل) و دوم (بعد) با آزمون t جفتی

| ردیف | تداوم بارش | تعداد داده | میانگین |       | همبستگی |               | آزمون t جفتی |               |
|------|------------|------------|---------|-------|---------|---------------|--------------|---------------|
|      |            |            | قبل     | بعد   | ضریب    | سطح معنی‌داری | t            | سطح معنی‌داری |
| ۱    | ۱۰ دقیقه   | ۶          | ۴۲/۵۲   | ۶۵/۶۴ | ۰/۹۹۹   | ۰/۰۰۰         | -۹۸/۲۹       | ۰/۰۰۰         |
| ۲    | ۲۰ دقیقه   | ۶          | ۳۱/۱۶   | ۳۶/۴۳ | ۰/۹۴    | ۰/۰۰۵         | -۴/۵۸        | ۰/۰۰۶         |
| ۳    | ۳۰ دقیقه   | ۶          | ۲۵/۳۸   | ۲۷/۸۸ | ۰/۸۷    | ۰/۰۲۴         | -۰/۹۷۵       | ۰/۳۷۴         |
| ۴    | ۴۰ دقیقه   | ۶          | ۲۳/۹۰   | ۲۲/۷۶ | ۰/۹۷۸   | ۰/۰۰۱         | ۲/۱۹         | ۰/۰۸۰         |
| ۵    | ۵۰ دقیقه   | ۶          | ۲۲/۸۷   | ۲۰/۶۸ | ۰/۹۹۴   | ۰/۰۰۰         | -۸/۷۹        | ۰/۰۰۰         |
| ۶    | ۶۰ دقیقه   | ۶          | ۲۲/۳۰   | ۱۶/۵۷ | ۰/۹۷۴   | ۰/۰۰۱         | -۴/۵۵        | ۰/۰۰۶         |
| ۷    | ۹۰ دقیقه   | ۶          | ۲۰/۱۸   | ۱۳/۸۰ | ۰/۹۹    | ۰/۰۰۰         | -۵/۳۴        | ۰/۰۰۳         |
| ۸    | ۲ ساعت     | ۶          | ۱۷/۶۴   | ۱۱/۵۰ | ۰/۸۸    | ۰/۰۲۲         | -۶/۵۱        | ۰/۰۰۱         |
| ۹    | ۴ ساعت     | ۶          | ۱۲/۷۰   | ۸/۳۴  | ۰/۹۹۶   | ۰/۰۰۰         | -۸/۸۵        | ۰/۰۰۰         |
| ۱۰   | ۶ ساعت     | ۶          | ۹/۸۹    | ۷/۹۴  | ۰/۹۹    | ۰/۰۰۰         | -۱۵/۱۸       | ۰/۰۰۰         |
| ۱۱   | ۹ ساعت     | ۶          | ۷/۴۷    | ۶/۷۶  | ۰/۹۹    | ۰/۰۰۰         | -۵/۰۶        | ۰/۰۰۴         |
| ۱۲   | ۱۲ ساعت    | ۶          | ۵/۳۲    | ۶/۰۱  | ۰/۸۳    | ۰/۰۴۲         | -۱/۱۹        | ۰/۳۱۴         |
| ۱۳   | ۱۸ ساعت    | ۶          | ۳/۴۹    | ۴/۷۲  | ۰/۹۶    | ۰/۰۰۳         | -۲/۷۸        | ۰/۰۳۹         |
| ۱۴   | ۲۴ ساعت    | ۶          | ۲/۷۴    | ۳/۷۱  | ۰/۹۲    | ۰/۰۰۹         | -۳/۲۴        | ۰/۰۲۳         |

و دوم هر تداوم و ارتباط دادن آن به تغییر اقلیم، آزمون t جفتی انجام شد و نتیجه نشان داد که به جز سری داده‌های مربوط به تداوم بارش ۳۰ و ۴۰ دقیقه و ۱۲ ساعت، بقیه جفت سری‌ها در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری دارند.

همانگونه که از جدول (۴) مشخص است همبستگی خطی بین جفت سری داده‌های شدت بارش در تمام تداوم‌ها، در سطح کمتر از ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد و کمترین ضریب همبستگی ۰/۸۳ و بزرگ‌ترین آن ۰/۹۹۹ است. برای مقایسه بین سری‌های شدت بارش بازه اول

تغییر جهش است ولی بارندگی سالانه در طول ۵۲ سال بدون روند و تصادفی است.

#### ۴- نتیجه گیری

دراکثر پژوهش‌های انجام شده از روش‌های تجربی و غیرمستقیم برای برآورد شدت بارش در تداوم‌ها و دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شده است (بختیاری و همکاران (۱۳۹۳)، غفاری‌راد (۱۳۹۵)، توانگر و همکاران (۱۳۹۸)، یوسفی‌ملکشاه و همکاران (۱۳۹۸)، کارلایر و خطابی (۲۰۱۶)، روشن و همکاران (۲۰۱۹)، اولوقاین (۲۰۱۹) و گراتین و همکاران (۲۰۱۹)) در حالی که در این پژوهش از گراف‌های بارش رخ داده در ۵۲ سال گذشته، استفاده شد.

متوسط شدت بارندگی دوره زمانی دوم نسبت به دوره زمانی اول برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ سال افزایش و برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال همراه با کاهش بوده است. متوسط شدت بارندگی دوره زمانی دوم نسبت به دوره اول برای تداوم‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت افزایشی و برای بقیه همراه با کاهش بوده است. اما آزمون t جفتی انجام شده روی ۱۴ جفت سری شدت بارندگی نشان می‌دهد که به جز سری داده‌های مربوط به تداوم بارش ۳۰، ۴۰ دقیقه و ۱۲ ساعت، بقیه جفت سری‌ها در سطح احتمال کمتر از ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری دارند لذا می‌توان نتیجه گرفت که شدت بارش‌های ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای و ۱۸ و ۲۴ ساعته بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول افزایش یافته در حالی که شدت بارش‌های ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه‌ای و ۲، ۴، ۶ و ۹ ساعته کاهش یافته است که با نتایج تحقیقات بختیاری و همکاران (۱۳۹۳) و کارلایر و خطابی (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

میانگین پنج پارامتر دما در بازه زمانی دوم (۱۹۹۴-۲۰۱۹) نسبت به بازه زمانی اول (۱۹۶۸-۱۹۹۳) افزایش یافته (۱/۱۶ درجه سانتی‌گراد) و براساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز آماری آزمون t جفتی، به غیر از بیشینه مطلق دما،

میانگین شدت بارش‌های بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول در تداوم‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ دقیقه و ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت افزایش داشته در حالی که برای تداوم‌های ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه و ۲، ۴، ۶ و ۹ ساعته همراه با کاهش بوده است. ولی با توجه به نتایج آنالیز آماری با آزمون t جفتی آورده شده در جدول بالا، می‌توان گفت که شدت بارش‌های ۱۰ و ۲۰ دقیقه‌ای و ۱۸ و ۲۴ ساعته بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول افزایش یافته در حالی که شدت بارش‌های ۵۰، ۶۰، ۹۰ دقیقه‌ای و ۲، ۴، ۶ و ۹ ساعته کاهش یافته است.

برای بررسی تغییرات دما در دو بازه زمانی مورد مطالعه (۱۹۶۸-۱۹۹۳ و ۲۰۱۹-۱۹۹۴)، هر یک از پارامترهای ۵ گانه دما شامل میانگین دما، میانگین بیشینه دما، میانگین کمینه دما، بیشینه مطلق دما و کمینه مطلق دما مربوط به دو دوره با آزمون t جفتی با یکدیگر مقایسه شدند. براساس نتایج به‌دست آمده از آنالیز آماری آزمون t جفتی، به غیر از بیشینه مطلق دما، چهار پارامتر دیگر دما اختلاف معنی‌دار در سطح کمتر از ۵/۰ درصد را نشان می‌دهند. همه پنج پارامتر دما مقدار افزایشی را در بازه زمانی مورد مطالعه دوم نسبت به بازه زمانی مورد مطالعه اول نشان می‌دهند که بیانگر گرم‌تر شدن هوا در ایستگاه سینوپتیک بابل‌سر است.

آزمون t جفتی انجام شده روی داده‌های بارش سالانه دو بازه مورد مطالعه در نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد که اولاً هیچ همبستگی خطی معنی‌داری بین جفت سری داده‌ها وجود نداشته است ثانیاً هر چند میانگین بارش سالانه بازه دوم (۸۹۰ میلی‌متر) نسبت به بازه اول (۹۱۱ میلی‌متر) ۲۱ میلی‌متر کاهش یافته ولی اختلاف بین دوسری داده‌ها در هیچ سطح قابل قبولی، معنی‌دار نبوده است.

آزمون من کندال با استفاده از برنامه ماکرو MAKESENS در محیط اکسل برای پنج پارامتر دما و بارش سالانه انجام شد. نتایج نشان داد که روند میانگین دما، میانگین بیشینه دما، میانگین کمینه دما و کمینه مطلق دما در سطح معنی‌داری یک درصد صعودی است و بیشینه دما فاقد روند و دارای

## فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۳)

تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر / ۱۳۷

۴- جهانبخش اصل، س. خورشید دوست، ع. م. عالی نژاد، م. ح. و پور اصغر، ف. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه شهرچای ارومیه)، شماره ۷، ۱۲۲-۱۰۷ ص ص.

۵- حاتمی یزد، ا.، قهرمان، ب. و ع. ا. تقوایی. ۱۳۸۴. تعیین الگوی توزیع زمانی بارش استان خراسان بزرگ، مجله علوم و مهندسی منابع آب ایران. سال اول. شماره ۳. ۵۴-۶۴ ص ص.

۶- حبیب نژاد، ر. و شکوهی، ع. ر. ۱۳۹۹. تحلیل عدم قطعیت شبیه سازی منحنی های شدت مدت فراوانی در سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل مولد آب و هوا (مطالعه موردی: تهران)، تحقیقات منابع آب ایران، سال شانزدهم، شماره ۲، ۱۷۷-۱۶۴ ص ص.

۷- خاک سفیدی، ع. ن. نورا، ن. بیرودیان و ع. نجفی نژاد. ۱۳۸۹. الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد هفدهم. شماره اول. ۴۵-۶۱ ص ص.

۸- خلف، ر. و سلطانی، س. ۱۳۹۳. برآورد IDF براساس داده های بارش روزانه با کاربرد مدل مقیاس زمانی. دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب، سال چهارم، شماره دهم. صفحه های ۵۱ تا ۶۱.

۹- روشن، غ. و قانقرمه، ع. ۱۳۹۳. احتمال تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات منحنی شدت و فراوانی بارش مؤثر در ایستگاه های شمال غرب ایران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۵، پیاپی ۵۴، شماره ۲. صفحه های ۶۱ تا ۸۴.

۱۰- غفاری راد، س. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منحنی های شدت مدت فراوانی بارش (حوضه رود زرد). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۹۹ صفحه.

۱۱- فتحی، ن. رادمنش، ف. و بارانی، غ. ۱۳۸۷. تعیین منحنی های شدت-مدت-فراوانی در ایستگاه باران نگاری ایدنک واقع در حوضه آبریز ماراون. اولین کنفرانس

چهار پارامتر دیگر دما اختلاف معنی دار در سطح کمتر از ۰/۵ درصد را نشان می دهند بنابراین ایستگاه سینوپتیک بابلسر در بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول گرمتر شده است.

آزمون t جفتی انجام شده روی داده های بارش سالانه دو بازه مورد مطالعه در نرم افزار SPSS نشان داد که هر چند میانگین بارش سالانه بازه دوم (۸۹۰ میلی متر) نسبت به بازه اول (۹۱۱ میلی متر) ۲۱ میلی متر کاهش یافته ولی اختلاف بین دوسری داده ها در هیچ سطح قابل قبولی، معنی دار نبوده است. روند میانگین دما، میانگین بیشینه دما، میانگین کمینه دما و کمینه مطلق دما در سطح معنی داری یک درصد صعودی است و بیشینه مطلق دما فاقد روند و دارای تغییر جهش است ولی بارندگی سالانه در طول ۵۲ سال بدون روند و تصادفی بوده است.

به عنوان نتیجه کلی می توان عنوان نمود که تغییر اقلیم باعث افزایش شدت بارش های کوتاه مدت و بلند مدت و کاهش شدت رگبارهای میان مدت در ایستگاه سینوپتیک بابلسر شده است.

## ۵- منابع و مآخذ

- ۱- آقاجانی، ن. و کرمی، ح. ۱۳۹۴. استخراج منحنی های IDF از داده های روزانه بارش (مطالعه موردی ایستگاه سینوپتیک مشهد). دهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، تبریز، ایران.
- ۲- بختیاری، ب. پورموسوی، ش. و سیاری، ن. ۱۳۹۳. بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی های شدت مدت فراوانی بارش ایستگاه بابلسر طی دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۸، صفحه ۷۰۴-۶۹۴.
- ۳- توانگر، ش. مرادی، ح. ر. و مساح بوانی، ع. ر. ۱۳۹۸. اثر تغییر اقلیم بر مقدار و شدت باران در شمال ایران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال دهم، شماره سی و هشتم، ۲۰۲-۱۸۸ ص ص.

- شماره ۲، صفحه ۴۴۵-۴۳۱.
19. Anie John, S. and Brema, J. 2018. Analysis of rainfall by Intensity- Duration- Frequency (IDF) Curves for Vamanapuram River Basin, Kerala. 2018. International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol. 9, Issue7, 403-411.
  20. Carlier, E., El Khattabi, J. 2016. Impact of global warming on intensity- duration- frequency (IDF) relationship of precipitation: A case study of Toronto, Canada. Journal of Modern Hydrology, 6, 1-7.
  21. Galiatsatou, P. and Iliadis, C. 2022. Intensity-Duration- Frequency Curves at ungauged sites in a changing climate for sustainable storm water networks. Sustainability 14, 1229. 1-24.
  22. Gratien, T., Kundwa, M. J., Bakunzibake, P., Buani, P. and Habyarimana, J. L. 2019. Development of rainfall intensity duration frequency curves for hydraulic design aspect. Journal of Ecology & Natural Resources 3(2): 1-14.
  23. Martel, J. L., Brissetee, F. P., Picher, P. L., Troin, M. and Arsenault, R. 2021. Climate change and rainfall intensity - duration- frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation. J. Hydrol. Eng, 26(10): 1-18.
  24. Ologhadien, I. 2019. Assessment of the impact of climate change on intensity duration frequency equation in Benin City, Nigeria. International Journal of Hydrology, Vol.3. Issue 2.: 107-113.
  25. Roshan, A., Sedghi, H., Sharifan, R. A. and Porhemmat, J. 2019. Climate Change impacts on intensity duration frequency curves of precipitation: A case study of Shiraz synoptic station, Iran. Journal of Agrometeorology 21(2): 159-165.
  26. Tapia, R. P., Leiva, F. G., Pineda, R. V., Ingram, B., Sanguesa, C. and Vallejos, C. 2020. A rainfall intensity data rescue initiative for central Chile utilizing a Pluviograph strip charts reader (PSCR). Water, 12, 1887. 1-15.
- بین‌المللی بحران آب. دانشگاه زابل، ایران.
- ۱۲- قاسمی، م.، ناصری، ع. ع.، سلطانی محمدی، الف. و معاضد، ه. ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از آزمون من کندال (مطالعه موردی: جنوب اهواز)، نیوار، دوره ۴۳، شماره ۱۰۷، ۹۷-۸۴ ص ص.
  - ۱۳- کریمی، و.، سلیمانی، ک. و حبیب‌نژاد روشن، م. و شاهدی، ک. ۱۳۹۲. رmqایسه برخی روش‌های تعیین الگوی توزیع زمانی بارش جهت برآورد سیلاب‌های شهری، مطالعه موردی بابلسر. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۴ (۱۳): ۱۰۲-۱۱۲.
  - ۱۴- کیا، ع. و و. کریمی. ۱۳۹۹. بررسی پارامترهای دما و بارندگی حوضه آبخیز هراز تحت تأثیر تغییر اقلیم. مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره بیست و ششم. ۱۶۰-۱۴۵ ص ص.
  - ۱۵- ملایی، ع.، تلوری، ع.، و شفیع، ا. ۱۳۸۵. بررسی و تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در استان کهگیلویه و بویر احمد با استفاده از روش احتمالاتی Huff. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز. ۱۱ص.
  - ۱۶- نورا، ن. خاک سفیدی، ع. و رضیئی، ط. ۱۳۸۹. مقایسه روش‌های پیلگریم و هاف برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش در ایستگاه سینوپتیک زابل. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد هفدهم. شماره سوم. ۱۶۰-۱۴۳ صص.
  - ۱۷- نوری قیداری، م. ح. ۱۳۹۱. استخراج منحنی‌های شدت- مدت- فراوانی از داده‌های روزانه بارش با استفاده از تئوری فرکتال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۳. صفحه‌های ۷۱۸ تا ۷۲۶.
  - ۱۸- یوسفی ملک‌شاه، م.، قضاوی، ر. و ساداتی نژاد، ج. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر تغییرات اقلیم آینده بر تغییرات دما، بارندگی و منحنی‌های شدت مدت فراوانی در مناطق خشک (مطالعه موردی حوضه تهران- کرج). اکو هیدرولوژی. دوره ۶،