

تحلیل تیپ رگبارها در استان آذربایجان غربی

یعقوب دین پزوه^۱✉ | مجید رضایی بنفشه درق^۲ | سعید جهان بخش اصل^۳ | مریم خوش نفس^۴

۱. نویسنده مسئول، استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: dinpashoh@yahoo.com

۲ و ۳. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۴. دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

چکیده

هدف این مطالعه، تحلیل داده‌های ۴۲۱ رگبار ثبت شده در پنج ایستگاه باران سنجی استان آذربایجان غربی است. از اطلاعات مربوط به رویدادهای بارندگی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶) بهره گرفته و مجموعه منحنی‌های هاف برای هر ایستگاه و فصل (بجز تابستان) رسم شد. در هر مورد، منحنی‌های هاف با روش‌های تجربی و تئوری رسم شد. در هر مورد، مدل‌سازی ریاضی منحنی‌های هاف میانه انجام و سطح زیر منحنی در هر یک از چهار چارک با انتگرال‌گیری به دست آمد. تیپ بارشی هر ایستگاه و فصل به روش چارکی تعیین شد. نتایج نشان داد که در بهار، نوع بارش ایستگاه‌های ارومیه، خوی و سردشت چارک چهارم و اشنویه و مهاباد چارک سوم بود. در پاییز، نوع بارش در همه ایستگاه‌ها از نوع چارک سوم بود. در زمستان، بجز خوی که تیپ بارشی آن از نوع چارک سوم بود، الگوی بارشی سایر ایستگاه‌ها چارک چهارمی بود. در استان آذربایجان غربی، در زمستان ۲۰ درصد ایستگاه‌ها دارای تیپ بارشی چارک سوم و ۸۰ درصد بقیه چارک چهارمی بود. الگوی بارش‌های پاییزه در همه ایستگاه‌ها از نوع چارک سوم بود. در بهار، تیپ بارشی در ۴۰ درصد ایستگاه‌ها چارک سوم و در ۶۰ درصد بقیه چارک چهارمی بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تیپ بارش‌های استان آذربایجان غربی از نوع چارک سوم یا چارک چهارمی است. میانه مقادیر R^2 در هیچ موردی از ۰/۸۸۵ (در خوی، بهار) کمتر نبود. حداکثر مقدار ضریب تعیین در بین ایستگاه‌ها و فصول بین ۰/۹۷۹ (در خوی و زمستان) تا ۰/۹۹۸ (در اشنویه، زمستان) تغییر می‌کند.

کلمات کلیدی: باران، روش چارکی، منحنی هاف، هیئوگراف طرح

۱- مقدمه

تحلیل تیپ بارشی در هر ایستگاه از نظر مدیریت بهینه منابع آب، جمع‌آوری، زهکشی و خارج ساختن سیلاب‌های ناشی از رگبار، تخمین دبی اوج هیدروگراف سیل ناشی از باران از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. در گذشته، مطالعات زیادی پیرامون الگوی توزیع بارش با روش رسم منحنی‌های هاف انجام شده است (Huff, 1990; Azli and Rao, 2010; Vakili Azar et al., 2024; Dinpashoh and Alavi, 2024). یکی از پیشگامان مطالعات الگوی بارش در طول مدت دوام آن هیدرولوژیست آمریکایی بنام هاف می‌باشد (Huff, 1967). ایشان معتقد است تحلیل الگوی بارش‌ها با به‌کاربردن روش تجربی و استفاده توزیع‌های آماری میسر است (Huff, 1990).

در نقاط مختلف جهان، روی تیپ بارش‌های رگباری مطالعات زیادی صورت گرفته است. مثلاً Lee and Ho (2008) هیتوگراف طرح را به‌روش مثلثی با مدت زمان ۴۸ ساعت ارائه کردند. هیتوگراف طرح مقادیر بارش را تابعی از زمان از آغاز در یک مدت دوام فرضی نشان می‌دهد و از منحنی هاف میانه منتج می‌گردد. ایشان منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی^۱ را در چندین حوضه آبخیز در تایوان ارائه نمودند. Azli and Rao (2010) منحنی‌های هاف را برای ۱۳ ایستگاه واقع در شبه‌جزیره مالزی با استفاده از داده‌های بارش در مقیاس ساعتی رسم کردند. طبق نظر ایشان، الگوی این منحنی‌ها برای ایستگاه‌های مورد مطالعه مشابه هم بود. Bustami et al. (2012) الگوی توزیع زمانی بارش را در بخش جنوبی شهر سراواک تحلیل کردند. آن‌ها از بازه زمانی پنج دقیقه‌ای و اطلاعات بارشی از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۶ در هفت ایستگاه بهره جستند. Ewea et al. (2016) با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی مکه در یک دوره بیست ساله، الگوی زمانی توزیع بارندگی را مشخص نمودند. ایشان نتیجه گرفته‌اند که درصد بیشتری از بارش‌ها در دو دهک نازل می‌شود. از سویی، بنا به گزارش ایشان، رگبارهای مکه با هیچ‌یک از چهار الگوی SCS مطابقت نداشته است. Wartalska et al. (2020) به‌منظور تهیه هیتوگراف رگبار طرح از داده‌های بارندگی منطقه شهری جلنیا گنورا در کشور لهستان اقدام کردند. این مهم از اطلاعات منحنی هاف میانه قابل استنتاج است که تاکنون، برای شهرهای مختلف استان آذربایجان غربی انجام نشده است. از دیگر کارهای مرتبط با مطالعه حاضر، می‌توان به تحقیقات دیگر مانند Wang et al. (2016); Bonaccorso et al. (2017); Pan et al. (2017); Liao et al. (2019) اشاره نمود.

در ایران نیز روی تحلیل الگوی باران مطالعاتی صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه، وزیری روی رگبارهای ۲۴ و ۴۸ ساعته جنوب‌غرب ایران به روش هاف تحقیق کرد. ایشان شباهتی بین منحنی هاف بارش‌ها و الگوی تیپ‌های SCS نیافت و برای کل منطقه یک الگوی میانگین ارائه داد (Vaziri, 1996). حاتمی‌یزد و همکاران الگوی توزیع زمانی بارش در ۱۸ ایستگاه باران‌سنجی استان خراسان بزرگ تحلیل کردند (Hatami Yazd et al., 2005). ایشان جهت تعیین الگوی توزیع زمانی رگبارها در دوره‌های تداوم مختلف از روش پیلگریم بهره گرفتند. آن‌ها دریافتند که برای بارش‌های با تداوم بیش از ۱۲ ساعت توزیع تقریباً یکنواخت است و بیشترین شدت بارش، در رگبارهای کوتاه‌مدت، در چارک اول و در تداوم‌های بلندمدت، در چارک دوم روی می‌دهد. حاتمی‌یزد و همکاران الگوی توزیع زمانی بارش ایران را از گراف‌های باران‌نگاری ۱۴۸ ایستگاه تعیین کردند. نتایج نشان داد که ۳۵ درصد بارش‌های ایران در چارک دوم روی می‌دهد (Hatami Yazd et al., 2009). ملایی و تلوری به‌منظور تعیین الگوی توزیع زمانی بارش از داده‌های چهار ایستگاه باران‌سنج ثابت در استان کهگیلویه و بویراحمد و روش پیلگریم استفاده کردند (Mollaie and Telvari, 2009). ایشان رگبارهای کمتر از ۳۰ ساعت هر ایستگاه را به رگبارهای ۱، ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت تفکیک نمودند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که حداکثر مقدار بارش، برای باران‌های با تداوم ۱، ۲، ۳ و ۹ ساعته در چارک دوم، برای ۶، ۱۲ و ۱۸ ساعته در چارک سوم و برای باران‌های ۲۴ ساعته در چارک آخر نازل می‌شود. در ایستگاه زابل، جهت تعیین الگوی توزیع زمانی بارش از داده‌های ۲۰۵ رویداد از روش‌های پیل‌گریم و هاف استفاده شد (Noura et al., 2012). نتایج حاکی از آن بود که روش پیلگریم ساده‌تر و گویاتر بوده و در صورت وجود داده کافی، از دقت مناسب برخوردار است. در تحقیق دیگر، با استفاده از روش‌های تجربی هاف و پیلگریم الگوهای توزیع زمانی بارش ایستگاه‌های بم، تهران، شیراز و گرگان تعیین گردید

(Golkar et al., 2011). آن‌ها نتیجه گرفتند که الگوهای ۵۰٪ در چارک‌های مختلف در دو ایستگاه تهران و گرگان مشابه هم هستند. در تحقیق دیگر، برای تعیین الگوی توزیع زمانی بارش، جهت برآورد سیلاب‌های شهر بابلسر از روش‌های شیکاگو، ین و چاو و بلوک‌های متناوب با دوره بازگشت ۱۰ سال و مدت دوام دو ساعت استفاده شد (Karimi et al., 2013). معافی و همکاران تعداد ۸۱ رگبار ایستگاه ساری را با تداوم‌های مختلف تحلیل نمود (Moafi et al., 2013). ایشان گزارش دادند که بین تداوم‌های مختلف الگوهای بارشی متفاوتی وجود دارد. متأسفانه، نامبردگان مجموعه منحنی‌های هاف ساری را رسم و/یا نشان نداده‌اند. برای پنج ایستگاه منتخب در شرق دریاچه ارومیه هم منحنی‌های هاف بسط داده شده و رسم شده است (Vakili Azar and Dinpazhoh, 2019). نتایج نشان داد که مدل لاجستیک، فرم منحنی هاف میانه حاصل از رگبارها را در ایستگاه‌های منتخب به‌خوبی برازش می‌دهد. مدل‌بندی منحنی هاف میانه ممکن است با مدل‌های دیگر نیز قابل برازش باشد. این کار برای شهرهای مختلف استان آذربایجان غربی در مطالعه حاضر به انجام رسیده است. در استان خوزستان، به‌منظور استخراج هیتوگراف طرح، از روش منحنی‌های هاف استفاده و رگبارهای آن را در بازه زمانی ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۵ تحلیل گردید (Alavi et al., 2019). در این مطالعه، جزئیات روش تهیه منحنی‌های هاف ارائه شده که در ارتباط با مطالعه حاضر برای شهرهای استان آذربایجان غربی بوده و تاکنون انجام نشده است. در تحقیق دیگر که در استان خوزستان انجام شده، تغییرات الگوی توزیع عمق بارش را در طول مدت دوام آن، در چهار ایستگاه بارانسنجی واقع در حوضه رودخانه کارون تحلیل کرده‌اند. (Dinpashoh and Alavi, 2024). در یک کار مشابه، اطلاعات رگبارهای تاریخی ثبت شده به‌منظور بسط منحنی‌های هاف در حوضه سد دز در استان خوزستان تحلیل شده است (Alavi and Dinpashoh, 2020). در سه ایستگاه باران‌سنجی استان مازندران با استفاده از اطلاعات ۵۲۴ رویداد رگباری الگوی بارش با روش گورجی^۲ مطالعه شد (Vakili Azar et al., 2025b). نتایج نشان داد که تیپ اغلب رگبارها در کلاس‌های بارشی مختلف، از نوع چارک دومی بود. در استان گلستان، الگوی داخلی توزیع زمانی رگبارهای باران با روش گورجی تحلیل شده است (Dinpashoh et al., 2024). در مطالعه مذکور، محققین از فن اندازه‌گیری فاصله قایم دو منحنی هاف ۸۰ و ۲۰ درصد، در سه مقطع زمانی بی‌بعد شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، بهره گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که تیپ بارشی همه ایستگاه‌های استان از نوع چارک دومی بود. در تحقیق مشابه دیگر، تیپ داخلی رگبارهای استان گیلان مطالعه شده است (Dinpashoh and Vakili Azar, 2024). نتایج حاکی از تیپ چارک دومی اغلب ایستگاه‌های گیلان بود. در مطالعه جدید، در سه اقلیم متمایز در ایران، الگوی ریزش‌های جوی مایع، در ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی قبات تحلیل شد (Vakili Azar et al., 2025a). ایشان از روش دودویی^۳ برای این منظور استفاده کردند. این روش، موقعیت منحنی هاف میانه را نسبت به خط نیمساز (۱:۱) در نظر می‌گیرد. در هر چارک، چنانچه منحنی هاف بالاتر از خط ۱:۱ باشد، کد یک و در غیر این صورت، کد صفر نسبت داده می‌شود. به این ترتیب، یک کد چهار رقمی (به تعداد چارک‌ها)، مرکب از صفر و/یا یک (مانند 1011 یا 1100 و ...^۴) برای هر رگبار در نظر گرفته می‌شود. در کل، ۱۶ (دو به توان چهار) تیپ بارشی با این روش برای رویدادها قابل نسبت دادن هستند (Terranova and Gariano, 2014; Vakili Azar et al., 2025a). نتایج مطالعه و کیلی‌آذر و همکاران، حاکی از وجود الگوی چارک سومی برای اغلب ایستگاه‌های استان گیلان بوده و در رگبارهای کوتاه مدت (کمتر از شش ساعت) بین اقلیم‌های مختلف ایران تفاوت معنی‌داری در چارک‌های مختلف از نظر درصد ریزش‌ها وجود نداشت (Vakili Azar et al., 2025a). به‌طوری که از پیشینه پژوهش برمی‌آید، هرچند منحنی‌های هاف در مطالعات قبلی معرفی شده ولیکن تاکنون این منحنی‌ها برای شهرهای مختلف استان آذربایجان غربی رسم نشده است. از سویی تحلیل زمانی تیپ رگبارها به روش چارکی نیز در این استان انجام نشده است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که مدل‌بندی ریاضی منحنی هاف میانه بجز در یک مورد (Vakili Azar and Dinpazhoh, 2019) که با مدل لاجستیک انجام شده، در سایر مطالعات به انجام نرسیده است. در مطالعه حاضر، بجز مدل لاجستیک، مدل‌های متعدد دیگری نیز برای این منظور آزمایش شده و مناسب‌ترین آن برای هر ایستگاه، فصل معرفی شده است که با توجه به دانش فعلی ما قبلاً در هیچ‌کدام از مطالعات در نظر گرفته نشده است. واضح است که رگبارهای طرح از منحنی‌های هاف قابل اشتقاق بوده و این رگبارها در مدل‌بندی هیدرولوژیکی به‌منظور تخمین دقیق هیدروگراف طرح از اهمیت زیادی برخوردار است، بنابراین، هدف این مطالعه، رسم

مجموعه منحنی‌های هاف با دو روش تجربی و تئوری در هر فصل و تعیین تیپ بارشی ایستگاه‌های منتخب در استان آذربایجان غربی در فصول بارانی با روش چارکی و مدلسازی منحنی هاف میانه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

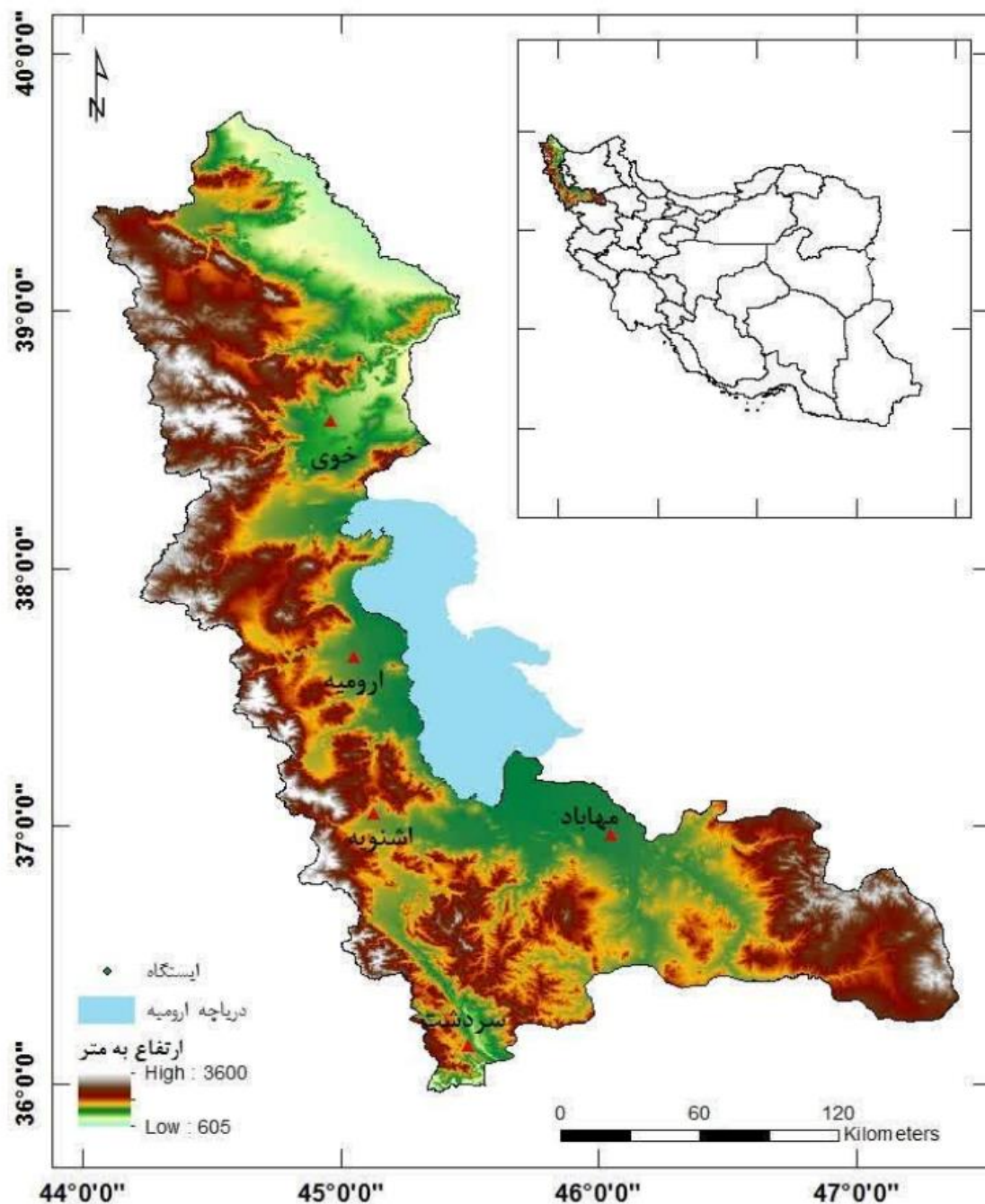
منطقه مورد مطالعه، استان آذربایجان غربی واقع در شمال غرب ایران می‌باشد. پنج ایستگاه در این استان که از داده کافی برای رسم منحنی‌های هاف و تجلیل الگوی بارش برخوردار بوده و نیز توزیع مکانی مناسب در استان داشتند، برای تحلیل انتخاب شد. بخش اعظم بارش‌های این استان غالباً در بهار نازل می‌شود. در تابستان استان مورد مطالعه غالباً گرم، بی‌باران و خشک است و به‌ندرت رگبارهای محلی ممکن است به‌طور پراکنده نازل شود. جدول ۱ موقعیت جغرافیایی و مشخصات آماری بارندگی سالانه ایستگاه‌ها و شکل ۱ موقعیت استان آذربایجان غربی را بر روی نقشه ایران، ایستگاه‌های منتخب را بر روی نقشه استان مذکور و نقشه مدل رقومی ارتفاعی DEM استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد.

Table 1- Geographical location and statistical characteristics of the annual rainfalls in the five selected stations

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات آماری بارندگی سالانه پنج ایستگاه منتخب در استان آذربایجان غربی

Station	Lat. (°)	Lon. (°)	EL. (m)	Period	Annual Cs	Annual SD (mm)	Annual Mean (mm)	No. of Storms Winter	No. of Storms Autumn	No. of Storms Spring	No. of Storms Total
Urmia	37.66	45.05	1328	2003-2016	0.97	104	292	9	24	20	53
Mahabad	36.75	45.72	1352	2004-2015	0.68	99	381	23	41	21	85
Sardasht	36.15	45.49	1557	2002-2014	-0.06	222	815	62	36	28	126
Khoy	38.56	46.99	1103	2004-2016	0.86	76	251	14	21	45	80
Oshnavieh	37.06	45.14	1414	2002-2016	0.43	109	473	24	29	24	77

Note: Mean, SD and Cs are the average, standard deviation and skewness coefficients of the recorded annual precipitation, respectively. Also EL., Lat. and Lon are the Elevation of the stations from the mean Sea level, Latitude and Longitude of the stations.



شکل ۱ - موقعیت پنج ایستگاه بارانسنجی منتخب بر روی نقشه استان و نقشه DEM استان آذربایجان غربی

Fig 1-The location of the five selected rain gage stations on the province and DEM map of the West Azarbaijan province

۲-۲- داده‌های مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده، شامل داده‌های باران ثبت شده در پنج ایستگاه باران‌سنجی ثابت استان آذربایجان غربی شامل ارومیه، مهاباد، سردشت، خوی و اشنویه می‌باشد. ایستگاه‌هایی که حداقل ۱۰ سال داده رویدادهای رگبار ثبت شده داشتند، انتخاب شدند. افزون بر این، برای تحلیل رویدادهایی انتخاب شدند که حداقل عمق بارش آن‌ها سه میلی‌متر و مدت دوام بارندگی آن‌ها حداقل ۲۰ دقیقه و گام زمانی رگبارها ۱۰

دقیقه بود. برای تشخیص رگبارهای مستقل استاندارد واحدی وجود ندارد. برای تشخیص رگبارهای مستقل از هم زمان مناسب به اقلیم منطقه و اندازه حوضه بستگی دارد. مثلاً برای اقلیم کشور اسلوونی (متوسط بارش سالانه ۱۵۰۰ میلیمتر) شش ساعت را بکار گرفته شده است (Dolsak et al. 2016). تررانوا و گاریانو فاصله زمانی بین یک ساعت تا ۱۲ ساعت را وابسته به مساحت حوضه پیشنهاد داده است (Terranova and Gariano, 2014). به نظر می‌رسد، چون اقلیم استان آذربایجان خشک و نیمه‌خشک است، به نظر می‌رسد، حداقل فاصله زمانی بین پایان بارش قبلی و آغاز بارش بعدی معادل دو ساعت مناسب باشد. زیرا بررسی مقدماتی نشان داد که اگر این فاصله زمانی بیشتر (مانند شش ساعت) گرفته شود، تعداد رویدادها برای تحلیل کاهش یافته و منحنی‌های هاف منتهی قابل اعتماد نخواهد بود. در نتیجه در مطالعه حاضر، رویدادهای بارشی که فاصله بین اتمام بارندگی قبلی تا شروع بارش بعدی دو ساعت یا کمتر از آن بودند، باهمدیگر ادغام شده و به‌عنوان یک رویداد مستقل شناخته شدند. در غیر این صورت، این دو بارش، به‌صورت جدا از هم در نظر گرفته شدند. داده‌ها از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی اخذ گردید.

جدول ۲. تعداد رگبارهای ایستگاه‌های منتخب را به‌همراه دوره آماری آن‌ها در فصول مختلف و کلاس‌های بارشی با مدت دوام متفاوت نشان می‌دهد. در این مطالعه، کل تعداد رویدادهای بارشی ۴۲۱ مورد بود. ابتدا چهار کلاس بارشی متمایز به‌شرح ۰/۳۳ تا دو ساعت، دو تا شش ساعت، شش تا ۱۲ ساعت و بیش از ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد. با توجه به خشک بودن فصل تابستان در استان مذکور و کم بودن تعداد رگبارهای فصل مذکور امکان تحلیل رویدادهای این فصل میسر نشد. بیشترین تعداد رگبارهای ثبت شده برای ایستگاه‌های ارومیه، آشنویه و خوی متعلق به کلاس بارشی با مدت دوام دو تا شش ساعت بود. مثلاً ۳۲ رگبار ثبت شده در ایستگاه آشنویه برای کلاس بارشی با مدت دوام دو تا شش ساعت موجود بود. پس از آن، بیشترین تعداد مربوط به کلاس بارشی کمتر از دو ساعت بود طوری که تعداد ۲۳ رگبار در ایستگاه آشنویه ثبت شده بود، برای ایستگاه مهاباد دو تا شش ساعت (۳۷ رگبار) و پس از آن مربوط به کلاس بارشی شش تا ۱۲ ساعت (۲۴ رگبار) موجود بود. برای ایستگاه سردشت مربوط به کلاس بارشی شش تا ۱۲ ساعت (۴۰ رگبار) و پس از آن مربوط به دو تا شش (۳۳ رگبار) بود (جدول ۲). واضح است که چون تعداد رویدادهای ثبت شده در هر فصل برای مدت دوام‌های بارش مختلف در اکثر موارد اندک است، بنابراین، برای رسم منحنی‌های هاف و هیئوگراف‌های بارشی در هر ایستگاه، همه رویدادها به‌طور یک‌جا (صرف‌نظر از مدت دوام بارش آن‌ها) تهیه گردید.

Table 2- Frequency of storms in different seasons and different durations at five selected stations in the West Azarbaijan province.

جدول ۲- فراوانی رگبارها به تفکیک فصول مختلف و مدت دوام‌های مختلف در پنج ایستگاه منتخب استان آذربایجان غربی

Station	Season	<2 hr	2-6 hr	6-12 hr	>12 hr	sum
Urmia	Spring	7	9	3	1	20
	Autumn	10	9	3	2	24
	Winter	2	3	3	1	9
	Sum	19	21	9	4	53
Mahabad	Spring	2	11	6	2	21
	Autumn	4	17	10	10	41
	Winter	2	9	8	4	23
	Sum	8	37	24	16	85
Sardasht	Spring	9	10	6	3	28
	Autumn	1	5	15	15	36
	Winter	11	18	19	14	62
	Sum	21	33	40	32	126
Khoy	Spring	21	17	6	1	45
	Autumn	3	7	10	1	21
	Winter	4	6	4	0	14
	Sum	28	30	20	2	80
Oshnavieh	Spring	9	10	3	2	24
	Autumn	6	12	7	4	29
	Winter	8	10	3	3	24
	Sum	23	32	13	9	77
total						421

۲-۳-منحنی های هاف

منحنی های هاف (Huff, 1967) را می توان به عنوان روشی برای نمایش مشخصه های رگبار مانند میزان تغییرات عمق ریزش در طول مدت ریزش (در حالت بی بعد) در نظر گرفت (Terranova and Iaquina, 2011). مجموعه منحنی های هاف شامل نه منحنی بی بعد در یک دستگاه مختصات عمود برهم است که محور افقی آن ها زمان (بی بعد) و محور قائم آن، عمق تجمعی باران (بی بعد) می باشد. این مجموعه، با استفاده از اطلاعات چندین رویداد بارشی (باران) که مستقل از هم فرض می شوند، رسم می شوند. هر یک از این منحنی ها، متعلق به یک احتمال وقوع (کمتری) می باشد که به ترتیب، از پایین به بالا، شامل احتمالات وقوع $0/1$ ، $0/2$ ، ... و $0/9$ می باشند. در این مطالعه، این منحنی ها با دو روش تجربی و تئوری (برازش توزیع آماری به داده ها) برای یکایک ایستگاه های منتخب در استان آذربایجان غربی رسم و نشان داده شدند.

۲-۳-۱-روش تهیه منحنی هاف تجربی

در روش تجربی، برای تخمین احتمال کمتری وقوع رگبار از فن موقعیت نموداری مانند ویبول استفاده می شود (Dolsak et al. 2016). برای تهیه منحنی هاف تجربی در هر ایستگاه و فصل نمودار بارش تجمعی برای یکایک رویدادها رسم گردید. آنگاه منحنی های بی بعد رگبارها در هر ایستگاه، به تفکیک فصل تهیه شد. مقادیر بی بعد بارش، برای هر کدام از زمان های جزئی ده، 20 ، ... و 100 درصد محاسبه گردید و نمودارهای همه رویدادهای آن ایستگاه و فصل در یک دیاگرام تهیه شد. این عمل، برای همه ایستگاه ها تکرار گردید. پس از آن، منحنی های هاف تجربی برای نه احتمال معین (10 درصد، 20 درصد، ... و 90 درصد) تهیه شد. برای این منظور، ابتدا در زمان 10 درصد، کلیه درصدهای عمق بارش رگبارها به صورت صعودی مرتب شدند و مقدار درصد عمق بارش در دهک اول تخمین زده شد. این عمل، برای دهک دوم، سوم، ... و دهم تخمین تکرار شد. در هر دهک، این ارقام، به تعداد نه تا، بر روی خط قائمی که از محل ده درصد زمان رسم می شد، مشخص و نشانه گذاری شدند. نشانه اول از قسمت پایین، متعلق به منحنی هاف 10 درصد، نشانه دوم، از پایین، متعلق به منحنی هاف 20 درصد، ... و نشانه آخر از پایین، متعلق به منحنی هاف 90 درصد بود. همه این ارقام، متعلق به بازه زمان بی بعد 10 درصد بودند. به طور مشابه، عمل مذکور برای زمان های بی بعد 20 ، 30 و 90 درصد، انجام شد. از وصل نشانه های پایین رسم شده که بر روی نه خط قائم بودند، منحنی هاف 10 درصد حاصل شد. یادآوری می شود که خطوط قائم از موقعیت های زمان های بی بعد 10 ، 20 ، ... تا 90 درصد در نظر بوده و نیز مبدا و انتهای همه منحنی ها به ترتیب، نقاط با مختصات $(0, 0)$ و $(100, 100)$ بود. پس از رسم منحنی هاف 10 درصد، منحنی هاف 20 درصد رسم شد. برای رسم منحنی هاف 20 درصد، نشانه های دوم از پایین که بر روی خطوط قائم نه گانه (درصد زمان های مختلف) رسم شده بودند، به هم وصل شدند. با این عمل، منحنی هاف 20 درصد بصورت خطوط شکسته بالای منحنی اول در همان نمودار رسم شد. مبدا و انتهای منحنی هاف دوم نیز همانند منحنی قبلی (10 درصد) ثابت بود. منحنی هاف سوم، چهارم و ... و نهم نیز به طور مشابه رسم شدند. مجموعه منحنی های هاف، برای فصل های دیگر، در همان ایستگاه نیز تهیه گردید. برای هر فصل و ایستگاه، یک سری منحنی هاف استخراج شد. در هر فصل (به جز تابستان که رویداد بارشی آن برای تحلیل ناکافی بود)، مجموعه نه منحنی هاف با احتمالات مختلف ($0/1$ ، $0/2$ ، ... و $0/9$ درصد) در یک دیاگرام رسم و در ادامه نشان داده شدند.

۲-۳-۲-روش تهیه منحنی های هاف تئوری

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از نرم افزار EasyFit مقادیر بارش جزئی (بی بعد شده) رگبارها در فواصل زمانی مختلف (بی بعد شده) به صفحه گسترده آن منتقل گردید. در هر بازه زمانی بی بعد، به تعداد کل رگبارهای یک ایستگاه، داده در نظر گرفته شد که این داده ها با توزیع های آماری مختلف (سری داده های بارش بی بعد به تعداد رگبارها برای زمان بی بعد معین) برازش داده شدند و مناسب ترین توزیع آماری هر مورد انتخاب گردید. پس از آن، پارامترهای توزیع آماری منتخب با استفاده از روش حداکثر درست نمایی تخمین زده شدند. آنگاه، زمان بی بعد 10 درصد در نظر گرفته شد و مقادیر چندک ها (نه رقم) متناظر با احتمالات کمتری $0/1$ ، $0/2$ ، ... و $0/9$ از تابع چندک توزیع منتخب محاسبه شد. این کار، برای بازه های زمانی دیگر (20 ، 30 ، ... و 90 درصد) نیز تکرار شد. در کل، تعداد 81 چندک، با استفاده از نه تابع چندک (هر تابع متناظر با یک خط قائم از زمان بی بعد به فواصل ده درصد) محاسبه شد. مشابه روش تجربی، نقاط علامت گذاری شده، روی نه خط

قائم (هر خط قائم نه نشانه) به ترتیب، از مبدا مختصات تا انتها با مختصات (۱۰۰ و ۱۰۰) به ترتیب، به هم متصل شدند. این کار مجموعه منحنی‌های هاف تئوری هر مورد (ایستگاه-فصل) را فراهم ساخت.

۲-۴- رسم هیتوگراف رگبار

در این مطالعه، هیتوگراف رگبار، نمودار مستطیلی است که مقدار عمق بارش بی‌بعد را در مدت معینی از زمان بارش بی‌بعد نشان می‌دهد. در این مطالعه، زمان بارش باز هم در فواصل زمانی مساوی معادل ۱۰ درصد (به صورت کسری شامل ۰/۱، ۰/۲، ... و ۰/۹) در نظر گرفته شد. مقدار عمق بارش بی‌بعد رسیده، در هر زمان جزئی، برابر با ارتفاع مستطیل قائم در نظر گرفته شد. در این مطالعه، هیتوگراف رگبارها با توجه به منحنی هاف با احتمال کمتری ۰/۵ (موسوم به منحنی هاف میانه) برای یکایک ایستگاه‌ها، در فصول مختلف رسم شد. در این مطالعه، با استفاده از منحنی هاف میانه برای هر فصل در هر ایستگاه، هیتوگراف رگبار طرح از تفاضل مقدار ارتفاع منحنی هاف میانی در دو بازه زمانی متوالی به دست آمد. به این ترتیب، تعداد نه عدد برای درصد باران جزئی بی‌بعد در فواصل زمانی مساوی ده درصد حاصل شد. مقادیر مذکور به صورت هیستوگرام برای هر فصل و ایستگاه رسم و در بخش نتایج و بحث نشان داده شدند.

۲-۵- روش چارکی

در روش چارکی، باتوجه به عمق کل بارندگی هر رویداد، درصد عمق بارش در هریک از چهار چارک زمانی در نظر گرفته شده و آن چارکی که بیشترین درصد بارش در آن اتفاق افتاده، به عنوان تیپ بارش ایستگاه منظور شد. برای این منظور، در مطالعه حاضر، برای منحنی هاف میانه یک معادله ریاضی برایش شد. آنگاه سطح زیر منحنی هاف میانه در هر یک از چهار چارک زمانی با انتگرال گیری معین از تابع ریاضی نماینده منحنی هاف میانه تخمین زده شدند. سطح زیر منحنی در هر چارک محاسبه و با سطح زیر خط ۱:۱ مقایسه شد. اختلاف این دو سطح در هر چارک در جدولی درج گردید.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ نمودار بارش تجمعی رگبارهای فصل بهار (به عنوان نمونه در ایستگاه خوی) را نشان می‌دهد (شکل ۲-الف). به طوریکه از این شکل می‌توان فهمید، طول مدت بارش، نه تنها از یک رویداد به رویداد دیگر متفاوت است بلکه همه منحنی‌ها تراکمی و غیرنرغولی هستند. در شکل ۲-الف، بعد محور افقی زمان و بعد محور قائم عمق است. برای بی‌بعد کردن هر زمان جزئی به مدت دوام رگبار تقسیم شد و به طور مشابه هر عمق جزئی به عمق کل بارش تقسیم گردید. شکل ۲-ب، نمونه بی‌بعد شده رویدادهای مختلف را در ایستگاه نمونه خوی در یک دیاگرام نشان می‌دهد. بطوریکه از شکل ۲-ب می‌توان دید، همه این نمودارها متعلق به یک ایستگاه و فصل معین بوده و حالت نامنظم داشته ولی همه آن‌ها از یک مبدا شروع شده و به یک نقطه با مختصات (۱۰۰٪ و ۱۰۰٪) ختم می‌شوند. واضح است که تعداد این منحنی‌ها، دقیقاً با تعداد رگبارهای ثبت شده برابر است. هرچند مشابه این نمودارها برای همه ایستگاه‌ها و فصول بارانی رسم شده‌اند ولیکن به منظور ایجاز همه آن‌ها نشان داده نشده است.

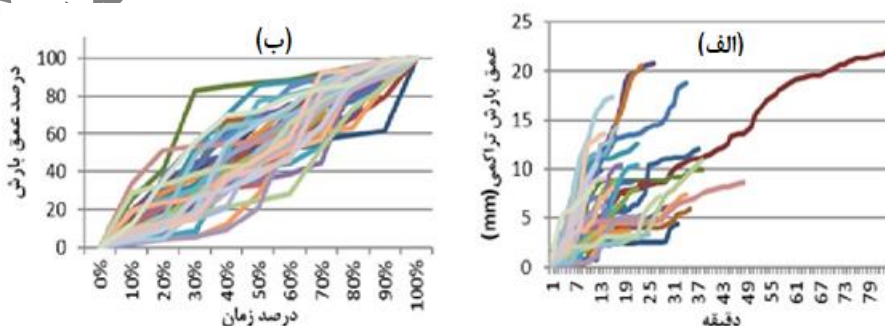


Fig. 2- Cumulative rainfall depth curves and dimensionless cumulative storms in spring at the representative station Khoy. a) Cumulative rainfall depth curves and b) dimensionless cumulative storm curves (empirical)

شکل ۲- منحنی‌های تجمعی عمق بارش و منحنی‌های بی‌بعد تجمعی رگبارهای بهار در ایستگاه نمونه خوی. الف) منحنی‌های تجمعی عمق بارش، ب) منحنی‌های بی‌بعد تجمعی رگبارها (تجربی)

شکل ۳ مجموعه منحنی‌های هاف رسم شده با روش تجربی را برای ایستگاه‌های منتخب و برای هر فصل (جز تابستان) نشان می‌دهد. به‌طوری‌که می‌توان دید، برای هر فصل و ایستگاه تعداد نه منحنی رسم شده که به ترتیب، از پایین به بالا، متعلق به احتمالات وقوع ۱۰، ۲۰، ... و ۹۰ درصد هستند. همانگونه که از شکل دیده می‌شود، منحنی‌ها به‌صورت خطوط شکسته هستند. به عبارت بهتر، هر منحنی از مجموعه پاره خط‌های متصل به هم حاصل شده است. پایین‌ترین منحنی، در این مجموعه منحنی‌های نه‌گانه مقدار عمق باران بی‌بعد را در زمان‌های جزئی بی‌بعد به‌ازای احتمال کمتری ۱۰ درصد نشان می‌دهد. مفهوم آن این است که تنها در ده مورد از ۱۰۰ مورد رویداد بارشی، مقدار عمق باران بی‌بعد از عددی که از شکل قابل استنباط است، کمتر بوده و در ۹۰ مورد بیشتر است. به همین ترتیب، منحنی دوم (از پایین) متعلق به احتمال کمتری ۲۰ درصد و ... و منحنی بالایی به احتمال کمتری ۹۰ درصد تعلق دارد. این نه منحنی، به‌جز در مبدا و مقصد که به هم می‌رسند، همدیگر را قطع نمی‌کنند.

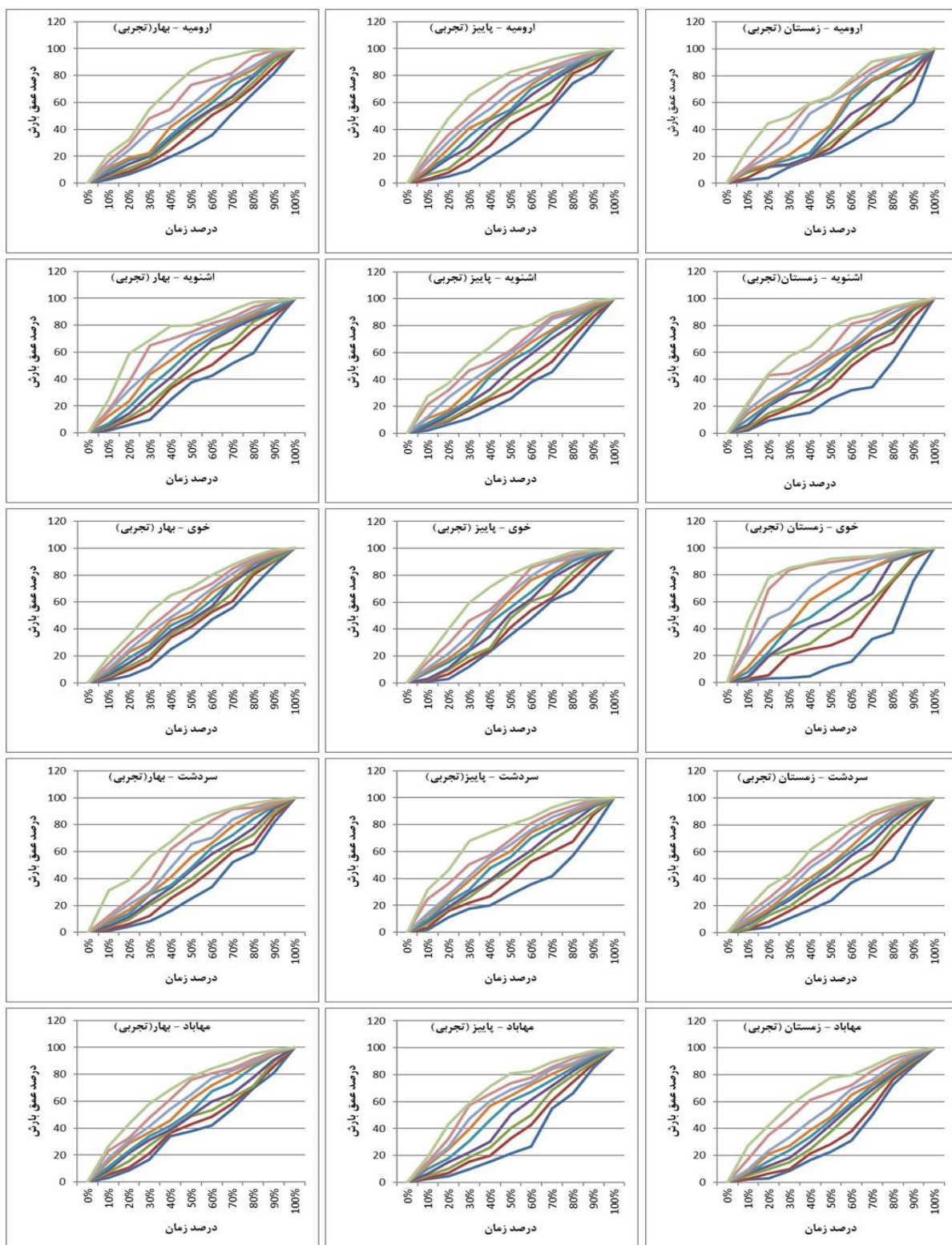


Fig. 3-Empirical Huff curves of the selected stations in the West Azarbaijan province in the three rainy seasons

شکل ۳ - منحنی‌های هاف تجربی ایستگاه‌های منتخب در استان آذربایجان غربی و در سه فصل بارانی

شکل ۴ مجموعه منحنی‌های هاف را که با روش تتوری (برازش توزیع‌های آماری) رسم شده در ایستگاه‌های منتخب در سه فصل بارانی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در اشنویه، بخش اعظم بارش‌های فصل بهار در همان ابتدا نازل می‌شود. در این ایستگاه، توزیع بارش‌های پاییز در طول مدت دوام آن نسبت به رویدادهای بهار و زمستان یکنواخت‌تر هستند. از طرفی، در اشنویه در پاییز، فاصله قایم دو منحنی فوقانی و تحتانی در مقایسه با دو فصل دیگر کمتر است. مفهوم آن این است که در اشنویه، واریانس عمق‌های ریزش باران‌های پاییزه کمتر از دیگر فصول است. به عبارت بهتر، هرچه فاصله منحنی پایینی و بالایی کمتر باشد (منحنی‌ها بهم نزدیک باشند)، تغییرپذیری در ریزش‌ها کمتر است. طوریکه اگر به فرض محال، همه نه منحنی روی هم (روی منحنی میانه) افتند، توزیع زمانی رویدادها از رگباری به رگبار دیگر کاملاً مشابه خواهد بود. در ارومیه، مشابه اشنویه، فاصله بین منحنی بالایی و تحتانی در پاییز کمتر از بهار و زمستان است. در مقایسه دو ایستگاه، باید اذعان کرد که بارش‌های اشنویه در پاییز نسبت به بارش‌های ارومیه در همان فصل یکنواخت‌تر است. در خوی، فاصله بین منحنی‌ها در فصل زمستان در مقایسه با دو فصل دیگر بیشتر است. این نتیجه، متفاوت بودن شرایط بارندگی در طول ریزش آن را از یک رویداد به رویداد دیگر نشان می‌دهد. در عین حال، در دو فصل بهار و پاییز نیز فاصله منحنی‌های فوقانی بیشتر از منحنی‌های تحتانی که دارای یکنواختی بیشتری است، می‌باشد. در خوی، شدت ریزش‌ها در نیمه اول و نیمه دوم تقریباً به حالت مساوی است. در سردشت، الگوی مجموعه نه منحنی هاف در زمستان یکنواخت‌تر است. حتی فاصله منحنی هاف بالاتر از نیمساز تقریباً مساوی با فاصله نظیر در پایین‌تر از نیمساز است. اما در پاییز، منحنی‌ها به‌ویژه در قسمت تحتانی از هم باز می‌شوند که حاکی از تغییرپذیری زیاد ریزش باران‌های پاییز است. در بهار، شدت بارش‌ها در مورد رویدادهایی که عمق باران زیادی دارند، بیشتر و غیریکنواخت‌تر از بارش‌های قسمت تحتانی است. در مهاباد، فرم منحنی‌ها در زمستان و بهار نسبت به فصل پاییز متفاوت است. طوریکه، منحنی‌های پایینی (زیر منحنی هاف میانه)، در مقایسه با منحنی‌های فوقانی، از همدیگر فاصله کمتری دارند. این نشان می‌دهد که تغییرپذیری بالا در ریزش‌ها متمرکز بر الگوی بارش‌های با عمق زیاد است. برعکس، رویدادهای با مقدار بارش کم، اغلب مشابه هم بوده و واریانس (تغییرپذیری) کمی دارند. باید اذعان کرد که این نتیجه برای رگبارهای فصل پاییز در مهاباد صادق نیست.

هیستوگرام نظیر هیتوگراف رگبارها را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در فواصل زمانی جزئی ۱۰ درصد در سه فصل متمایز نیز رسم شد (نشان داده نشده است). می‌توان نتیجه گرفت که در اکثر ایستگاه‌ها در فصل بهار بیشترین درصد ریزش متعلق به اواسط زمان بارندگی می‌باشد. این ایستگاه‌ها شامل ارومیه، سردشت و مهاباد می‌باشد. در اشنویه و خوی بیشترین درصد ریزش متعلق به نیمه اول بارندگی (۳۰ درصد زمان در اشنویه و ۴۰ درصد زمان در خوی) می‌باشد. افزون بر این، در بهار کمترین مقدار ریزش در همه ایستگاه‌ها متعلق به دهک آخر زمان بارندگی است. در فصل پاییز بیشترین درصد ریزش در دو ایستگاه خوی و مهاباد متعلق به اواسط بارندگی می‌باشد. در اشنویه، بیشترین درصد ریزش پس از سپری شدن نیمی از بارش (۶۰ درصد)، اما برای سردشت و ارومیه بیشترین درصد ریزش قبل از سپری شدن نیمی از بارش (۴۰ درصد برای سردشت و ۳۰ درصد برای ارومیه) بود. در فصل زمستان و برای اشنویه و سردشت بیشترین درصد ریزش در ثلث سوم زمان بارندگی (حدود ۷۰ درصد زمان) و برای مهاباد، ارومیه، و خوی به ترتیب، متعلق به بازه‌های زمانی ۶۰-۵۰ و ۲۰ درصد زمان تداوم بارش بود. لازم به ذکر است که هیتوگراف‌ها براساس منحنی هاف میانی رسم شده‌اند که نشان دهنده متوسط بارش‌ها در کل رویدادها می‌باشد و طبیعی است که از یک رویداد به رویداد دیگر می‌تواند الگوی هیتوگراف‌ها تغییر کند. بنابراین، اگر برای عملیات شهرسازی ابعاد آبروهای کنار خیابان‌ها طراحی در نظر باشد، بهتر است از هیتوگراف‌های رسم شده (در شکل مذکور) استفاده شود و همچنین برای هدایت سیلاب‌های سهمگین در مسیر آن، لازم است علاوه بر هیتوگراف‌ها، مساحت حوضه و مدت دوام بارش نیز دخالت داده شود.

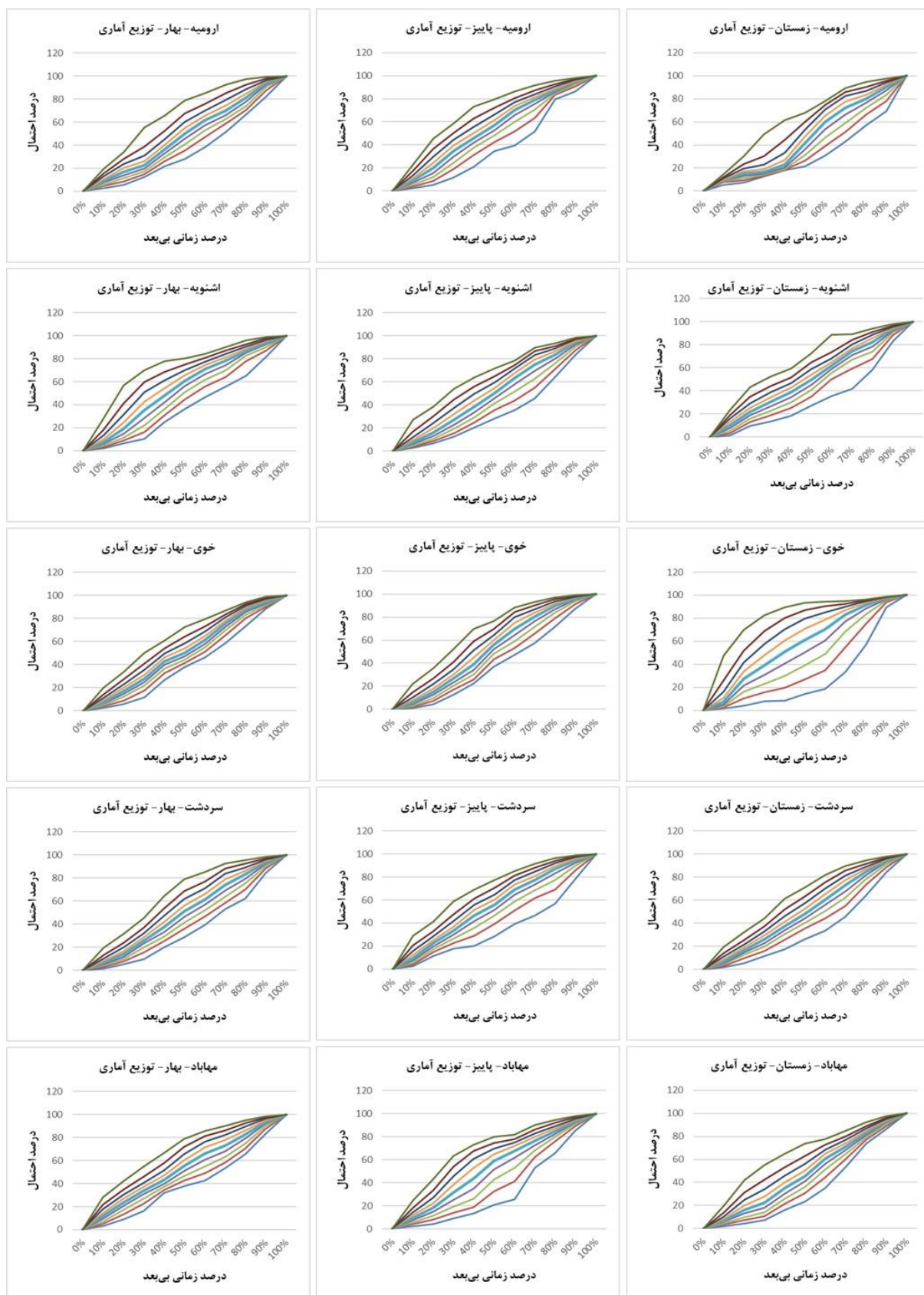


Fig. 4- Theoretical Huff curves (from fitting the statistical distributions) for the selected three distinct seasons

شکل ۴ - منحنی‌های هاف تئوری (از برازش توزیع‌های آماری) در ایستگاه‌های منتخب در سه فصل متمایز

جدول ۳ خلاصه نتایج روش چارکی برای ایستگاه‌های منتخب در سه فصل بارانی را نشان می‌دهد. در این جدول، فرم ریاضی منحنی برازش داده شده به منحنی هاف میانه برای هر یک از ایستگاه‌ها به همراه ضرایب مدل منتخب (ستون‌های ۳ و ۴ از راست) درج شده است. در ضمن، براساس منحنی هاف میانی، مساحت زیر منحنی با مدل برای هر چهار چارک با انتگرال‌گیری معین محاسبه و در ستون‌های ۵ تا ۸ درج شده است. افزون بر این، ستون‌های ۹ تا ۱۲ اختلاف مساحت زیر منحنی هاف میانه با مساحت زیر خط نیمساز به ترتیب، در چارک‌های اول تا چهارم را نشان می‌دهد. در ردیف آخر جدول، تیپ بارشی باتوجه به بیشترین اختلاف در ستون‌های اخیر درج شده است. مثلاً برای ارومیه، در بین این چهار ستون بزرگ‌ترین عدد ۵۲/۵ بوده که مربوط به اختلاف با نیمساز در چارک آخر با نماد Q_4 است. با توجه به این واقعیت که اختلاف نیمساز با سایر چارک‌ها کمتر از این رقم هستند، بنابراین، تیپ بارشی ارومیه چارک چهارمی بوده که در ستون آخر، برای هر فصل (در جدول ۳) درج شده است. به‌طوری که از این جدول می‌توان دریافت، در فصل بهار، سه ایستگاه از بین پنج ایستگاه استان آذربایجان غربی، دارای تیپ بارشی چارک چهارمی می‌باشد. این سه ایستگاه شامل ارومیه، خوی و سردشت می‌باشند. ایستگاه‌های آشنویه و مهاباد نیز دارای تیپ بارشی چارک سومی بودند. نتایج نشان داد که در فصل پاییز، تیپ بارشی همه ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی چارک سومی بود. به‌طوری که از جدول ۳ (بخش فصل زمستان) می‌توان فهمید، در زمستان، تیپ بارشی چهار ایستگاه ارومیه، آشنویه، سردشت و مهاباد چارک چهارمی ولی تیپ نظیر ایستگاه خوی چارک سومی بود. این نتیجه با یافته‌های مرادی‌نژادی و همکاران (Moradnezehadi et al., 2016) که باران‌های ایستگاه نوشهر واقع در شمال ایران را مطالعه کردند، همخوانی ندارد، زیرا بنا به گزارش ایشان، در تمامی وقایع ۲۴ ساعته استخراج شده، بیشترین میزان بارندگی نوشهر در چارک اول رخ می‌دهد و در غالب رخدادهای بارش از ابتدا تا انتهای زمان بارش، شدت بارش به‌طور مداوم کمتر می‌شود. افزون بر این، مطالعه نورا و همکاران (Noura et al., 2012) در ایستگاه زابل هم نشان داد که بیشترین میزان بارندگی زابل (۴۵ درصد رگبارها) نیز در چارک اول رخ می‌دهد، که با یافته‌های مطالعه حاضر مغایرت دارد. مطالعه دین‌پژوه و علوی (Dinpashoh and Alavi, 2024) نیز در منطقه خورستان نشان داد که در فصل زمستان برای رگبارهای با مدت دوام طولانی اوج بارش‌ها در ایستگاه سد دز و گتوند، در دهک هفتم، در ایستگاه اهواز در دهک ششم و در ایستگاه عبدالخان در دهک سوم نازل می‌شود. این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد.

نتایج رویدادهای فصل بهار نشان داد که در ارومیه، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک‌های اول تا سوم حدود هفت درصد کمتر و در چارک چهارم، این سطح ۲/۴ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در آشنویه، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک اول حدود ۱۲ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در مجموع سه چارک بعدی این سطح ۱۱/۲۲ درصد بیشتر از سطح زیر نیمساز بود. در خوی، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک‌های اول و دوم در مجموع حدود ۴/۸ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در دو چارک بعدی این سطح ۵/۷۶ درصد بیشتر از سطح زیر نیمساز بود. در سردشت، سطح زیر منحنی هاف میانه در دو چارک اول در مجموع حدود ۱۳/۵۲ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در دو چارک آخر در مجموع این سطح ۳/۳۹ درصد بیشتر از سطح زیر نیمساز بود. در مهاباد، سطح زیر منحنی هاف میانه در همه چارک‌ها در مجموع حدود ۶/۷۸ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی منحنی هاف میانه در بهار بین ایستگاه‌ها کم و بیش متفاوت است.

نتایج فصل پاییز نشان داد که در ارومیه، سطح زیر منحنی هاف میانه در همه چارک‌ها در مجموع حدود ۹/۹ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در آشنویه، سطح زیر منحنی هاف میانه در دو چارک اول در مجموع حدود ۸/۴۸ درصد کمتر و در دو چارک آخر در مجموع این سطح ۵/۲۳ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در خوی، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک اول حدود ۲۳/۸۴ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در سه چارک بعدی، این سطح ۸/۸۲ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در سردشت، سطح زیر منحنی هاف میانه در هر چهار چارک، در مجموع، حدود ۹/۶۸ درصد بیشتر از سطح نظیر خط ۱:۱ بود. در مهاباد، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک اول، حدود ۷/۵۲ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در سه چارک بعدی، در مجموع، ۸/۵۴ درصد بیشتر از سطح زیر خط ۱:۱ بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی منحنی هاف میانه در پاییز نیز بین ایستگاه‌ها کم و بیش متفاوت است.

نتایج فصل زمستان نشان داد که در ارومیه، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک‌های اول تا سوم حدود ۱۵/۴۱ درصد کمتر و در چارک چهارم این سطح ۳/۴ درصد بیشتر از سطح نظیر خط ۱:۱ (نیمساز) بود. در آشنویه، سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک اول حدود ۶/۸۸ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز، در چارک دوم ۰/۱۶ درصد کمتر از سطح زیر نیمساز و در دو چارک آخر، در مجموع، ۳/۲۵ درصد

بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در خوی، سطح زیر منحنی هاف میانه در همه چارک‌ها ۱۴/۱۴ درصد بیشتر از سطح نظیر خط نیمساز بود. در سردشت، سطح زیر منحنی هاف میانه در دو چارک اول در مجموع حدود ۱۱/۹۲ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در دو چارک آخر، در مجموع، این سطح ۳/۸۱ درصد بیشتر از سطح زیر نیمساز بود. در مهاباد، سطح زیر منحنی هاف میانه در سه چارک اول، در مجموع، حدود ۸/۳۴ درصد کمتر از سطح نظیر خط نیمساز و در چارک آخر ۲/۶۷ درصد بیشتر از سطح نظیر خط ۱:۱ بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی منحنی هاف میانه در زمستان هم در بین ایستگاه‌ها کم و بیش متفاوت است.

نتایج فصل بهار نشان داد که بیشترین اختلاف بین سطح زیر منحنی هاف میانه با سطح نظیر خط ۱:۱ در چارک اول متعلق به ارومیه (معادل ۸۰/۵-) و در چارک‌های دوم و سوم هر دو متعلق به اشنویه به ترتیب، معادل ۱۶۸/۵ و ۲۶۷/۵ واحد مربع و در چارک چهارم متعلق به مهاباد معادل ۱۰۲/۵ واحد مربع بود. در فصل پاییز، بیشترین اختلاف بین سطح زیر منحنی هاف میانه با سطح نظیر خط ۱:۱ در چارک اول متعلق به اشنویه (معادل ۹۴/۵-) و در چارک‌های دوم متعلق به ارومیه و سردشت هر دو معادل ۱۲۵/۵ واحد مربع و در چارک‌های سوم و چهارم هر دو متعلق به خوی به ترتیب، معادل ۲۱۹/۵ و ۱۷۴/۵ واحد مربع بود. در فصل زمستان، بیشترین اختلاف بین سطح زیر منحنی هاف میانه با سطح نظیر خط ۱:۱ در چارک‌های اول و دوم متعلق به ارومیه به ترتیب، معادل ۹۴/۵- و ۳۰۴/۵- واحد مربع و در چارک‌های سوم و چهارم هر دو متعلق به خوی به ترتیب، معادل ۲۹۸/۵ و ۱۷۴/۵ واحد مربع بود.

به نظر می‌رسد، تحلیل منحنی‌های هاف در ایستگاه‌های باران‌سنج خودکار، که تعداد رویدادهای باران در مقایسه با تعداد نظیر برف بیشتر است، از اعتبار و کارایی بیشتری برخوردار است. تیپ اغلب رگبارهای ایستگاه‌های استان مازندران در کلاس‌های بارشی مختلف، از نوع چارک دومی گزارش شده است (Vakili Azar et al., 2025a; Vakili Azar et al., 2025b). در مطالعه مشابه، تیپ رگبارهای استان گلستان نیز از نوع چارک دومی گزارش شده است (Dinpashoh et al. 2024). در مطالعه‌ای که برای رگبارهای ایستگاه‌های مختلف استان گیلان انجام شده، تیپ رگبارها چارک دومی گزارش شده است (Dinpashoh and Vakili Azar, 2024). این نتیجه با یافته‌های حاضر در مورد رگبارهای استان آذربایجان غربی همخوانی ندارد. شاید علت آن نزدیکی ایستگاه‌های مطالعه شده در استان‌های شمالی کشور به دریای خزر و در نتیجه تفاوت اقلیم در دو استان باشد. ثابت شده است که رگبارهایی که بخش اعظم عمق بارش در آن در نیمه اول زمان وقوع آن نازل می‌شود در مقایسه با رگبارهایی که بخش اعظم عمق بارش آن در نیمه دوم زمان وقوع آن نازل می‌شود، از نظر میزان دبی اوج سیل از اهمیت ناچیزی برخوردار است (Dolsak et al., 2016).

در این مطالعه، برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها، مقادیر مشاهداتی رگبارها با مقادیر نظیر حاصل از منحنی هاف میانی با معیار ضریب تعیین (R^2) مقایسه شد. این کار برای هر ایستگاه و فصل بطور جداگانه انجام شد. مقادیر حداقل، میانه، چارک‌های اول و سوم و حداکثر در هر مورد به دست آمد. جدول ۴ مقادیر مذکور را برای هر ایستگاه و فصل نشان می‌دهد. بطوریکه از جدول ۴ می‌توان استنباط کرد میانه مقادیر R^2 در هیچ موردی از ۰/۸۸۵ (در خوی و بهار) کمتر نبود. حداکثر مقدار ضریب تعیین در بین ایستگاه‌ها و فصول بین ۰/۹۷۹ (در خوی و زمستان) تا ۰/۹۹۸ (در اشنویه و زمستان) تغییر می‌کند.

جدول ۴- مقادیر حداقل، حداکثر میانه، چارک‌های اول و سوم آماره ضریب تعیین (R^2) برای ایستگاه‌های منتخب در استان آذربایجان غربی

آماره	ایستگاه	بهار	پاییز	زمستان	ایستگاه	بهار	پاییز	زمستان	ایستگاه	بهار	پاییز	زمستان
MIN		0.827	0.710	0.840		0.772	0.608	0.686		0.787	0.674	0.677
MAX		0.993	0.997	0.982		0.995	0.989	0.996		0.992	0.995	0.997
MED	ارومیه	0.953	0.926	0.958	مهاباد	0.950	0.928	0.939	سردشت	0.954	0.941	0.959
Q1		0.862	0.896	0.880		0.899	0.889	0.909		0.905	0.874	0.918
Q3		0.979	0.987	0.972		0.973	0.958	0.980		0.972	0.979	0.980
MIN		0.746	0.743	0.679		0.788	0.805	0.732				
MAX		0.996	0.986	0.979		0.992	0.992	0.998				
MED	خوی	0.963	0.958	0.885	اشنویه	0.947	0.944	0.949				
Q1		0.920	0.933	0.763		0.887	0.917	0.896				
Q3		0.981	0.976	0.961		0.970	0.977	0.973				

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. الف) در استان آذربایجان غربی، قسمت اعظم بارش به‌صورت باران و در ارتفاعات به‌صورت برف نازل می‌شود. هرچند ثبت عمق کل بارش باران در ایستگاه‌ها به آسانی میسر بوده، ولی ایستگاه ثابت باران‌سنجی در همه نقاط استان موجود نیست. در استان آذربایجان غربی، تعداد ایستگاه‌هایی که چنین دستگاه خودکار در آن‌ها وجود دارد، اندک بوده و سابقه اندازه‌گیری در آن‌ها به دلیل تازه تاسیس بودن طولانی نیست. افزون بر این، چون ثبت بارش برف در زمان‌های جزئی توسط دستگاه باران‌نگار خودکار امکان‌پذیر نمی‌باشد، بنابراین، نتایج مطالعه حاضر، فقط برای رویدادهایی که به‌صورت باران نازل می‌شود اعتبار دارد. ب) چون در فصل تابستان تعداد رویدادهای بارشی در استان آذربایجان غربی بسیار اندک است رگبارهای تابستان در این استان قابل تحلیل نشد. ج) چون تحلیل رگبارها به تفکیک کلاس‌های بارشی با تداوم‌های مختلف به دلیل کم بودن تعداد رگبارها (در اکثر کلاس‌ها با مدت دوام‌های مختلف) مقدور نبود، به همین دلیل، در مطالعه حاضر، کل رگبارهای هر ایستگاه، در هر فصل (بجز تابستان) صرف‌نظر از مدت دوام آن‌ها، به‌طور یک‌جا تحلیل شد. هرچند مطالعات ثابت کرده است که در یک منطقه، الگوی ریزش‌ها با مدت دوام‌های مختلف (مانند ۱۲ ساعت و شش ساعت) می‌تواند متفاوت باشد (Dolsak et al., 2016). هرچند برای رسم منحنی‌های هاف با اعتبار بالا حدود ۱۲۰ رویداد رگباری مایع نیاز است (Bonta and Shahlam, 2003)، اما تعداد رویدادهای مورد استفاده ایستگاه‌های منتخب در این مطالعه کمتر از این مقدار است. سوال این است که آیا در شرایط فعلی که حداقل ۱۲۰ رویداد در دسترس نیست، تحلیل رگبارها بی‌فایده است؟ اگر بخواهیم تحلیل را با ۱۲۰ رویداد برای یک فصل (مانند پاییز) انجام دهیم با در نظر گرفتن اقلیم خشک و نیمه‌خشک منطقه، باید سال‌ها صبر کرد تا سازمان متولی اندازه‌گیری رویدادها را ثبت و در اختیار محقق قرار دهد. به‌نظر می‌رسد که تحلیل رویدادهای در شرایط فعلی (ولو با تعداد کم ولی معقول) خالی از فایده نیست. زیرا راه برای گسترش دانش بومی در زمینه هیدرولوژی رگبارها هموار می‌شود و در صورتی که با گذشت زمان بر تعداد رویدادها افزوده شود، مطالعه تکمیلی بسیار معتبر و مفید خواهد بود. در حال حاضر، اغلب ایستگاه‌های باران‌سنجی ثابت در ایران و به‌ویژه در استان آذربایجان غربی تازه تاسیس هستند، از سویی غالباً رویدادهای برفی در ایران با این دستگاه‌ها اندازه‌گیری نمی‌شوند، این واقعیت، منجر به کم شدن تعداد رویدادهای مایع در یک فصل و ایستگاه شده است. افزون بر این، چون اقلیم استان مورد مطالعه، خشک و نیمه‌خشک بوده و طبعاً باران در طول یک سال یا فصل به دفعات کم می‌بارد، بنابراین، به‌نظر می‌رسد، کم بودن تعداد رویدادهای مطالعه حاضر در مقایسه با ایستگاه‌های واقع در کشورهای اروپایی که اقلیم آن‌ها غالباً مرطوب (مدیترانه‌ای) است طبیعی است. بر این اساس، سایر هیدرولوژیست‌ها نیز مطالعه خود را با تعداد رویداد اندک به انجام رسانده‌اند. مثلاً پان و همکاران در تحقیق خود از تعداد کمتر از حد توصیه شده (۷۱ رویداد) منحنی‌های هاف را در شهر گوانگ‌ژو در چین استفاده کرده است (Pan et al., 2017). ایشان، پس از تفکیک رگبارها برحسب مدت دوام ریزش با تعداد بسیار کمتری (مانند ۷ رویداد برای بارش‌های با تداوم بیش از ۶ ساعت) به تحلیل پرداختند. نورا و همکاران نیز در استان سیستان و بلوچستان از ایستگاه‌های خاش، سراوان، ایرانشهر، چابهار، نیک شهر و کهیر که همه کمتر از تعداد رویداد پیشنهادی بوتا و شاهلم رویداد داشتند، مطالعه کردند (Noura et al., 2012). وکیلی‌آذر و همکاران برای سه اقلیم ایران کار مشابهی انجام دادند که در آن تعداد رویدادها در اغلب ایستگاه‌ها (مانند پاتاوه، تنگبریم، یاسوج، تبریز، و سراب) کمتر از ۱۲۰ رویداد بوده است. حتی در کار ایشان، برخی ایستگاه‌ها در استان پرباران گیلان (مانند خرفه گیل، هشتر) و در استان پرباران گلستان (مانند آق‌قلا و مراوه‌تپه) نیز تعداد رویدادهای ثبت شده کمتری داشتند (Vakili Azar et al., 2025a). به همین دلیل، تکرار مطالعه فعلی، هر از پنج سال یکبار توصیه می‌شود. لازم است در استفاده از نتایج این مطالعه جانب احتیاط رعایت شود.

توزیع زمانی بارش‌ها در طول مدت دوام آن‌ها می‌تواند به‌طور معنی‌دار سایر فرایندهای هیدرولوژیکی نظیر سیلاب را تحت تأثیر قرار دهد (Dolsak et al., 2016). نظر به اینکه مدل‌های هیدرولوژیکی و کیفیت آب نیازمند داشتن آمار طولی بارش در فواصل زمانی کم (در حد دقیقه) هستند (Bonta and Shahlam, 2003) و ممکن است، بارش‌های یک ایستگاه در فصول مختلف از سامانه‌های بارشی متفاوت نازل شود، در فصول بارانی، حتی در یک ایستگاه، الگوی رویدادهای بارشی ممکن است از فصلی به فصل دیگر متفاوت باشد. همچنین ثابت شده است که این الگو حتی از نظر مدت زمان تداوم رگبارها با هم‌دیگر متفاوت است (Dinpashoh and Alavi, 2024). به‌همین دلیل، برای مطالعه الگوی ریزش رگبارها از داده‌های بی‌بعد شده (نسبت عمق باران در زمان جزئی مانند یک دقیقه به عمق کل باران در همان رویداد که تابعی از نسبت زمان جزئی به زمان کل بارش است، استفاده می‌شود. رسم این دو نسبت در محورهای متعامد، الگوی توزیع عمق رگبار را در طول مدت دوام آن مشخص می‌کند (Chow et al., 1988). واضح است که این الگو از یک رویداد به رویداد دیگر مشابه نیست. برای درک بهتر، لازم است کل رویدادهای رگبارهای ثبت شده در یک ایستگاه باهم مطالعه شود. برای این کار، دسته منحنی‌های هاف ابداع شده است (Huff, 1967) که الگوی ریزش را با لحاظ کردن همه رویدادهای ثبت شده در یک دیاگرام (به‌نام منحنی‌های هاف) نشان می‌دهد. در این

مجموعه، احتمالات وقوع متفاوت برای ریزش از ۱۰ درصد تا ۹۰ درصد در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب، در مجموعه منحنی‌های هاف یک ایستگاه نه منحنی دیده می‌شود که به ترتیب، متعلق به رویدادهای با درصد احتمال وقوع ده، بیست، ... و نود درصد است. همچنین، نظر به این که ممکن است، بارش‌های یک ایستگاه در فصول مختلف از سامانه‌های بارشی متفاوت نازل شود، بنابراین، مجموعه منحنی‌ها بهتر است در صورت کافی بودن رویدادها، برای هر فصل، به‌طور جداگانه تهیه شود. از دیگر سو، الگوی ریزشی بارش‌های کوتاه مدت (مانند یک ساعت) معمولاً با الگوی ریزشی رگبارهای طولانی مدت، مانند ۴۸ ساعت، می‌تواند متفاوت باشد. بر مبنای این اصل، بهتر است که منحنی‌های هاف برای رگبارهای کوتاه مدت، میان مدت و طولانی مدت، به‌طور جداگانه برای هر ایستگاه رسم شود.

به نظر می‌رسد، تاکنون برای منطقه مورد مطالعه، منحنی‌های هاف با دو روش مذکور در فصول مختلف رسم نشده بود. از این نظر، تحقیق حاضر برای اولین بار در استان آذربایجان غربی اجرا شد. افزون بر این، برای منحنی هاف میانی هر ایستگاه رابطه ریاضی برازش داده شد (جدول ۳) که در مطالعات گذشته این کار انجام نشده است. علاقمندان به ادامه این مطالعه، را به انجام مطالعه مشابه در استان‌های دیگر ایران ترغیب می‌نماید. همچنین توصیه می‌شود، محققین کشورمان الگوی توزیع بارش‌ها را در فصول بارانی با روش دودویی در استان‌های مختلف، از جمله آذربایجان غربی، مطالعه نمایند. به نظر می‌رسد، فاصله قایم بین دومانحنی هاف بالایی و پایینی در زمان‌های مختلف بی‌بعد، مانند ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، می‌تواند به‌عنوان معیاری مناسب برای تمایز الگوی رگبارها در ایستگاه‌های مختلف و فصول سال باشد (Dinpashoh et al. 2024). از سویی، مساحت محصور بین دو منحنی بالایی و میانی در هر چارک می‌تواند به‌عنوان معیار مناسب تمایز الگوی ریزش‌ها باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، از اطلاعات ۴۲۱ رگبار ثبت شده در پنج ایستگاه استان آذربایجان غربی (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) برای تحلیل استفاده شد. نظر به این که فصل تابستان در این استان غالباً خشک بوده و فاقد تعداد کافی رویداد بارشی در منطقه است، بنابراین، تلاش شد که رگبارها برای سه فصل دیگر (بهار، پاییز و زمستان) به‌طور جداگانه در هر ایستگاه تحلیل شود. در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، غالباً از "رگبار طرح" با مدت دوام معین (مانند دو ساعت) به‌عنوان ورودی مدل استفاده می‌شود (Azli and Rao, 2010). رگبار طرح از منحنی هاف میانه قابل استنتاج است. اغلب رگبار طرح در طراحی زهکش‌های شهری و پروژه‌های مدیریت آب باران استفاده می‌شود. با این وجود، برای این منظور، به آمار بارش‌ها (به تعداد زیاد و حداقل ۱۲۰ رویداد) در زمان‌های جزئی کم (دقیقه) نیاز است. این مهم یکی از محدودیت‌های اصلی مطالعه حاضر بود. در این مطالعه، برای هر مورد (ایستگاه و فصل)، هیتوگراف بارش طرح با توجه به منحنی هاف میانه رسم گردید. آن‌گاه منحنی‌های بی‌بعد رگبارها در هر ایستگاه به تفکیک فصل تهیه شد (شکل ۴). همین که دسته منحنی‌های هاف برای یک ایستگاه معین و فصل در یک دیگرام رسم شدند، منحنی میانی (دارای مشخصه احتمال وقوع ۵۰ درصد) در نظر گرفته شد و هیتوگراف رگبارهای آن ایستگاه از کم کردن عمق تجمعی (بی‌بعد) ریزش باران در هر زمان بی‌بعد (مانند ۲۰٪) از زمان ماقبل (مانند ۱۰٪) به دست آمد. در این مطالعه، منحنی‌های هاف به دو روش شامل الف) استفاده از روش تجربی و ب) روش تئوری یا برازش آماری به داده‌های بی‌بعد بارش در زمان‌های جزئی رسم شدند. نتایج حاکی از آن بود که فرم ظاهری دسته منحنی‌های رسم شده با روش دوم، خیلی هموارتر از روش اول بود. علت این امر در این واقعیت نهفته است که در روش تجربی از توزیع‌های آماری استفاده نشده و احتمالات با موقعیت نموداری در منحنی‌ها لحاظ شده است. می‌توان نتیجه گرفت که هرچه تعداد رویدادها در یک فصل برای ایستگاه معین زیادتر باشد منحنی‌های هاف اعتبار بیشتری دارند. در هر ایستگاه، کلیه رویدادهای بارانی را می‌توان به‌طور یک‌جا (بدون دسته‌بندی از نظر مدت دوام رگبار) مطالعه کرد. با این حال، اگر منطقه مورد مطالعه وسیع باشد، ریزش‌ها در ایستگاه‌های مختلف منطقه ممکن است از سامانه‌های بارشی متفاوت ناشی شود. مثلاً بارش‌های استان مورد نظر، در زمستان، ممکن است از سامانه پرفشار قطبی و دریای خزر ناشی گردد، در حالی که، در بهار از سامانه‌ای که از دریای سیاه و مدیترانه به کشور وارد می‌شود، ناشی شود. در چنین شرایطی تحلیل منطقه‌ای رگبارها با تجمیع رویدادهای همه ایستگاه‌های منطقه منجر به نتایج گمراه‌کننده خواهد بود. نتایج نشان داد، در فصل بهار، از بین پنج ایستگاه استان آذربایجان غربی، سه ایستگاه (شامل ارومیه، خوی و سردشت) دارای تیپ بارشی چارک چهارمی و تیپ بارشی اشنویه و مهاباد چارک سومی بود. در پاییز، تیپ بارشی همه ایستگاه‌های استان از نوع چارک سومی بود. در زمستان، رگبارهای چهار ایستگاه ارومیه، اشنویه، سردشت و مهاباد دارای تیپ بارشی چارک چهارمی و ایستگاه خوی چارک سومی بود. به‌طور خلاصه، می‌توان نتیجه گرفت که در بهار، ۴۰ درصد ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی چارک سومی و ۶۰ درصد بقیه چارک چهارمی بودند. در پاییز، صد درصد ایستگاه‌ها چارک سومی بوده و در زمستان، ۲۰ درصد ایستگاه‌ها چارک سومی و ۸۰ درصد بقیه چارک چهارمی بودند. نتایج این مطالعه، می‌تواند در تهیه هیتوگراف باران طرح و نیز هیدروگراف رواناب مستقیم سطحی ناشی از باران طرح،

طراحی سازه‌های هیدرولیکی، مدل‌بندی هیدرولوژیکی، سامانه‌های دفع زه‌آب شهری، انتقال آلودگی و مدیریت فرسایش خاک کاربرد داشته باشد. این نتایج، به‌نوبه خود، در طراحی کانال‌های زه‌کشی، آبروها، پل‌ها، کالورت‌ها، سامانه‌های جمع‌آوری آب باران می‌تواند مفید واقع شود. مقایسه الگوهای بارشی در هر ایستگاه، فصل و کلاس‌های مدت زمان تداوم بارشی با الگوهای روش SCS در مطالعات آبی پیشنهاد می‌شود.

ویراستاری نشده، غیر قابل استناد

Table 3- Summary of results of quartile method and the mathematical form of the developed equations for median Huff curve and the area under the respected curve at the selected stations in different seasons of the West Azarbaijan province

جدول ۳- خلاصه نتایج روش چارکی و فرم ریاضی معادلات برازش یافته به منحنی هاف میانه و سطح زیر منحنی مربوطه در ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی در فصول مختلف

فصل بهار												
ایستگاه	فرم ریاضی منحنی	ضرایب		سطح ° Q ₁	سطح Q ₂	سطح Q ₃	سطح Q ₄	اختلاف نیمساز - Q ₁	اختلاف نیمساز - Q ₂	اختلاف نیمساز - Q ₃	اختلاف نیمساز - Q ₄	تیب بارشی
ارومیه	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.57 b=-0.0146	c=0.000089	232	826	1558	2240	-80.5	-111.5	-4.5	52.5	چارک چهارمی
اشنویه	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a=-0.13 b=0.39	c=0.041 d=-0.00062 e=0.0000028	275	1106	1830	2282	-37.5	168.5	267.5	94.5	چارک سومی
خوی	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.34 b=-0.012	c=0.000082	267	923	1670	2296	-45.5	-14.5	107.5	108.5	چارک چهارمی
سردشت	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.58 b=-0.016	c=0.000105	234	847	1606	2271	-78.5	-90.5	43.5	83.5	چارک چهارمی
مهاباد	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	a=-0.21 b=1.33	c=-0.014 d=0.00024 e=-0.0000013	361	1012	1676	2290	48.5	74.5	113.5	102.5	چارک سومی
خط نیمساز	Y=a+bx	a=1	b=0	312.5	937.5	1562.5	2187.5					
فصل پاییز												
ایستگاه	فرم ریاضی منحنی	ضرایب		سطح Q ₁	سطح Q ₂	سطح Q ₃	سطح Q ₄	اختلاف نیمساز - Q ₁	اختلاف نیمساز - Q ₂	اختلاف نیمساز - Q ₃	اختلاف نیمساز - Q ₄	تیب بارشی
ارومیه	$y = x / (a + bx + cx^2)$	a=1.03 b=-0.0062	c=0.000059	330	1063	1781	2321	17.5	125.5	218.5	133.5	چارک سومی



انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران

تحقیقات منابع آب ایران

چارک سومی	86.5	109.5	-11.5	-94.5	2274	1672	926	218	c=1.64	a=0.138 b=0.99	$y = ab^x x^c$	اشنویه
چارک سومی	174.5	219.5	19.5	-74.5	2362	1782	957	238	c=0.02 d=-0.00015	a=0.046 b=0.47	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	خوی
چارک سومی	124.5	216.5	125.5	17.5	2312	1779	1063	330	c=0.00006	a=1.03 b=-0.0063	$y = x / (a + bx + cx^2)$	سردشت
چارک سومی	93.5	192.5	114.5	-23.5	2281	1755	1052	289	c=1.44	a=0.32 b=0.99	$y = ab^x x^c$	مهاباد
					2187.5	1562.5	937.5	312.5	b=0	a=1	Y=a+bx	خط نیمساز
فصل زمستان												
تیپ بارشی	اختلاف با نیمساز - Q ₄	اختلاف با نیمساز - Q ₃	اختلاف با نیمساز - Q ₂	اختلاف با نیمساز - Q ₁	سطح Q ₄	سطح Q ₃	سطح Q ₂	سطح Q ₁	ضرایب		فرم ریاضی منحنی	ایستگاه
چارک چهارمی	74.5	-7.5	-304.5	-121.5	2262	1555	633	191	c=0.0000072 d=2.84	a=99.86 b=93.88	$y = a - be^{-cx^d}$	ارومیه
چارک چهارمی	79.5	42.5	-1.5	21.5	2267	1605	936	334	c=-0.017 d=0.00032 e=-0.0000018	a=-0.39 b=1.3	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	اشنویه
چارک سومی	174.5	298.5	214.5	19.5	2362	1861	1152	332	c=1.39	a=0.43 b=0.99	$y = ab^x x^c$	خوی
چارک چهارمی	100.5	42.5	-82.5	-66.5	2288	1605	855	246	c=0.00059 d=0.00012 e=-0.0000011	a=-0.34 b=0.77	$y = a + bx + cx^2 + \dots$	سردشت
چارک چهارمی	58.5	-14.5	-135.5	-84.5	2246	1548	802	228	c=-0.011 d=0.000065	a=0.56 b=0.57	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	مهاباد
					2187.5	1562.5	937.5	312.5	b=0	a=1	Y=a+bx	خط نیمساز

توجه: ضریب همبستگی بین مشاهدات و محاسبات در جمیع موارد بیش از ۰/۹ بوده و در سطح ۰/۰۵ معنی دار بود. * سطح Q₁ در واقع مساحت زیر منحنی هاف میانه در چارک اول است. [اختلاف نیمساز Q₁ - عبارت است از سطح زیر منحنی هاف میانه در چارک اول منهای سطح زیر خط نیمساز در چارک اول]

- 1-IDF
- 2-Gordji
- 3-Binary

تقدیر و تشکر

داده‌های مورد نیاز این مطالعه، از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی تامین شده که بدین وسیله قدردانی می‌گردد. از داوران محترم این مقاله که با ارائه نکات مفید در بهبود کیفیت آن سهیم بودند سپاسگزاری می‌شود. این مقاله مستخرج از رساله دکترا بوده که توسط معاون پژوهشی دانشگاه تبریز حمایت شده که بدین وسیله تشکر می‌شود.

۵- مراجع

- Alavi ES, Dinpashoh Y (2020) Analysis of recorded rainfall information for the purpose of Huff Curves extraction in the Dez dam. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 23, 33-44. Doi: [10.47176/jwss.23.4.39211](https://doi.org/10.47176/jwss.23.4.39211). (In Persian)
- Alavi ES, Dinpashoh Y, Asadi E (2019). Analysis of hourly storms for the purpose of extracting design hyetographs using the Huff method. Geography and Environmental Planning 30(3), 41-58. Doi: [10.22108/gep.2019.116484.1141](https://doi.org/10.22108/gep.2019.116484.1141). (In Persian)
- Asakereh H, Razmi Ghalandari R (2014). Temporal distribution and regime of precipitation of Northwest of Iran. Geographical Research, 29(112), 145-160. (In Persian)
- Azli M, Rao R (2010). Development of Huff curves for Peninsular Malaysia. Journal of Hydrology 388, 77-84. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.04.030
- Bonaccorso B, Brigandi G, Aronica GT (2017). Combining regional rainfall frequency analysis and rainfall-runoff modeling to derive frequency distributions of peak flows in ungauged basins: a proposal for Sicily region (Italy). Advance in Geosciences 44, 15-22. <https://doi.org/10.5194/adgeo-44-15-2017>
- Bonta JV, and Shahlam A (2003) Cumulative storm rainfall distributions: comparison of Huff curves. Journal of Hydrology 42(1), 65-74.
- Bustami RA, Rosli NA, Adam JH, Li KP (2012). Development of temporal rainfall pattern for Southern Region of Sarawak. UNIMA E. Journal of Civil Engineering 3, 17-23. <https://doi.org/10.33736/jcest.98.2012>
- Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill. 572 pages.
- Dinpashoh Y, Alavi ES (2024). Derivation of Huff curves for the four stations in Great Karun River in Khuzestan province. Journal of Civil and Environmental Engineering 54(1), 115-130. Doi: [10.22034/jcee.2022.28050.1678](https://doi.org/10.22034/jcee.2022.28050.1678). (In Persian)
- Dinpashoh Y, Fakheri-Fard A, Moghaddam M, Jahanbakhsh S, Mirnia M (2004). Selection of variables for the purpose of regionalization of Iran's precipitation climates using multivariate methods. Journal of Hydrology 297:109-123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.009>
- Dinpashoh Y, Vakili Azar S (2019) Temporal analysis of storms in East of Urmia Lake using the Huff curves. Journal of Water and Soil Resources Conservation 8(3), 27-44. (In Persian)
- Dinpashoh Y, Vakili Azar S (2024). Presentation of innovative method for study of storms variability (case study: Gilan Province). Journal of Geography and Planning (accepted), doi: [10.22034/gp.2024.62377.3274](https://doi.org/10.22034/gp.2024.62377.3274) (In Persian with English Abstract)
- Dinpashoh Y, Vakili Azar S, Jahanbakhsh Asl S (2024) Analysis of internal pattern of storms using the Gordji method (Case study: Golestan Province). Journal of Water and Soil Resources Conservation 15(1), 47-57. (In Persian)

- Dolsak D, Bezak N, Sraj M (2016) Temporal characteristics of rainfall events under three climate types in Slovenia. *Journal of Hydrology* 541, 1395-1405. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.047>
- Ewea A, Elfeki A, Bahrawi J, AL-Amri N (2016) Sensitivity analysis of runoff hydrographs due to temporal rainfall patterns in Makkah Al-Mukkramah region: Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 424-435. Doi: [10.1007/s12517-016-2443-5](https://doi.org/10.1007/s12517-016-2443-5)
- Golkar F, Hajjam S, Khalili A (2011) Storm frequency distribution and rainfall time patterns in some representative climates. *Water Resources Engineering* 4(10), 39-49. (In Persian)
- Gordji L, Bonta JV, Altinakar MS (2020) Climate-related trends of within-storm intensities using dimensionless temporal storm distributions. *Journal of Hydrologic Engineering* 25(5), 1-31. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001911](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001911)
- Hatami Yazd A, Ghahraman B, Khodashenas SR (2009) Regionalization of rainfall temporal pattern in Iran. *Iran-Watershed Management Science & Engineering* 3(6), 66-69.
- Hatami Yazd A, Tagh-Abrishami AA, Ghahraman B (2005). Rainfall temporal pattern for Khorasan province, Iran. *Iran Water Resources Research* 1(3): 54-64. (In Persian)
- Huff FA (1967). Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research* 3(4), 1007- 1019. <https://doi.org/10.1029/WR003i004p01007>
- Huff FA (1990). Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. Department of energy and natural resources, Illinois State Water Survey, Champaign 173, 1-23.
- Jiang P, Yu Z, Gautam MR, Yuan F, Acharya K (2016). Changes of storm properties in the United States: Observations and multimodel ensemble projections. *Global and Planetary Change* 142, 41-52. doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.05.001
- Karimi VA, Solaimani K, Habib nejad roshan M, Shahedi K (2013). Comparison of some rainfall temporal pattern determination for urban flood estimation (Case study: Babolsar). *Irrigation and Water Engineering* 4(1), 102-112. (In Persian)
- Lee KT, Ho JY (2008) Design hyetograph for typhoon rainstorms in Taiwan. *Journal of Hydrologic Engineering* 13, 647-651. Doi: [10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:7\(647\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:7(647))
- Liao D, Zhang Q, Wang Y, Zhu H, Sun J (2021) Study of the rainstorm design methods in Chongqing. *Frontiers in Environmental Science* 306-315. Doi: [10.3389/fenvs.2021.639931](https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.639931)
- Liao D, Zhu H, Zhou J, Wang Y, Sun J (2019) Study of the natural rainstorm moving regularity method for hyetograph design. *Theoretical and Applied Climatology* 138(2), 1311-1321. Doi: [10.1007/s00704-019-02890-0](https://doi.org/10.1007/s00704-019-02890-0)
- Moafi G, Habibnezhad Roshan M, Karimi V (2013) Representation of rainfall time distribution pattern for estimation of design storm in Sari urban watershed. The first national conference on Geography, urban planning and sustainable development, held at Tehran, 15 March.
- Mollaie A, Telvari AR (2009) Determination of rainfall temporal pattern in Kohkiluyeh and Boyerahmad province by Pilgrim method. *Watershed Engineering and Management* 1(2), 70-77. (In Persian)
- Moradnezahadi M, Malekian A, Jourgolami M, Ghasemi A (2016) Daily rainfall temporal distribution patterns and its relations with short-term precipitations in coastal – forest areas (Case study: Nowshahr station, Northern Iran). *Journal of Range and Watershed Management* 69(2), 475-485.
- Noura N, Khaksafidi A, Razezi, T (2012) Comparison of Pilgrim and Huff methods for derivation of time distribution of rainfall in Zabol station (Iran). *Journal of Water and Soil Conservation* 17(3), 143-160. Doi: [10.1001.1.23222069.1389.17.3.8.9](https://doi.org/10.1001.1.23222069.1389.17.3.8.9) (In Persian)
- Pan C, Wang X, Liu L, Huang H, Wang D (2017) Improvement to the Huff curve for design storms and urban flooding simulations in Guangzhou, China. *Water* 9(6), 102-120. [Doi.org/10.3390/w9060411](https://doi.org/10.3390/w9060411)

- Terranova OG, Gariano SL (2014) Rainstorms able to induce flash floods in a Mediterranean-climate region (Calabria, southern Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2423–2434. doi:10.5194/nhess-14-2423-2014
- Terranova OG, Iaquina P (2011) Temporal properties of rainfall events in Calabria (Southern Italy). *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 11, 751–757. <https://nhess.copernicus.org/articles/11/751/2011/>
- Vakili Azar S, Dinpazhoh Y (2019) Development of Huff curves for the five selected stations in the east of Urmia Lake. *Journal of Water and Soil* 32(6), 1109-1123. doi.org/10.22067/jsw.v32i6.72443 (In Persian)
- Vakili Azar S, Dinpashoh Y, Jahanbakhsh Asl S (2025a) Analysis of the temporal pattern of storms in three different climates of Iran. *Acta Geophysica* <https://doi.org/10.1007/s11600-025-01665-8> (Published Online)
- Vakili Azar S, Dinpashoh Y, Jahanbakhsh Asl S (2025b) Investigation of storm variability using the Gordji method (case study: Mazandaran province). *Journal of Geography and Environmental Hazards* 14(1), 187-209. (In Persian)
- Vaziri F (1996) Determination of time distribution of 24- and 48-hour rainfall pattern in southwest of Iran. Research Report, Khajeh Nasiraddin Toosi University. (In Persian)
- Wang W, Yin S, Xie Y, Liu B, Liu Y (2016) Effects of four storm patterns on soil loss from five soils under natural rainfall. *Catena* 141, 56-65. Doi: 10.1016/j.catena.2016.02.019
- Wartalska K, Kazmierczak B, Nowakowska M, Kotowski A (2020). Analysis of hyetographs for drainage system modeling. *Water* 149, 1-21. Doi: 10.3390/w12010149
- Wu SJ, Yang JC, Tung YK (2006) Identification and stochastic generation of representative rainfall temporal patterns in Hong Kong territory. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment* 20, 171-183. Doi:10.1007/s00477-005-0245-5
- Yang J, Xiang Y, Xu X, Sun J (2022) Design hyetograph for short-duration rainstorm in Jiangsu. *Atmosphere* 13(6), 252-269. Doi: 10.3390/atmos13060899

Analysis of Storm Types in the West Azarbaijan Province

Yagob Dinpashoh^{1✉} | Majid Rezaei Banafsheh Darag² | Saeed Jahanbakhsh Asl³ | Maryam Khoshnafs⁴

1. Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran. (E-mail: dinpashoh@yahoo.com)
- 2, 3. Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
4. Department of Meteorology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Abstract

The aim of this study is to analyze 421 recorded storms in West Azerbaijan province. The information of rainfall events was used and the set of Huff curves was plotted. In each case, Huff curves were plotted and shown by two forms, which are empirical and theoretical. Huff curve modeled by mathematical form and area under the curve in each of the four quartiles evaluated by integration. Rainfall types for each site and season were determined using the quartile method. Results showed that in spring, the rainfall pattern of the Urmia, Khoy, and Sardasht was the fourth quartile type, but Oshnavieh and Mahabad were the third type. In autumn, the rainfall pattern for all the stations was the third quartile. In winter, unless Khoy whose rainfall pattern was third type, all other sites had the fourth quartile type. In winter, 20% of the sites had the third quartile pattern, and the other 80% had the fourth quartile type. The storm pattern at all the stations was the third quartile type. In spring, the rainfall type for 40% of the stations was the third quartile and the other 60% had the fourth. It can be concluded that rainfall types of West Azarbaijan province were the third or the fourth quartile. The median R^2 values were never less than 0.885 (in Khoy, spring). The maximum value of R^2 varied between stations and seasons, ranging from 0.979 (in Khoy, winter) to 0.998 (in Oshnavieh and winter).

Keywords: Design storm hyetograph, Huff curve, Quartile method, Rainfall