

تخمین بارندگی کوتاه مدت از بارندگی روزانه با استفاده از یک رابطه ساده تک متغیره

سهیلا فرهادی^{۱*}، مجید گلوئی^۱ و آرتیس معتمدی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۵)

چکیده

یکی از روابط مهمی که در تخمین سیلاب‌ها و دبی رودخانه‌ها با دوره بازگشت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، رابطه شدت-مدت-دوره بازگشت (IDF) است که دقت آن و نحوه محاسبه پارامترهای موجود در آن، وابسته به وجود داده‌های بارش کوتاه مدت (۱۵، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ و غیره دقیقه‌ای) برای یک دوره آماری طولانی (به‌طور مثال ۳۰ ساله) است. متأسفانه در بسیاری از ایستگاه‌های باران‌سنجی، چنین داده‌هایی وجود ندارد و آمار بارندگی‌ها تنها بصورت ۲۴ ساعته در دسترس است. جهت تبدیل حداکثر بارش ۲۴ ساعته به کوتاه مدت در ایران، از روابط تجربی مختلفی استفاده می‌شود که یکی از آنها رابطه سازمان هواشناسی هندوستان (IMD) است که دقت آن در برخی نقاط دنیا پایین است. در این پژوهش، در ابتدا رابطه سازمان هواشناسی هندوستان (IMD) به یک رابطه ساده تک متغیره تبدیل شده و سپس این متغیر برای تعدادی از ایستگاه‌های باران‌سنجی که بارش‌های کوتاه مدت آن نیز در دسترس می‌باشد، بدست آمده است. بدین منظور حداکثر بارش‌های ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته استخراج و سپس با استفاده از رابطه ویبول و گامبل دوره بازگشت‌های مختلف آنها محاسبه شده است. در نهایت با استفاده از رگرسیون داده‌های واقعی و محاسباتی، متغیر رابطه تغییر یافته IMD محاسبه شده است. نتایج نشان داد که اگرچه توان رابطه هندوستان ۰/۳۳ است، اما این متغیر برای ایستگاه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده و دامنه تغییراتی بین ۰/۲۸ تا ۰/۳۵ دارد. جهت مقایسه نیز، رابطه IDF حوضه کردان بدست آمده و سپس نتیجه آن با مقادیر واقعی و رابطه‌ای که قهرمان پیشنهاد داده است و کاربرد زیادی هم در ایران دارد، مقایسه شده است. نتایج نهایی نشان داد که رابطه تغییر یافته (IMD) با وجود سادگی و اتکالی آن تنها به یک پارامتر، نتایج بسیار بهتری نسبت به روابط پیچیده قهرمان بدست می‌دهد که می‌تواند پس از واسنجی با دقت قابل قبولی در حوضه‌های مختلف ایران مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی کوتاه‌مدت، رابطه IDF، حوضه رودخانه کردان، مدیریت سیلاب، تحلیل فراوانی

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. گروه مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی فنی و مهندسی بوئین زهرا، قزوین، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: s.farhadi@edu.ikiu.ac.ir

مقدمه

تعیین شدت بارندگی در دوره‌های بازگشت مختلف و در نتیجه آن بدست آوردن رابطه و منحنی‌های شدت-مدت-دوره بازگشت (IDF) یکی از مهمترین قسمت‌های مطالعات هیدرولوژیک است (۱۷). اهمیت این موضوع به ویژه در تخمین سیلاب حوضه‌ها به منظور ذخیره و کنترل آن و طراحی سازه‌های هیدرولیکی در جایی که برای تخمین این سیلاب‌ها به مقادیر حداکثر بارش در تداوم‌ها و دوره‌های بازگشت مختلف نیاز است، نمایان‌تر می‌شود (۸).

در بیشتر حوضه‌های آبریز کشور، آمارهای ایستگاه‌های باران‌سنج به گونه‌ای است که تنها بارش‌های ۲۴ ساعته و در برخی موارد، بارش‌های ۳ یا ۱۲ ساعته موجود است و استخراج منحنی‌های شدت-مدت-دوره بازگشت از طریق این آمارهای ۲۴ ساعته با دشواری‌هایی روبرو است زیرا تخمین بارش‌های کوتاه مدت از بارش‌های ۲۴ ساعته با استفاده از روابط تجربی موجود در برخی موارد دقت لازم را ندارند و یا اینکه بدست آوردن پارامترهای موجود در آن روابط نیز ممکن است به راحتی قابل انجام نباشد.

تاکنون روابط تجربی مختلفی برای به‌دست آوردن بارش‌های کوتاه‌مدت در کشورهای مختلف ارائه شده است. جدول ۱ بطور خلاصه نمونه‌هایی از روابط تجربی پژوهشگران مختلف را نشان می‌دهد.

اولین پژوهش‌ها در این زمینه را بل و همکاران (۳) انجام دادند (رابطه ۱). آنها این رابطه را برای بارش‌ها با تداوم ۵ تا ۱۲۰ دقیقه و دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال با داشتن بارش یک ساعته با دوره بازگشت ده ساله پیشنهاد کرده بودند. بل خطای این روش را ۵ تا ۷ درصد تخمین زد و استفاده از آن را برای نقاط دیگر جهان مانند استرالیا و آفریقای جنوبی نیز توصیه کرد. بل سپس در سال ۱۹۶۹ شکل کلی معادله خود را بصورت رابطه (۲) ارائه کرد که ضرایب آن برای نقاط مختلف دنیا پس از کالیبراسیون بدست می‌آیند (۴).

در ایران نیز مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است که تقریباً مبنای همه آنها، بر پایه شکل کلی رابطه بل استوار است. وزیری (۱۹) در سال ۱۳۶۴ ایران را به ۵ ناحیه مختلف تقسیم و سپس برای هر ناحیه رابطه‌ای ارائه کرد که به‌عنوان مثال رابطه (۳) مربوط به استان چهارمحال و بختیاری است. وی سپس رابطه (۴) را پس از بهبود بخشیدن به رابطه قبلی، جهت محاسبه بارش‌های کوتاه مدت ۱۵ تا ۴۸۰ دقیقه‌ای ارائه کرد.

مطالعات جامع دیگری نیز توسط قهرمان و همکاران (۷) در سال‌های مختلف انجام شده است که در نهایت رابطه (۵) به‌عنوان کامل‌ترین آنها و برای کل ایران ارائه شده است. اگرچه مطالعات در این زمینه در ایران فراوان است، اما روابطی که دیگر پژوهشگران نیز ارائه کردند تقریباً برپایه شکل کلی روابط وزیری و یا قهرمان است که با اضافه شدن ضرایبی بهبود بخشیده شده‌اند.

همانگونه که از روابط (۱) تا (۵) مشخص است، تخمین بارش‌های کوتاه مدت از بلند مدت بوسیله این روابط نیازمند محاسبه و یا وجود پارامترهای دیگری است (مثلاً P_{10}^{60}) که تخمین این پارامترها در برخی موارد نیازمند وجود بارش‌های کوتاه‌مدت (به‌طور مثال ۱ ساعته) است که در سری داده‌های بارش ثبت شده در دسترس نیست. تخمین این پارامترها نیز به‌طور معمول توسط روابط تجربی دیگری انجام می‌شود که عملاً دقت نتایج نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۹).

رابطه (۶) که توسط سازمان هواشناسی هندوستان و برای بارش‌های کشور هند ارائه شده است، یکی از روابطی است که در عین سادگی و با کمترین پارامتر مورد نیاز، علاوه بر کشور هند در برخی نقاط دیگر دنیا نیز نتایج بسیار خوب و قابل قبولی ارائه کرده است (۱، ۱۴، ۱۶ و ۱۸). چاودری و همکاران (۵) رابطه (IDF) شهر سیلپت بنگلادش را با استفاده از رابطه (۶) محاسبه کردند و نشان دادند که این رابطه دقت بسیار خوبی در تخمین بارش‌های کوتاه مدت در این منطقه داشته است. لوگانه و همکاران (۱۴) نیز از رابطه (۶) در تخمین بارش‌های کوتاه مدت در شهر اکرا کشور غنا استفاده کردند و سپس

جدول ۱. نمونه‌هایی از روابط تجربی مختلف جهت تخمین بارش کوتاه مدت از بلند مدت

رابطه تجربی	منبع	ردیف
$P_T^1 = (0.52 + 0.21 \cdot \ln(T)) (0.54t^{0.25} - 0.50) P_{10}^{60}$	بل، ۱۹۶۲ (۳)	(۱)
$P_T^1 = (\alpha - \beta \cdot \ln(P^{24h})) \cdot P^{24h}$	بل، ۱۹۶۹ (۴)	(۲)
$P_T^1 = (0.452 + 0.247 \ln(T - 0.6)) \times (0.371 + 0.618t^{0.4484}) P_{10}^{60} \quad t=15-120\text{min}$	وزیری ۱۳۶۴ (۱۹)	(۳)
$P_T^1 = (0.4740 + 0.2335 \ln(T - 0.5099)) \times (-0.2483 + 1.2577t^{0.3177}) \cdot P_{10}^{60}$	وزیری ۱۳۷۰ (۱۹)	(۴)
$P_{10}^{60} = (3.1140 + 0.6140 \ln(P^{24hr})) P^{24hr}$ $P_T^1 = (0.4055 + 0.2636 \ln(T - 0.4400)) \times (-0.2420 + 1.2452t^{0.2674}) P_{10}^{60} \quad t=15-120\text{min}$		
$P_T^1 = (0.4524 + 0.2471 \ln(T - 0.6000)) \times (0.3710 + 0.6184t^{0.4484}) P_{10}^{60} \quad t=15-1200\text{min}$	قهرمان و آبخضر ۱۳۸۳ (۷)	(۵)
$P_{10}^{60} = 2.2598 (P^{24hr})^{0.694} \cdot P_a^{-0.3072}$		
$P^t = P^{24hr} \left(\frac{t^{hr}}{24} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)}$	سازمان هواشناسی هند (IMD)	(۶)

که در روابط فوق:

t: زمان (min)، T: دوره بازگشت (year)، P_{10}^{60} : بارندگی ۶۰ دقیقه‌ای با دوره بازگشت ۱۰ سال (mm)، P_T^1 : بارندگی t دقیقه‌ای با دوره بازگشت T سال (mm)، P_a : میانگین بارش سالانه (mm)، P^t : بارندگی t ساعته (mm)، α, β : ضرایب ثابت منطقه‌ای

نیز جهت تبدیل بارش ۲۴ ساعته به کوتاه مدت استفاده کرده‌اند. برخی از این روش‌ها با استفاده از پارامترهای هواشناسی و برقراری رابطه بین بارش کوتاه مدت با این پارامترها بدست آمده‌اند. به‌عنوان مثال علی و میسرا (۲) بارش کوتاه مدت را با استفاده از دما، رطوبت نسبی و نقطه شبنم تخمین زدند، لیپور و همکاران (۱۳) همین عمل را با استفاده از فشار سطح دریا، رطوبت نسبی، باد و ارتفاع زمین انجام دادند. در هر دو روش فوق، استفاده از رگرسیون چند متغیره و انجام عملیات سنگین آماری مورد نیاز است.

روش‌های دیگری نیز مبتنی بر برآزش بهترین توزیع آماری بر داده‌های بارش وجود دارند که به‌عنوان مثال در ایران، محمدی و همکاران (۱۵) در شهر ایلام مورد استفاده قرار دادند. المعمون و

دقت بالای این رابطه را در استخراج رابطه (IDF) آن منطقه بیان کردند. همچنین گلوئی و همکاران (۸) با بکارگیری رابطه (۶) در منطقه شوکلپاخ کشور اتریش به نتایج بسیار خوب و با دقت بالا در تخمین بارش‌های کوتاه مدت از بارش‌های ۲۴ ساعته رسیدند. فن و همکاران (۶) از رابطه (۶) جهت تخمین بارش‌های کوتاه مدت در قسمتی از فلات تبت در کشور چین استفاده کرده و سپس رابطه IDF را استخراج کردند. آنها در نهایت مدل‌سازی حمل رسوب منطقه را بر اساس رابطه بدست آمده، انجام دادند و با مقادیر واقعی برداشت شده مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که دقت مدل آنها بسیار خوب و قابل ملاحظه است.

علاوه بر روابط تجربی فوق، محققان از روش‌های دیگری

بارندگی در ایستگاه‌های مینودشت و کرمانشاه ۳ ساعته و در ایستگاه‌های لامرد و نجم‌آباد ۱۲ ساعته است.

محاسبات آماری

بدلیل وجود داده‌های ناقص و ثبت نشده در برخی از ایستگاه‌ها، قبل از شروع محاسبات آماری بایستی این مقادیر ناموجود تخمین زده شوند تا سری زمانی تکمیل شود. در این پژوهش به جهت تخمین مقادیر غیر موجود از روش رگرسیون خطی استفاده شده است. در این روش، بین ایستگاهی که مقادیر ناقص دارد و یک ایستگاه مجاور که داده‌های کاملی داشته است و در عین حال ضریب همبستگی بین این دو ایستگاه، بیش از ۰/۷ بوده، یک رابطه خطی بصورت زیر در نظر گرفته شده و سپس ضرائب آن بروش رگرسیون خطی محاسبه شده اند:

$$P_x = a + bP_y \quad (8)$$

که در آن P_x مقدار بارش ناقص و P_y مقدار بارش معلوم در ایستگاه مجاور است. a و b ضرایب رگرسیون خطی هستند.

سپس جهت محاسبه مقدار ضریب n در رابطه (۷) به روش زیر عمل شده است. ابتدا مقادیر حداکثر بارندگی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای هر ایستگاه در طول سال‌های آماری استخراج شده است (برای ایستگاه‌هایی که فقط داده ۱۲ ساعته موجود دارند، فقط حداکثرهای ۲۴ و ۱۲ ساعته استخراج شدند). سپس جهت محاسبه دوره‌های بازگشت مختلف بارش‌ها، در صورتی که دوره بازگشت کمتر از سال‌های سری زمانی داده‌ها باشد از رابطه ویبول (۱۷) استفاده می‌شود:

$$T = \frac{N+1}{m} \quad (9)$$

که در آن N تعداد کل سال‌های آماری و m شماره ردیف داده‌های مرتب شده نزولی است. برای دوره بازگشت‌های بزرگتر از سال‌های سری آماری، از تابع توزیع کرانه‌ای نوع یک (توزیع گامبل) استفاده شده است که بوسیله آن حداکثر مقادیر بارندگی با تداوم معلوم برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵،

همکاران (۱) از روش برازش منحنی لگاریتمی بر داده‌های بارش و کوتسویانیس و همکاران (۱۲) نیز از روش رگرسیون چندمتغیره برای این منظور استفاده کردند. گلوئی و همکاران (۹) و همچنین حداد و همکاران (۱۱) نشان دادند که با استفاده از روش L-moment می‌توان با دقت به نسبت خوبی رابطه IDF را بدست آورد. در همه این روش‌ها، نیاز به داده‌های فراوان بارندگی است و عملیات زیاد آماری جهت رسیدن به نتیجه انجام می‌شود.

توضیحات فوق نشان می‌دهد که ساده‌ترین رابطه برای محاسبه بارش کوتاه مدت از بارش ۲۴ ساعته، رابطه (۶) است و از آنجا که دقت رابطه (۶) در داخل ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته است، هدف از پژوهش حاضر این است که در ابتدا رابطه فوق را تبدیل به یک رابطه تک متغیره کرده و سپس دقت آن را در ایران مورد بررسی قرار داده و نتایج آن را با روابط دیگری که کاربرد فراوانی دارند (مانند رابطه ۴ یا ۵) مقایسه کرده و مورد ارزیابی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، ابتدا رابطه (۶) بصورت رابطه زیر تغییر داده شده است:

$$P^t = P^{24} \left(\frac{t}{24} \right)^n \quad (7)$$

که در آن کلیه پارامترها مانند جدول (۱) است و پارامتر n به‌عنوان ضریب منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود. این ضریب منطقه‌ای در رابطه هندوستان برابر با $n=0.33$ است و هدف از این پژوهش این است که مقدار این ضریب برای مناطق مختلف ایران محاسبه و واسنجی شود.

بدین جهت، ۴ ایستگاه مختلف مطابق جدول ۲ انتخاب شده است. معیار انتخاب ایستگاه‌ها، داشتن داده‌های بارندگی مناسب (حداقل ۳۰ سال) و موجود بودن داده‌های بارندگی کوتاه مدت در آن بوده است.

لازم به ذکر است که بازه‌زمانی ثبت داده‌های موجود

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	داده‌های موجود	ارتفاع از سطح دریا
نجم‌آباد	۰۰-۳۰-۵۰	۰۰-۵۰-۳۵	۱۳۹۸-۱۳۶۳	۱۱۶۸
لامرد	۰۴-۱۸-۵۳	۲۴-۳۴-۲۷	۱۳۹۸-۱۳۶۲	۶۵۲
مینودشت	۲۴-۳۷-۵۵	۹۲-۲۲-۳۷	۱۳۹۹-۱۳۶۵	۹۰۱
کرمانشاه	۱۰-۰۴-۴۷	۴۷-۱۸-۳۴	۱۳۹۹-۱۳۶۲	۱۴۲۰

که در آن N تعداد داده‌ها، P_o و P_m مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بارندگی، $r_{P_o P_m}$ ضریب همبستگی است که هر چه به ۱ نزدیکتر باشد یعنی رابطه خطی مناسب‌تری بین داده‌ها برقرار است و در نتیجه مقدار n متناظر آن به‌عنوان ضریب منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در نهایت رابطه (IDF) بر اساس رابطه شرمین (۱۷) که به صورت زیر بیان می‌شود بدست آمده است:

$$i = \frac{K.T^m}{(t+B)^n} \quad (14)$$

که در آن i شدت بارندگی بر حسب T mm/hr دوره بازگشت بر حسب سال، t مدت بارش بر حسب دقیقه و K ، m ، n و B ضرایب ثابت منطقه‌ای هستند. نحوه محاسبه این ضرایب که از مباحث پایه هیدرولوژی است در بسیاری از کتاب‌های مرجع موجود است (۱۷).

نتایج

بارش‌های کوتاه‌مدت برای دوره بازگشت‌های مختلف با توجه به ضرایب n مختلف توسط روش IMD اصلاح‌شده محاسبه شده و با مقادیر واقعی مقایسه شده است. نتایج مربوط به ضرایب همبستگی بارندگی ۱۲ ساعته که بر اساس مقایسه بین بارش‌های محاسبه شده از ضریب منطقه‌ای و داده‌های واقعی، بدست آمده اند در جدول ۳ بصورت خلاصه نمایش داده شده است. در این جدول جهت مقایسه، ضرایب همبستگی بر اساس $n=0.33$ (روش هندوستان) گنجانیده شده است. همچنین، با

۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال محاسبه می‌شود (۱۷):

$$P_t = P_m + K.S \quad (10)$$

که در آن P_t مقدار بارش در تداوم زمانی t دقیقه در دوره‌های بازگشت مختلف، P_m میانگین بارش‌های حداکثر برای یک تداوم زمانی مشخص، K ضریب توزیع فراوانی گامبل (که مقدار آن بستگی به دوره بازگشت دارد) و S انحراف معیار داده‌های بارش که از روابط زیر محاسبه می‌شوند (۱۷):

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left[0.5772 + \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right) \right] \quad (11)$$

$$S = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (P_i - P_{ave})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

که در آن P_i مقدار بارش در تداوم زمانی موردنظر، P_{ave} میانگین حداکثر بارش‌ها در یک تداوم زمانی مشخص، T دوره بازگشت بر حسب سال و N تعداد آمار سال‌های بارندگی است.

حال با استفاده از رابطه (۷) و بر اساس مقادیر مختلف n که دامنه تغییر آن بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ فرض می‌شود، بارش‌های حداکثر ۳، ۶ و ۱۲ ساعته از روی بارش ۲۴ ساعته محاسبه می‌شوند و طبق رابطه زیر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند:

$$r_{P_o P_m} = \frac{N \sum P_{o_i} P_{m_i} - \sum P_{o_i} \sum P_{m_i}}{\sqrt{N \sum P_{o_i}^2 - (\sum P_{o_i})^2} \times \sqrt{N \sum P_{m_i}^2 - (\sum P_{m_i})^2}} \quad (13)$$

جدول ۳. ضرایب همبستگی بارندگی ۱۲ ساعته در ایستگاه‌های مختلف

(داده‌ها بر اساس مقایسه بین بارش‌های محاسبه‌شده از ضریب منطقه‌ای و داده‌های واقعی بدست آمده اند)

مینودشت	کرمانشاه	لامرد	نجم آباد	
۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۳۵	ضریب منطقه‌ای n محاسباتی
۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۲	۰/۹۶	ضریب همبستگی به ازای ضریب منطقه‌ای محاسباتی
۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۷۴	۰/۸۷	ضریب همبستگی به ازای n=0.33 (روش هندوستان)

رودخانه کردن) انتخاب شده و رابطه IDF آن به دو روش قهرمان (رابطه ۵) و IMD اصلاح شده با $n=0.35$ محاسبه و ترسیم شده است. مقادیر محاسبه شده در جدول ۵ بطور خلاصه آورده شده و منحنی‌های IDF نیز در شکل ۱ ترسیم شده‌اند.

همانگونه که از جدول ۵ و شکل ۱ مشخص است، روش IMD اصلاح شده در عین سادگی و تنها با استفاده از یک پارامتر ساده، مقادیر بارندگی کوتاه مدت را با دقت قابل قبولی تخمین زده است. جهت مشخص شدن دقت این روش، حداکثر بارش‌های کوتاه مدت ۱۲ ساعته از روی حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته در ایستگاه نجم‌آباد محاسبه و سپس با داده‌های واقعی و رابطه قهرمان، مقایسه شده است که در شکل (۲) قابل مشاهده است.

همانطور که از شکل (۲) مشخص است، روش IMD اصلاح شده که برای حوضه کردن واسنجی شده است، نتایج نزدیکتری به واقعیت ارائه می‌دهد. بنابراین، با توجه به حجم محاسباتی بسیار اندکی که در روش IMD مورد نیاز است و دقت بالایی که این روش دارد ارجحیت استفاده از این روش در حوضه‌های ایران نسبت به روش قهرمان یا مشابه آن، نمایان می‌شود. بایستی دقت کرد که برای محاسبه به روش قهرمان نیاز است تا پارامترهای پیچیده دیگری محاسبه شوند که گاهی اوقات بدلیل فقدان داده‌های مورد نیاز برای محاسبه آن پارامترها، محاسبه روش اندکی دشوار خواهد شد.

توجه به اینکه دو ایستگاه نجم آباد و لامرد مقادیر مشاهده‌ای ۳ و ۶ ساعته ندارند، در جدول ۴ نتایج مربوط به ضرایب همبستگی بارندگی‌های ۳ و ۶ ساعته ایستگاه‌های مینودشت و کرمانشاه نمایش داده شده است. همانطور که از جداول (۳) و (۴) مشخص است، در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، ضریب منطقه‌ای برابر با توان رابطه هندوستان (۰/۳۳) نبوده است. حتی این ضریب منطقه‌ای به ازای زمان تداوم بارش‌های مختلف (۳، ۶ و ۱۲ ساعته) نیز یکسان نیست، اگرچه بسیار به هم نزدیک هستند. به عنوان مثال در ایستگاه مینودشت، جهت تبدیل بارش حداکثر ۲۴ ساعته به حداکثر ۱۲، ۶ و ۳ ساعته به ترتیب ضرایب منطقه‌ای برابر با ۰/۲۹، ۰/۳۱ و ۰/۳۱ بدست آمده‌اند. با میانگین‌گیری از این مقادیر، مقدار ضریب منطقه‌ای برای این ایستگاه تقریباً برابر با $n=0.29$ بدست می‌آید. از آنجا که این روند برای ایستگاه کرمانشاه نیز تقریباً صادق است، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که مقدار ضریب منطقه‌ای بدست آمده برای بارش ۱۲ ساعته را می‌توان با دقت مناسب برای زمان‌های تداوم بارش‌های دیگر نیز مورد استفاده قرار داد. البته این روند با توجه به اینکه داده بارش با زمان تداوم کمتر از ۳ ساعته در این ایستگاه‌ها موجود نیست، برای اینگونه زمان‌های تداوم بایستی مورد بررسی قرار گیرد. جهت مقایسه بیشتر نتایج، ایستگاه نجم‌آباد (حوضه

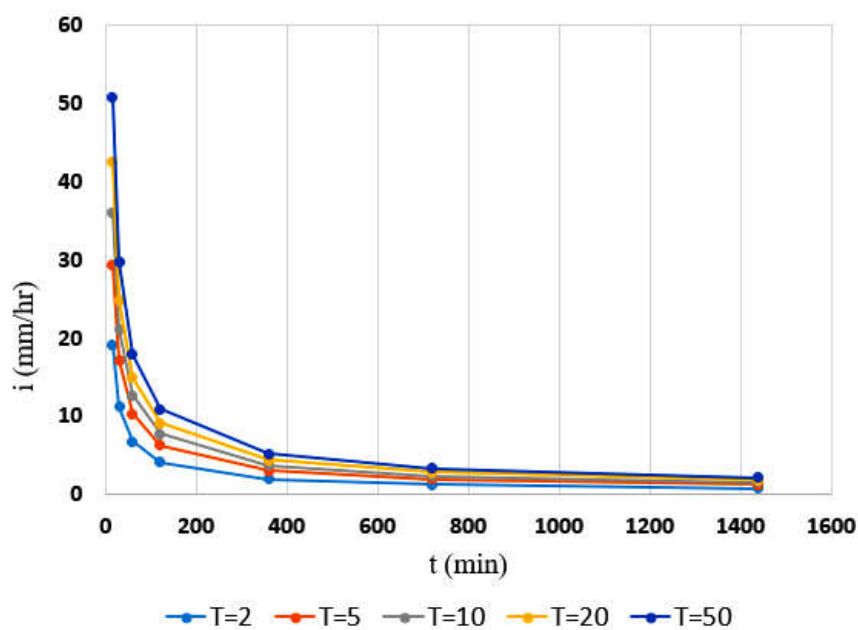
جدول ۴. ضرایب همبستگی بارندگی ۳ و ۶ ساعته در ایستگاه‌های مینودشت و کرمانشاه (داده‌ها بر اساس مقایسه بین بارش‌های محاسبه شده از ضریب منطقه‌ای و داده‌های واقعی، بدست آمده‌اند)

مینودشت		کرمانشاه		زمان تداوم بارش
۶ ساعته	۳ ساعته	۶ ساعته	۳ ساعته	
۰/۲۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۰	ضریب منطقه‌ای n محاسباتی
۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۹۰	ضریب همبستگی به ازای ضریب منطقه‌ای محاسباتی
۰/۷۷	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۷۸	ضریب همبستگی به ازای n=0.33 (روش هندوستان)

جدول ۵. شدت‌های بارش در تداوم‌ها و دوره‌های بازگشت مختلف در دو روش قهرمان و IMD اصلاح شده با n=0.35

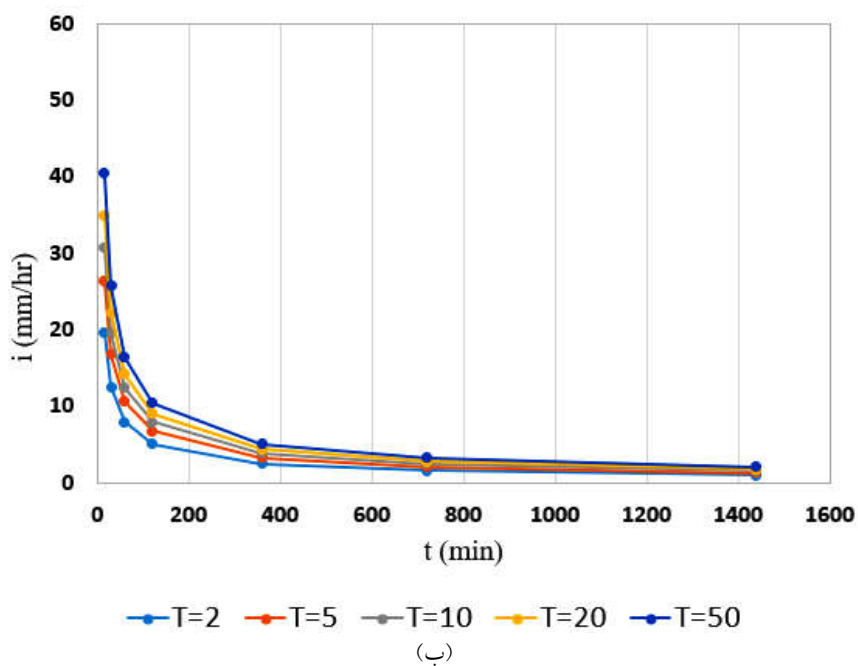
دوره بازگشت (سال) زمان تداوم (دقیقه)	روش قهرمان					روش IMD				
	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰
۱۵	۱۹/۹	۲۶/۲	۳۲/۲	۳۹/۷	۵۲/۳	۲۰/۶	۲۵/۲	۲۹/۴	۳۴/۲	۴۱/۹
۳۰	۱۲/۴	۱۶/۳	۲۰/۱	۲۴/۸	۳۲/۶	۱۳/۲	۱۶/۱	۱۸/۷	۲۱/۸	۲۶/۷
۶۰	۷/۷	۱۰/۲	۱۲/۵	۱۵/۴	۲۰/۳	۸/۴	۱۰/۳	۱۱/۹	۱۳/۹	۱۷/۰
۱۲۰	۴/۸	۶/۳	۷/۸	۹/۶	۱۲/۷	۵/۳	۶/۵	۷/۶	۸/۹	۱۰/۸
۳۶۰	۲/۲	۳/۰	۳/۷	۴/۵	۶/۰	۲/۶	۳/۲	۳/۷	۴/۳	۵/۳
۷۲۰	۱/۴	۱/۸	۲/۳	۲/۸	۳/۷	۱/۷	۲/۰	۲/۴	۲/۸	۳/۴
۱۴۴۰	۰/۹	۱/۱	۱/۴	۱/۷	۲/۳	۱/۱	۱/۳	۱/۵	۱/۸	۲/۲

$$i = \frac{102T^{0.30}}{t^{0.68}}$$



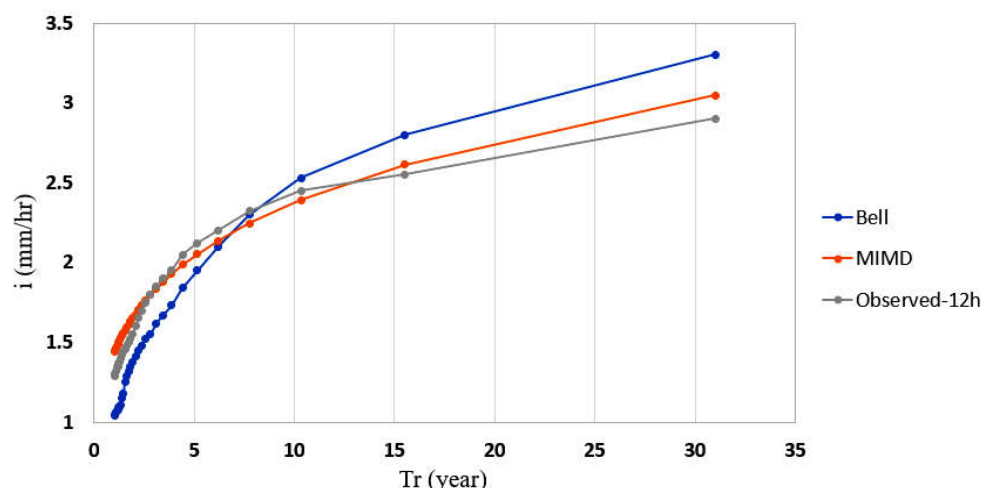
(الف)

$$i = \frac{103T^{0.22}}{t^{0.65}}$$



(ب)

شکل ۱: رابطه و منحنی‌های IDF مربوطه: الف- روش قهرمان و ب- روش IMD با مقدار پارامتر $n=0.35$ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. مقایسه روش قهرمان و IMD اصلاح شده با داده‌های واقعی حداکثر ۱۲ ساعته در ایستگاه نجم‌آباد (رنگی در نسخه الکترونیکی)

بارش‌های با تداوم مختلف در یک ایستگاه نیز ثابت نیست اما دامنه تغییرات اندکی دارد. جهت مقایسه نتایج، رابطه IDF برای ایستگاه نجم‌آباد واقع در حوضه آبریز کردان از هر دو روش قهرمان و IMD اصلاح شده با ضریب $n=0.35$ استخراج شد و بر اساس آن مقادیر شدت بارندگی با دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. نتایج نهایی نشان داد که روش IMD اصلاح شده در عین سادگی و اتکا به یک پارامتر، نتایج بسیار دقیق‌تری نسبت به روش قهرمان ارائه می‌دهد و این در حالی است که روش قهرمان دارای پارامترهای پیچیده‌ای است که محاسبه آنها اغلب دشوار است. این پژوهش نشان می‌دهد که با واسنجی ضریب منطقه‌ای n برای نقاط مختلف ایران، به راحتی می‌توان از این رابطه در محاسبه بارش‌های کوتاه‌مدت از بلندمدت استفاده کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی (IDF) از مهم‌ترین مباحث مطالعات منابع آب به شمار می‌روند. یکی از گام‌های مهم برای رسم این منحنی‌ها دسترسی به آمار بارش‌های کوتاه‌مدت و در نتیجه محاسبه شدت‌های بارش با تداوم‌ها و دوره‌های بازگشت مختلف است. در این پژوهش، ابتدا رابطه سازمان هواشناسی هندوستان به یک رابطه یک متغیره تغییر داده شده است بطوری‌که تنها به یک پارامتر n وابسته شود. سپس ۴ ایستگاه باران‌سنجی در نقاط مختلف ایران انتخاب شده و براساس حداکثر داده‌های بارش ۲۴ ساعته این ایستگاه‌ها، مقادیر بارش کوتاه مدت با استفاده از مقادیر مختلف n محاسبه شدند. نتایج با مقادیر مشاهده‌ای واقعی مقایسه شد و مشخص شد که ضریب منطقه‌ای رابطه اصلاح شده هندوستان در هیچ یک از ایستگاه‌ها برابر با ۰/۳۳ نیست. این ضریب حتی برای

منابع مورد استفاده

1. Al Mamun, A., M. N. Bin-Salleh and H. M. Noor. 2018. Estimation of short-duration rainfall intensity from daily rainfall values in Klang Valley, Malaysia. *Applied Water Science* 8(7): 203-213.
2. Ali, H. and V. Mishra. 2018. Contributions of dynamic and thermodynamic scaling in sub-daily precipitation extremes in India. *Geophysical Research Letters* 45(5): 2352-2361.
3. Bell, F.C. 1969. Generalized rainfall depth-duration frequency relationships. *Journal of Hydraulic* 95(1): 331-327.
4. Bell, F.C. 1999. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. *Journal of Hydraulic Division, ASCE* 95:

- 311-327.
5. Chowdhury, R. K., M. J. Alam, P. Das and M. A. Alam. 2007. Short duration rainfall estimation of Sylhet: IMD and USWB method. *Journal of the Indian Water Works Association* 39(4): 285-292.
 6. Fan, J., A. Motamedi and M. Galoie. 2020. Impact of C factor of USLE technique on the accuracy of soil erosion modeling in elevated mountainous area (case study: the Tibetan Plateau). *Journal of Environment, Development and Sustainability* 23(8): 12615-12630.
 7. Ghahraman, F. and H. Abkhezr. 2004. Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. *Journal of Water and Soil Science* 8(2):1-14 (In Farsi).
 8. Galoie M., G. Zenz and S. Eslamian. 2013. Determining the high flood risk regions using a rainfall-runoff modeling in northern Graz, Austria. *Journal of Flood Engineering* 4(1): 9-27.
 9. Galoie, M., G. Zenz and S. Eslamian. 2013. Application of L-moments for IDF Determination in an Austrian Basin *International Journal of Hydrology Science and Technology* 3(1): 30- 48.
 10. Garcia-Bartual, R. and M. Schneider. 2001. Estimating maximum expected short-duration rainfall intensities from extreme convective storms. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26(9): 675-681.
 11. Haddad, K., A. Rahman, J. Green and G. Kuczera. 2011. Design rainfall estimation for short storm durations using L-moments and generalised least squares regression-application to Australian data. *International Journal of Water Resources and Arid Environments* 1: 210-218.
 12. Koutsoyiannis, D., C. Onof and H. S. Wheater. 2003. Multivariate rainfall disaggregation at a fine timescale. *Water Resources Research* 39(7): 1-18.
 13. Lepore, C., J. T. Allen and M. K. Tippett. 2016. Relationships between hourly rainfall intensity and atmospheric variables over the contiguous United States. *Journal of Climate* 29(9): 3181-3197.
 14. Logah, F. Y., K. Kankam-Yeboah and E.O. Bekoe. 2013. Developing short duration rainfall intensity frequency curves for Accra in Ghana. *International Journal of Research in Engineering and Computing* 1(1): 67-73.
 15. Mohamadi, M., J. Mamizadeh and E. Ehsanzadeh. 2020. Comparison of statistical and empirical models in determining the intensity-duration-frequency rainfall curves (case study: Ilam city). *Irrigation and Water Engineering* 11(1): 256-268 (In Farsi).
 16. Palaka, R., G. Prajwala, K. V. S. N. Navyasri and I. S. Anish. 2016. Development of intensity duration frequency curves for narsapur mandal, telangana state, India. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 5(6): 109-113.
 17. Raghunath, H. M. 2006. *Hydrology: Principles, Analysis and Design*. New Age International. Delhi, India.
 18. Rashid, M. M., S. B. Faruque and J. B. Alam. 2012. Modeling of short duration rainfall intensity duration frequency (SDR-IDF) equation for Sylhet city in Bangladesh. *Journal of Science and Technology* 2(2): 92-95.
 19. Vaziri, F. 1991. Analysis of Storms in Different Parts of Iran. Khajeh Nasir Toosi University of Technology (KNTU), Tehran, Iran (In Farsi).

Estimation of Short-Duration Rainfall Depth from Daily Rainfall Values Using a Single-Parameter Method

S. Farhadi^{1*}, M. Galoie¹ and A. Motamedi²

(Received: December 5-2020; Accepted: May 26-2021)

Abstract

One of the important relationships which are used in the estimation of river discharges and floods is Intensity-Duration-Frequency (IDF). The accuracy of this relation is dependent on the accuracy of its parameters which need to be found based on short-duration rainfall depths (such as 15, 30, 60 minutes, and so on) for a long term (i. e. 30 consecutive years). Unfortunately, only 24-hour rainfall depths are available in many rainfall stations in Iran. Various empirical relations are available to convert 24-hour rainfall depth to sub-daily. One of these methods is IMD and its accuracy in some regions is low. In this research, the IMD method was transformed into a single-parameter equation and then, this parameter is evaluated for some rainfall stations in Iran. To do this, maximum 24, 12, 6, and 3-hour rainfall depths were extracted and their frequencies were calculated using Weibull and Gumbel methods. Regional coefficients in the modified IMD method were estimated using a linear regression method. Although the power of the IMD method is 0.33, results showed that this parameter for the rainfall stations ranged from 0.28 to 0.35. To make more comparison, the IDF relation of Kordan's watershed was calculated using the short-duration rainfall depth which was estimated using the modified IMD, and then, this IDF was compared to observed data and Ghahraman's relation which is commonly used in Iran. The comparison showed that the modified IMD relation could estimate the short-duration rainfall data better than Ghahraman's relation. After calibration of the modified IMD relation for various regions in Iran, the sub-daily rainfall depth can be obtained with high accuracy.

Keywords: Short-duration rainfall, IDF relationship, Kordan's watershed, Flood management, Frequency analysis

1. Civil Engineering Department, Faculty of Technical and Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

2. Civil Engineering Department, Technical University of Buein Zahra, Qazvin, Iran.

*: Corresponding author, Email: s.farhadi@edu.ikiu.ac.ir