Archive of SID



# رسم منحنی‌های حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته با روش‌های مختلف آماری و مقایسه آن با روش سینوپتیکی برای ایران

مهدی خلجی پیربلوطی و علیرضا سپاسخواه[۱]


## چکیده

*حداکثر بارش محتمل مقدار بارشی است که امکان وقوع آن در یک ایستگاه، یک منطقه یا یک حوزه آبخیز وجود دارد، یا حداکثر کردن منطقی عوامل هواشناسی به گونه‌ای که رگبار حداکثر تولید شود. حداکثر بارش‌های محتمل از این نظر حایز اهمیت‌اند که تأسیسات هیدرولیک، همچون سرریزهای اضطراری سدها، پل‌ها، آب‌روها، نهرها و شبکه‌های زه‌کشی شهری بر پایهٔ آن طراحی می‌شوند. محتمل‌ترین بارش روزانه به دو روش کلی تخمین زده می‌شود: در روش اول از عواملی مانند دمای نقطه شبنم، سرعت باد و فشار هوا در ایستگاه‌های هواشناسی استفاده می‌شود. روش دوم روشی آماری است که در آن از بسط و تحلیل آمار بارندگی حداکثر روزانه استفاده می‌گردد. در این پژوهش با استفاده از حداکثر بارش ۲٤ ساعته جمع‌آوری شده از گزارش‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو در یک دوره ۱۵ ساله یا بیشتر، حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته با روش‌های مختلف آماری، برای مناطقی از ایران که در آنها مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته با روش سینوپتیکی محاسبه شده بود، برآورد گردید.*

*بررسی‌ها نشان داد که مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته محاسبه شده با روش سینوپتیکی دارای اختلاف می‌باشند، ولی نتایج روش بت‌لاهمی نسبت به دیگر روش‌های آماری، در قیاس با روش سینوپتیکی، دارای اختلاف کمتری است. برای به حداقل رساندن این اختلاف، با اعمال ضریب رطوبتی، روش بت‌لاهمی واسنجی گردید. سپس مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته واسنجی شده برای کلیه ایستگاه‌های مورد بررسی ایران محاسبه، و منحنی‌های حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته رسم گردید. نتایج نشان داد که کمترین مقدار حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته ایران در مناطق مرکزی برابر ۱۱۰ میلی‌متر اتفاق افتاده، و بیشترین مقدار آن در نقاط شمالی و جنوبی ایران برابر با ۲٦۰ میلی‌متر می‌باشد.*


**واژه‌های کلیدی:** *حداکثر بارش محتمل، روش‌های آماری، روش سینوپتیکی، روش بت‌لاهمی واسنجی شده، حداکثر بارش ۲٤ ساعته*

---

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استاد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز



www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

هنگام بررسی رویدادهای نادر هیدرولوژی، ممکن است این پرسش مطرح شود که PMF یا حداکثر سیلاب محتمل (Probable Maximum Flood) چه شدتی خواهد داشت؟ بررسی‌های احتمالی گویای بی‌نهایت بودن مقدار حداکثر سیلاب محتمل است، زیرا با کاهش احتمال وقوع، بر شدت واقعه افزوده می‌شود، و هنگامی که احتمال وقوع سیلاب به سمت صفر میل نماید، شدت آن به بی‌نهایت میل خواهد کرد. ولی چون سیلاب محصول مستقیم بارش است، می‌توان پذیرفت که محدودیت‌های فیزیکی سبب تثبیت شدت بارش، و در نتیجه سیلاب خواهد شد. به سخن دیگر، می‌توان ادعا کرد که شدت بارش دارای یک حد نهایی منطقی است، که به PMP یا حداکثر بارش محتمل (Probable Maximum Precipitation) معروف می‌باشد (۱۳). چاو و همکاران (۱۱) سقف بارشی را که به لحاظ فیزیکی و منطقی در یک دوام معین از سال در محدوده‌ای مشخص قابل وقوع باشد، به عنوان حداکثر بارش محتمل تعریف نموده‌اند. کاریگان و همکاران (۱۲) در سال ۱۹۹۸ شرایط جغرافیایی را نیز به تعریف فوق افزودند.

حداکثر بارندگی محتمل از این نظر حایز اهمیت است که تأسیسات هیدرولیک بر اساس آن طراحی می‌شود. بنابراین، چنین تأسیساتی نباید هیچ گاه از نظر بارندگی و سیل در معرض خطر قرار گیرند. از جمله این تأسیسات و ابنیه می‌توان سرریزهای اضطراری سدها را نام برد (۷). به خاطر شکست و خراب شدن شماری از سدهای ساخته شده، مانند سد ماچو II در ایالت گجرات هندوستان (۱۵) و سد جانستون در ایالت پنسیلوانیا آمریکا (۲۰)، و هم‌چنین دیگر ابنیه هیدرولیک، توجه بیشتری به استانداردهای طراحی برای شدت‌های باران به عمل آمده است.

شاخص‌های مورد نیاز در طراحی سدهای بزرگ عبارتند از بارش حداکثر محتمل و رگبار استاندارد پروژه (Standard Project Storm). رگبار استاندارد پروژه به رگباری گفته می‌شود که در مناسب‌ترین شرایط هواشناسی و هیدرولوژی با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی منطقه به وقوع بپیوندد (۱۶). هنگامی که دادهٔ کافی برای محاسبه رگبار استاندارد پروژه در منطقه طرح وجود نداشته باشد، درصدی منطقی از بارش حداکثر محتمل جانشین رگبار استاندارد پروژه می‌شود (۱۹). بنابراین، برای طراحی سازه‌های آبی، در مرحله اول باید حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته محاسبه گردد. تا کنون برای چندین منطقه از ایران محاسبات حداکثر بارش‌های محتمل ۲۴ ساعته انجام شده است، که از آن جمله بررسی‌های حوزه طالقان (۶) و حوزه‌های کرخه، مارون، شفارود و سد ۱۵ خرداد (۱، ۲، ۳ و ۴) را می‌توان نام برد.

## مواد و روش‌ها

حداکثر بارش‌های محتمل را می‌توان به دو روش آماری و سینوپتیکی برآورد نمود. ذیلاً به شرح مختصر روش‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش و روش سینوپتیکی پرداخته می‌شود.

### روش‌های آماری

#### روش هرشفیلد (۱۴)

دراین روش حداکثر بارش محتمل با توجه به معادله عمومی فرکانس، ارائه شده توسط چاو (۱۰) به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$X = \bar{X} + KS \qquad [1]$$

که در آن:

$\bar{X}$ = میانگین تعدیل شده داده‌ها

S = انحراف معیار تعدیل شده داده‌ها

K = ضریب فرکانس

این مقادیر بر پایهٔ منحنی‌های مربوط به دست می‌آید (۲۱).

#### روش بت‌لاهمی(۹)

بت‌لاهمی برای کاستن مشکل کمبود آمار و کم کردن تأثیر زیاد



www.SID.ir

Archive of SID



مشاهدات استثنایی، روشی ترسیمی-تحلیلی برای تعیین یک واقعه هیدرولوژی، با دوره برگشتی به مراتب بیشتر از تعداد سال‌های آماری پیشنهاد کرده است. در این روش، برای مقابله با مشکلات کمبود آمار وچولگی ارقام، می‌توان از مقدار میانه آمار موجود که توصیف خوبی از تراکم مرکزی جمعیت‌های نرمال و جمعیت‌های دارای چولگی ارائه می‌دهد، بهره گرفت. در این روش، مرتبه و شمار مشاهدات به شرح زیر، به صورت بدون بعد تعریف می‌شود :

$$M = \frac{(N+1)}{2} \qquad [۲]$$

$$q_i = (Q_i)^{1/2} / (Q_i + Q_M)^{1/2} \qquad [۳]$$

$$n_i = (N_i)^{1/2} / (N_i + N_M)^{1/2} \qquad [٤]$$

که در آنها:

M = شماره میانه داده‌ها

N = شمار کلیه داده‌های موجود

$n_i$ = مقدار تغییر یافته $N_i$ ، هنگامی که مقادیر N به شکل افزایشی مرتب شده باشد.

$Q_i$ = مقادیر آمار

$q_i$ = مقدار تغییر یافته $Q_i$ ، هنگامی که مقادیر Q به ترتیب کاهشی مرتب شده باشند.

از روابط فوق می‌توان مقدار واقعه هیدرولوژی را که مرتبه نظیر آن در داخل سری داده‌ها وجود دارد، محاسبه کرد. برای محاسبه مقدار واقعه با دوره برگشت T بیشتر از شمار مشاهدات، با توجه به این که مقدار واقعه‌ای که محاسبه می‌شود از مقدار حداکثر شده $Q_i$ بیشتر خواهد بود، معادله ٤ بایستی به شکل زیر نوشته شود:

$$n_T = 1/\left[1 + \left((T+1)/2\right)\right] \qquad [٥]$$

که در آن:

$n_T$ = مقدار بسط داده شده N برای دوره برگشت T سال

T = شمار سال آماری گسترش داده شده

ولی با توجه به این که نسبت T/n و نتیجتاً نسبت $n_T/n_1$ ثابت باقی می‌ماند، به طور منطقی، می‌توان انتظار داشت که با افزایش بدون حد T/n، نسبت $n_T/n_1$ نیز به حد معینی میل کند، در صورتی که حد $n_T$ برابر با یک خواهد بود، که مقدار q نظیر آن به سمت بی‌نهایت میل خواهد کرد، که غیر واقعی است. بنابراین، باید مقدار حداقلی برای $n_T$ و یا نسبت $n_T/n_1$ در نظر گرفته شود. بدین منظور، برای گسترش اطلاعات، معادله زیر به جای معادلات ٤ و ٥ پیشنهاد شده است (۹):

$$n_T / n_1 = \exp\left[-1/\pi(T-N)/(T+N)\right] \qquad [٦]$$

درمعادله فوق، چنانچه نسبت T/N به سمت بی‌نهایت میل کند، مقدار $n_T/n_1$ به طور مجانب به سمت $\exp(-1/\pi)$ میل خواهد کرد. از این نسبت می‌توان مقدار حداکثر سیل محتمل و یا حداکثر بارش محتمل را محاسبه نمود (۸).

### روش بت‌لاهمی اصلاح شده

قهرمان و سپاسخواه (۸) با انجام بررسی‌هایی در روابط ارائه شده توسط بت‌لاهمی، پیشنهاد نمودند که برای یافتن نسبت $n_T/n_1$ به منظور گسترش داده‌های مشاهده شده، به جای به کار بردن معادله ٦ ، از معادله زیر استفاده شود:

$$n_T / n_1 = \exp\left[-(T-N)/(T+N)\right] \qquad [۷]$$

معادله فوق، در مقایسه با معادله ٦، به ازای یک دوره برگشت مشخص T مقدار کوچک‌تری را برای n ، و در پی آن مقدار بزرگ‌تری را برای $Q_T$ به دست می‌دهد. پس از محاسبه مقدار $n_T$ ، بقیه مراحل محاسبه مشابه روش بت‌لاهمی خواهد بود.

### روش سینوپتیکی

این روش بر اساس مطالعه رگبارهای شدید پایه‌گذاری شده است. پس از اعمال ضریب‌هایی به منظور حداکثر نمودن مقادیر رگبارها، اقدام به برآورد حداکثر بارش محتمل می‌گردد. این برآورد به حالت‌های غیر کوهستانی و کوهستانی، به شرح زیر تقسیم می‌شود:

### روش غیر کوهستانی

در این روش، رگبارهای مشاهده شده به عنوان یک شاخص مورد بررسی قرار می‌گیرد، و پس از تخمین رطوبت اتمسفر و



www.SID.ir

Archive of SID

حداکثر نمودن آن، و در صورت لـزوم پـس از حداکـثر نمـودن سرعت باد و اعمال دو ضریب مربوطـه، مقـدار حداکـثر بـارش محتمل برآورد می‌گردد (۲۱).

**روش کوهستانی**

مقدار بارش با توجه به جهت و سرعت جریان هوای مرطـوب، ارتفاع و چگونگی قرار گرفتن کوهستان تغییر می‌پذیرد. بـرآورد حداکثر بارش محتمـل در نواحـی کوهسـتانی بـه ترکیبـی از دو عامل زیر بستگی دارد (۱۷ و ۱۸):

۱. باران‌های کوهستانی، که تحت تأثیر کوهستان می‌باشد.
۲. باران‌های هم‌گرایی ناشی از جریان اتمسفر، که مسـتقل از تأثیر کوهستان است.

هر دو مورد فوق باید در تخمین حداکثر بارش محتمـل در ایـن نواحی مورد استفاده قرار گیرد.

**داده‌های بررسی**

در این پژوهش، آمار لازم در مـورد حداکـثر بـارش ۲٤ سـاعته ایستگاه‌های سازمان هواشناسـی و باران‌سـنجی وزارت نـیرو از سال ۱۳۳۷ تا جدیدترین آمار در آغاز تحلیل اطلاعـات (۱۳۷۰) تهیه گردید. سپس ایستگاه‌های دارای خلأ آماری مشخص، و بـا توجه به موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مجاور آنها، و از طریق رگرسـیون‌گیری، عمـل بازسـازی آمـار انجـام، و انتخـاب ایستگاه‌های نهایی با آمـار حداقـل ۱۵ سـال یـا بیشـتر صـورت پذیرفت.

پـس از بررسـی‌های لازم، ٦٥٤ ایسـتگاه، ۲۳۸ ایسـتگاه هواشناسـی و ٤۱٦ ایستگاه وزارت نـیرو انتخـاب شـده و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. موقعیـت ایـن ایسـتگاه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است. مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته با روش‌های مختلف آماری هرشـفیلد، بت‌لاهمـی و بت‌لاهمی اصلاح شده برای این ایستگاه‌ها، به صورت نقطه‌ای، با اسـتفاده از برنامه‌های کامپیوتری که به زبان فاکس‌پـرو (Fox Pro) تهیـه شده بود، محاسبه گردیـد (۵). سـپس کلیـه ایسـتگاه‌های مـورد استفاده در محاسبه حداکثر بارش محتمـل ۲٤ سـاعته، بـه روش سینوپتیکی در حوزه‌های کرخه، مارون، شفارود و سد ۱۵ خرداد (۱، ۲، ۳ و ٤) شناسایی، و برای هر کدام از حوزه‌ها با اسـتفاده از نرم‌افـزار کـامپیوتری سـورفر (Surfer)، مقـادیر حداکـثر بـارش محتمـل ۲٤ سـاعته بـه روش‌هـای هرشـفیلد، بت‌لاهمـی و بت‌لاهمی اصلاح شده ترسیم گردید. نمونه‌ای از نقشه‌های رسم شده برای حوزه مارون به روش هرشفیلد در شکل ۲ ارائه شـده است (۵).

با محاسبه مساحت بین منحنی‌های حداکثر بارش محتمـل و مقادیر منحنی‌های میزان، حجـم تجمعـی بـارش محاسـبه و بـا تقسیم بر کل سطح، میانگین حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته در کل حوزه به دست آمد، تا با مقادیر نظیر بـه روش سـینوپتیکی مقایسه گردد. نمونه‌ای از محاسبات برای حوزه مارون بـه روش هر شفیلد در جدول ۱ ارائه شده است.

## نتایج و بحث

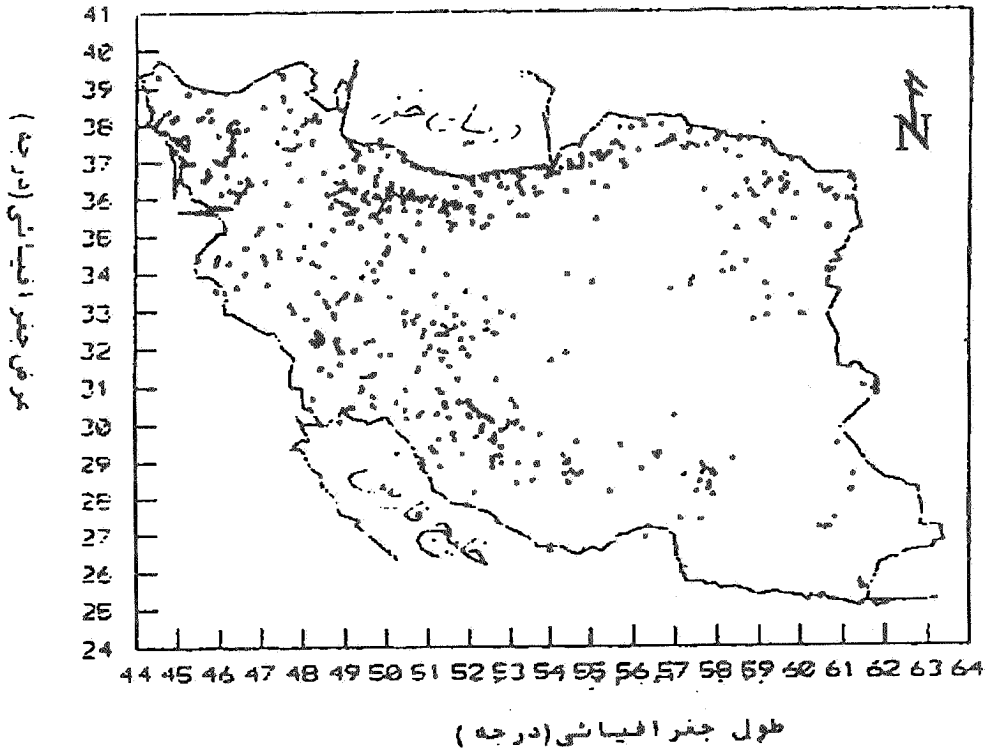
مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته به روش سـینوپتیکـی و روش‌های مختلف آماری برای حوزه‌های مطالعاتی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که :

۱. هیچ کدام از مقادیر حداکـثر بـارش محتمـل ۲٤ سـاعته در روش‌های مختلف آماری و سینوپتیکـی بـا هـم هم‌خوانـی ندارند، که غیر معقول نـیز بـه نظـر نمی‌رسـد. زیـرا، اولاً : ایستگاه‌های انتخاب شده در روش‌های آماری، دقیقاً همـان ایستگاه‌های استفاده شده در روش سینوپتیکی برای تحلیـل نمی‌باشند، و طول دوره آماری نیز دقیقاً برابر نیست. ثانیـاً : عواملی که در روش سینوپتیکی برای حدکثر نمودن بـارش از آنها استفاده می‌شود، به صورت مستقیم در روش آمـاری نقش ایفا نمی‌نمایند.
۲. مقادیر حداکثر بـارش محتمـل ۲٤ سـاعته محاسـبه شـده روش بت‌لاهمی نسبت به روش‌های آماری دیگر به مقادیر نظیر روش سینوپتیکی نزدیک‌تر است.

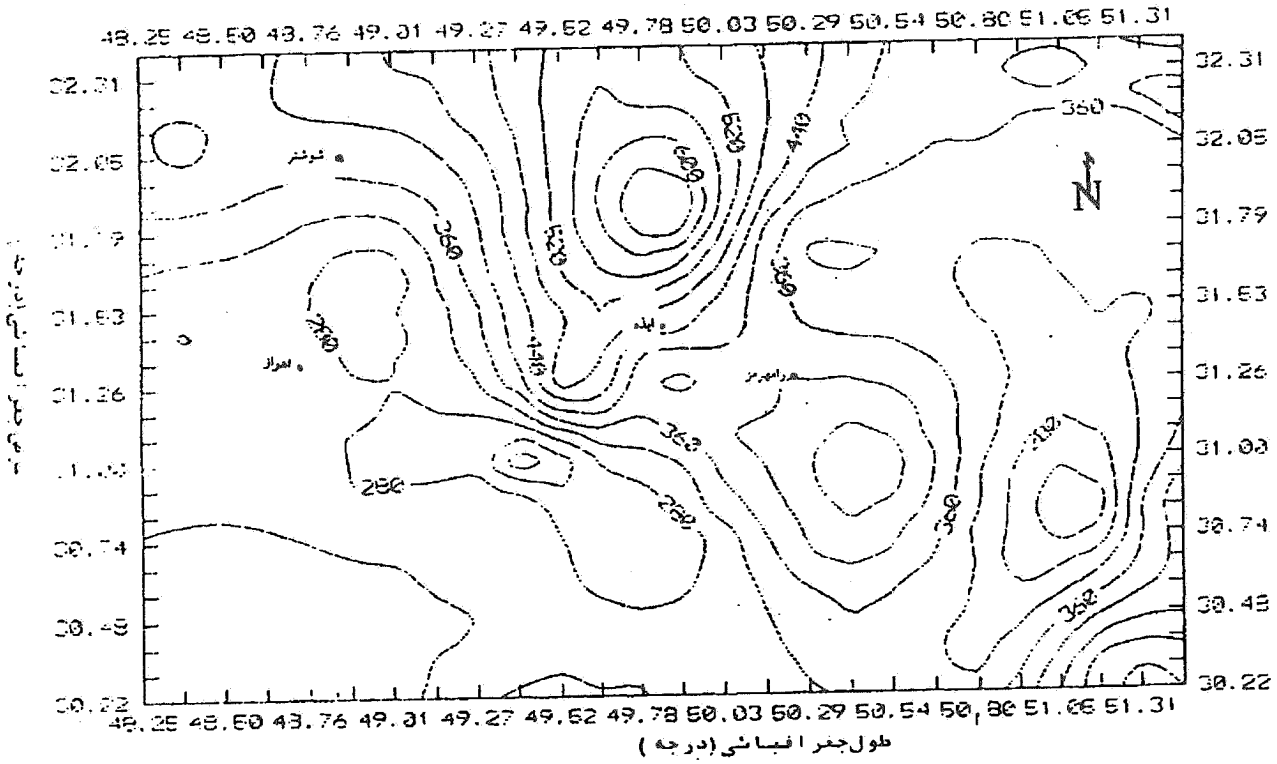

www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۱. ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی مورد استفاده در پژوهش




شکل ۲. منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲۴ ساعته به روش هرشفیلد، برای حوزه مارون (میلی‌متر)

www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۱. مساحت و حجم بارش با توجه به شکل ۲ برای حوزه مارون به روش هرشفیلد

| مقدار بارش (میلی‌متر) | میانگین بارش (میلی‌متر) | سطح تجمعی (کیلومتر مربع) | سطح جزئی (کیلومتر مربع) | حجم بارش (متر مکعب ۱۰۰۰ ×) |
|---|---|---|---|---|
| < ۲۸۰ | ۲۸۰ | ۱۵۷۷۹۰۰ | ۱۵۷۷/۹۰ | ٤٤۱۸۱۲ |
| ۳۲۰-۲۸۰ | ۳۰۰ | ۲۳٦٦/۸۵ | ۲۳٦٦/۸۵ | ۷۱۰۰۵۵ |
| ۳٦۰-۳۲۰ | ۳٤۰ | ۲۰۵۱/۲۷ | ۲۰۵۱/۲۷ | ٦۹۷٤۳۱/۸۰ |
| ٤۰۰-۳٦۰ | ۳۸۰ | ٤۸٤٤/۱۵ | ۳۲٦٦/۲۵ | ۱۳۸۳۱۸۷/۱٤ |
| ٤٤۰-٤۰۰ | ٤۲۰ | ۱۵۷۷/۹۰ | ۵۸۳/۸۲ | ۲٤۵۲۰۵/٦٦ |
| ۵۲۰-٤٤۰ | ٤۸۰ | ۹۹٤/۰۸ | ۷۵۷/۳۹ | ۳٦۳۵٤۸/۱٦ |
| >۵۲۰ | ۵۲۰ | ۲۳٦/٦۸ | ۲۳٦/٦۸ | ۱۲۳۰۷٦/۲۰ |
| جمع | | | ۱۰۸٤۰/۱۷ | ۳۸۲۲۳۰٤/۹٦ |

جدول ۲. میانگین حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته به روش‌های مختلف آماری و سینوپتیکی برای حوزه‌های مورد بررسی

| حوزه | مساحت (کیلومتر مربع) | میانگین حداکثر بارش محتمل (میلی‌متر) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | بت‌لاهمی | بت‌لاهمی اصلاح شده | هرشفیلد | روش سینوپتیکی |
| کرخه تا پای پل | ٤۲٦٤٤ | ۱۱۵ | ۳۱۵ | ۳۰۰ | ۱۹۰ |
| سد ۱۵ خرداد | ۱۰٤۱ | ۱۱۵ | ۲۳۰ | ۲٤۵ | ۱۱۵ |
| شفارود | ۳۵۰ | ۱۳۰ | ۳۳۰ | ۳۲۰ | ۲۳۰ |
| مارون | ۱۰۸٤۰ | ۱۳۰ | ۲۷۰ | ۳۰۰ | ۲٦۰ |

۳. مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته روش‌های بت‌لاهمی اصلاح شده و هر شفیلد به هم نزدیک می‌باشند. پس از بررسی اقلیم منطقه‌ای و وضعیت جبهه‌های مرطوب ورودی به مناطق مورد مطالعه، تنها عاملی که به نظر می‌رسید می‌تواند بر بیشینه‌سازی مقادیر حداکثر بارش محتمل به روش سینوپتیکی دخالت نموده و احتمالاً اثر آن در محاسبه با روش‌های آماری حذف شده، یا شدت اثر آن برابر با شدت اثر روش سینوپتیکی نبوده باشد، عامل رطوبت هوا است. به همین دلیل، مقادیر میانگین حداکثر درصد رطوبت نسبی سالیانه و میانگین درصد رطوبت نسبی سالیانه در ایستگاه‌های معرف برای هر حوزه و مربوط به سازمان هواشناسی، که در محاسبات حداکثر بارش محتمل نقش داشته‌اند، برای دوره پایه ۲۰ ساله (۱۳٤۷- ۱۳٦٦) از سالنامه‌های هواشناسی استخراج و نسبت میانگین حداکثر درصد رطوبت نسبی به میانگین سالیانه محاسبه شده، و نسبت این دو برای حوزه‌های بررسی شده به روش سینوپتیکی محاسبه گردید. نتایج این محاسبات در جدول ۳ ارائه شده است.

سپس بررسی‌هایی در مورد رابطه میان نتایج مقادیر میانگین حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته روش‌های مختلف آماری با مقادیر نسبت میانگین حداکثر رطوبت نسبی به متوسط رطوبت و حداکثر بارش‌های محتمل به دست آمده از روش سینوپتیکی برای حوزه‌های مورد مطالعه به عمل آمد. بررسی‌ها نشان داد که اگر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته به روش بت‌لاهمی ایستگاه‌های هر حوزه در نسبت میانگین حداکثر رطوبت نسبی



www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۳. میانگین حداکثر سالیانه، میانگین سالیانه رطوبت نسبی و نسبت آنها برای حوزه‌های مورد بررسی

| حوزه | میانگین حداکثر رطوبت نسبی (درصد) | میانگین متوسط رطوبت نسبی (درصد) | نسبت میانگین حداکثر به میانگین متوسط رطوبت نسبی |
|---|---|---|---|
| کرخه تا پای پل | ۷۵/٦۰ | ٤۹/۱ | ۱/٥٤ |
| سد ۱۵ خرداد | ۷۰/۱۰ | ٤۷/۷ | ۱/٤۷ |
| شفا رود | ۸۳/۹۸ | ۷۲/۸ | ۱/۱٥ |
| مارون | ۷۳/۸۰ | ٤۷/٦ | ۱/٥٥ |

سالیانه به میانگین رطوبت نسبی سالیانه طولانی مدت (ضریب رطوبتی) ضرب شده، سپس منحنی‌های هم‌مقدار هر حوزه رسم، و میانگین حداکثر بارش محتمل محاسبه گردد، مقادیر به دست آمده به مقادیر حاصل از روش سینوپتیکی نزدیک‌تر خواهد بود. نتایج این محاسبات برای حوزه‌های مورد استفاده در پژوهش، در جدول ٤ ارائه گردید.

همان گونه که دیده می‌شود، مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته روش واسنجی شده بت‌لاهمی نسبت به روش‌های دیگر آماری، به اعداد حاصل از روش سینوپتیکی نزدیک‌تر است. بنابراین، ضریب رطوبتی برای کلیه ایستگاه‌های سازمان هواشناسی با طول دوره آماری حداقل ۱۰ سال، که موقعیت آنها در شکل ۳ مشخص شده است، محاسبه، و مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته واسنجی شده برای این ایستگاه‌ها، که جمعاً ۱۷۱ ایستگاه بود، به دست آمد. به منظور تعمیم نتایج به کلیه ایستگاه‌های سازمان هواشناسی و وزارت نیرو و پوشش کامل‌تر ایران، رابطه میان مقادیر حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته به دست آمده با روش واسنجی شده بت‌لاهمی و دیگر روش‌های آماری، برای ۱۷۱ ایستگاه بررسی گردید. این معادلات با جزئیات آماری در جدول ٥ ارائه شده است.

چنان که دیده می‌شود، کلیه روش‌های آماری محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته هم‌بستگی خوبی با روش بت‌لاهمی واسنجی شده دارند. ولی معادله سوم دارای کمترین خطای معیار و بیشترین ضریب تعیین بوده و محاسبه با آن نیز بسیار ساده است. بنابراین، در محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته واسنجی شده مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام محاسبات برای ٦٥٤ ایستگاه، منحنی‌های هم‌حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته اصلاح شده، با اعمال ضریب رطوبتی ترسیم، و در شکل ٤ ارائه شد. این نتایج بیانگر آن است که حداقل مقدار حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته در مناطق مرکزی ایران حدود ۱۱۰ میلی‌متر بوده، و حداکثر آن در مناطق شمالی و جنوبی ایران برابر با ۲٦۰ میلی‌متر می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

برای محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته بهتراست در صورت امکان، و با توجه به وضعیت مالی پروژه و درجه دقت مورد نیاز، از روش سینوپتیکی برای محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته استفاده گردد. در غیر این صورت، می‌توان از روش آماری بت‌لاهمی واسنجی شده به کمک ضریب رطوبتی، در محاسبه حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته نقطه‌ای استفاده نمود.

برای تخمین‌های سریع حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته منطقه‌ای، بهتر است نخست مقادیر نقطه‌ای آن برای ایستگاه‌های دارای آمار کافی در منطقه محاسبه، و سپس با روش میانگین حسابی، مقدار میانگین منطقه‌ای به دست آید.

برای افزایش دقت در تخمین منطقه‌ای حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته بهتر است پس از محاسبه آن برای ایستگاه‌های موجود در منطقه و مناطق مجاور آن، منحنی‌های هم‌مقدار حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته ترسیم، و با استفاده از



www.SID.ir

Archive of SID



جدول ٤. حداکثر بارش محتمل ٢٤ ساعته برای حوزه‌های مورد بررسی به روش‌های مختلف آماری

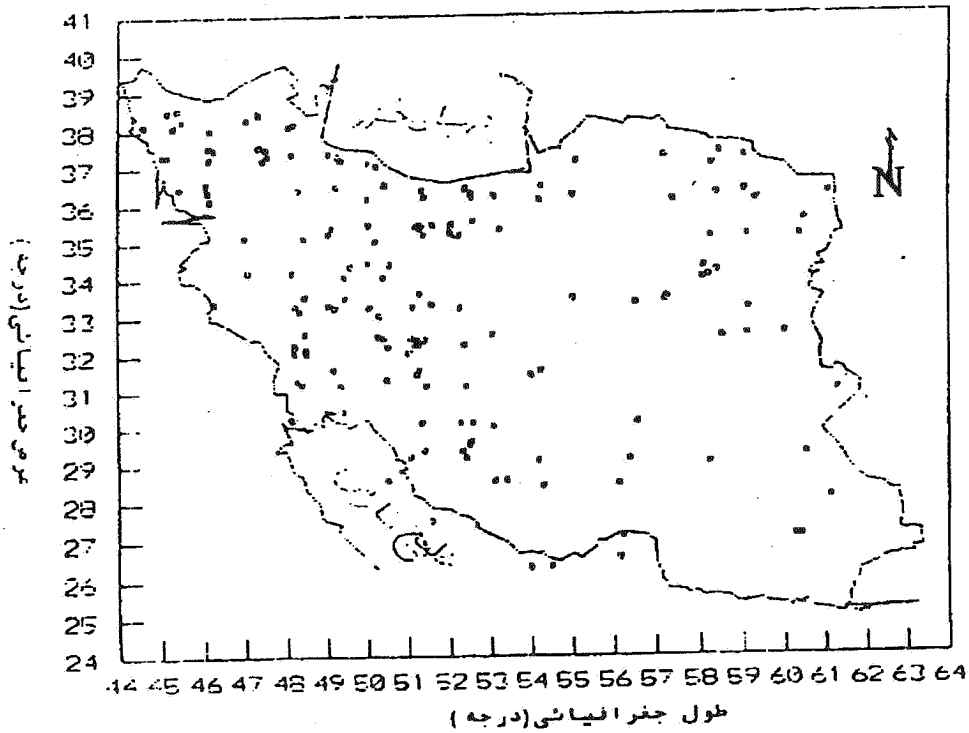
| حوزه | مقدار حداکثر بارش محتمل ٢٤ ساعته (میلی‌متر) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | سینوپتیکی | بت‌لاهمی | هرشفیلد | بت‌لاهمی‌اصلاح شده | بت‌لاهمی واسنجی شده |
| کرخه تا پای پل | ۱۹۰ | ۱۱۵ | ۳۰۰ | ۳۱۵ | ۱۹۰ |
| مارون | ۲٦۰ | ۱۳۰ | ۳۰۰ | ۲۷۰ | ۲۵۰ |
| سد ۱۵ خرداد | ۱۱۵ | ۱۱۵ | ۲٤۵ | ۲۳۰ | ۱۵۵ |
| شفارود | ۲۳۰ | ۱۳۰ | ۳۲۰ | ۳۳۰ | ۱۹۰ |

جدول ۵. معادله‌های به دست آمده بین مقادیر حداکثر بارش محتمل ٢٤ ساعته حاصل از روش بت‌لاهمی واسنجی شده و روش‌های دیگر آماری محاسبه حداکثر بارش محتمل ٢٤ ساعته

| شمار مشاهدات | معیار خطا | سطح معنی‌دار | ضریب تعیین | معادله به دست آمده[1] |
|---|---|---|---|---|
| N | SE | Sig-level | $R^2$ | |
| ۱۷۱ | ۳٦/۲۳ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۸۵ | Pm = ۱/۹Pb |
| ۱۷۱ | ۳۰/۹۹ | ۰/۰۰۰۰۱ | ۰/۸۹ | Pm = ۳٦/۱ + ۱/۰۹۳Pb |
| ۱۷۱ | ۳۰/۵۲ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۹۰ | Pm = ٤۱/٤ + ۰/٤۲٦Ps |
| ۱۷۱ | ۵٤/٦۰ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/٦۷ | Pm = ۲۵/۵ + ۰/٤۹Ph |

۱. Pm = مقدار PMP روش واسنجی شده  Ph = مقدار PMP روش هرشفیلد

Pb = مقدار PMP روش بت‌لاهمی  Ps = مقدار PMP روش بت‌لاهمی اصلاح شده



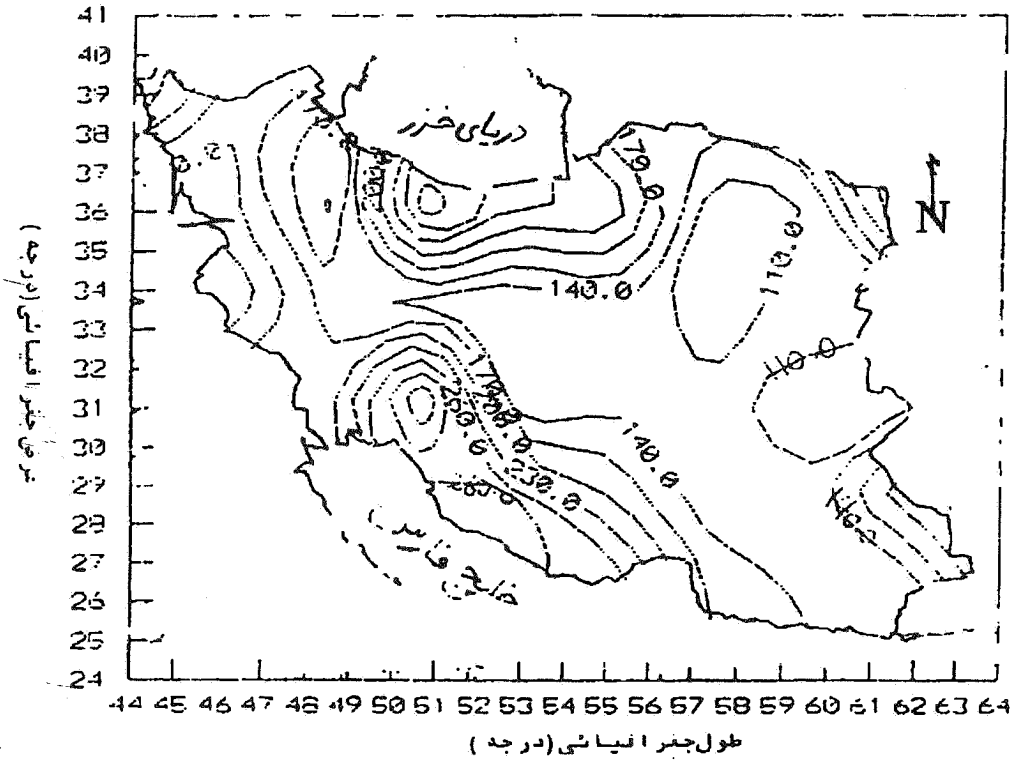

شکل ۳. ایستگاه‌های سازمان هواشناسی با آمار رطوبت نسبی ده سال یا بیشتر



www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ٤. منحنی‌های حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته واسنجی شده (میلی‌متر)، با استفاده از آمار رطوبت ایستگاه‌های سازمان هواشناسی**

روش میانگین وزنی و با توجه به مساحت سطوح محصور بین منحنی‌های هم‌مقدار، مقادیر میانگین منطقه‌ای محاسبه شود.

برای تخمین حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته برای مناطق دوردست و فاقد ایستگاه اندازه‌گیری در ایران، شکل ٤ کاربرد دارد.

## منابع مورد استفاده


۱. بی‌نام. ۱۳٦٤. بررسی حداکثر بارندگی محتمل (PMP) رودخانه‌های مارون-الله و جراحی. شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس،وزارت نیرو، سازمان آب و برق خوزستان.

۲. بی‌نام. ۱۳٦٤. بررسی حداکثر بارندگی محتمل (PMP) رودخانه شفارود. شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس، وزارت نیرو، سازمان آب و برق مازندران.

۳. بی‌نام. ۱۳٦٤. بررسی حداکثر بارندگی محتمل (PMP) سد ۱۵ خرداد. شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس، وزارت نیرو، سازمان آب و برق اصفهان.

٤. بی‌نام. ۱۳٦٤. بررسی حداکثر بارندگی محتمل (PMP) رودخانه کرخه. شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس، وزارت نیرو، سازمان آب و برق خوزستان.

۵. خلجی پیربلوطی. م. ۱۳۷٤. تخمین حداکثر بارش محتمل ۲٤ ساعته برای ایستگاه‌های باران‌سنجی ایران با روش‌های آماری و مقایسه با روش سینوپتیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.




www.SID.ir

Archive of SID



٦. علیزاده، ا. ۱۳٦۸. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات بنیاد فرهنگی رضوی، مشهد.

۷. رشتچی، ژ. ۱۳۷۱. برآورد حداکثر بارش محتمل به روش‌های مختلف. مطالعه موردی برای حوضه آبریز طالقان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۸. قهرمان، ب. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳٦۹. تعیین مقادیر حدی بارندگی (PMP) در نقاط جنوبی ایران. اولین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز، ۵ – ۸ آبان ۱۳٦۹.

9. Bethlahmy, N. 1984. Long-term hydrologic events from short-term records. J. Hydrol. 68: 141-148.

10. Chow, V. T. 1954. The log-probability law and its engineering applications. Proc. ASCE 80: 1-25.

11. Chow, V. T., D. Maidment and L. W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw Hill International, London.

12. . Corrigan, P., D. D. Fen, D. R. Kluck and J. L. Vogel. 1998. Probable Maximum Precipitation for California: Calculation procedure. Hydrometeorological Report No. 58, US Dept. of Commerce, Washington DC.

13. Gerger, R. 1965. The Climate Near the Ground. Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass.

14. Hershfield, D. M. 1961b. Estimating the probable maximum precipitation. J. Hydraul. Div. ASCE 87(HY5): 99-116.

15. Mistry, J. F. 1984. Review of design floods spillway capacities and freeboards for embankment in Gujarat. Proc. Int. Conf. on Safety of Dams, Coimbra, Portugal.

16. U. S. Army Corps of Engineers. 1965. Standard project flood determination. Civil Engineer Bulletin No. 52-8, Engineering Manual EM 1110-2-1411.

17. USBR. 1961. Interim Report-Probable Maximum Precipitation in California. Hydrometeorological Report No. 36, US Dept. of Commerce, Washington DC.

18. USBR. 1966. Probable Maximum Precipitation, Northwest States. Hydrometeorological Report No. 43, US Dept. of Commerce, Washington DC.

19. USBR. 1973. Designs of Small Dams. US Dept. of the Interior, Washington, DC.

20. Viessman, W. J., J. W. Knapp, G. L. Lewis and T. E. Harbaugh. 1977. Introduction to Hydrology. Harper and Row Publication, New York.

21. World Meteorological Organization. 1973. Manual of estimation of probable maximum precipitation. Operational Hydrology Report No. 1., W. M. O. No. 332, Geneva.



www.SID.ir