به‌روش‌های دیگری نیز برآورد نمود. از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است که برای حوضه‌هایی که در آنها داده‌های اندازه‌گیری دبی رواناب وجود ندارد بکار می‌رود. در روش SCS ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی بصورت زیر محاسبه می‌شود :

$$R = \frac{(P - 0.2\,S)^2}{(P + 0.8\,S)} \qquad (۲-۱۴)$$

که در آن:

R = ارتفاع رواناب برحسب اینچ

P = ارتفاع بارندگی (اینچ)

S = عامل مربوط به نگهداشت رطوبت در خاک است که مقدار آن برابر است با:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad (۳-۱۴)$$

دراین معادله CN شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می‌باشد که روش بدست آوردن آن در فصل قبل بحث شده است. با داشتن مقادیر بارندگی (P) و شماره منحنی حوضه (CN) می‌توان از روی معادلات فوق ارتفاع رواناب را بدست آورد. فرمول ۱۴-۳ را در سیستم متریک نیز می‌توان نوشت که قبلاً به آن اشاره شد.

● مثال ۱۴-۱

مقدار رواناب حاصله از ۲ اینچ بارندگی (۵۰ میلی‌متر) روی سطح یک پارک به‌وسعت ۴ هکتار راکه قسمت اعظم آن پوشیده از چمن می‌باشد حساب کنید. وضعیت خاک این حوضه در گروه هیدرولوژیک B قرار می‌گیرد و خاک به دلیل بارندگی‌های قبل مرطوب است.

حل

چنانچه شماره منحنی (CN) را برای وضعیت پوشش حوضه از جداول مربوطه (جدول ۱۲-۴) قبل بدست آوریم مقدار آن حدوداً برابر CN = 60 خواهد بود که اگر آن را برای وضعیت رطوبتی خاک اصلاح کنیم CN = 78 خواهد شد. بنابراین :

$$S = \frac{1000}{78} - 10 = 2.82$$

$$R = \frac{(2 - 0.2 \times 2.82)^2}{(2 + 0.8 \times 2.82)}$$

$$R = 0.4845 \text{ inch} = 12.3 \text{ mm}$$

لذا مقدار رواناب ۰/۴۸۴۵ اینچ (۱۲/۳ میلی‌متر) یا ۲۴ درصد بارندگی است که حجم رواناب برای سطح ۴ هکتار برابر است با :

$$Q = \frac{12.3}{1000}(4 \times 10{,}000) = 492 \text{ m}^3$$

مقدار ۰/۲۴ در این مثال را ***ضریب رواناب*** (run-off coefficient) گویند که از تقسیم ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارندگی بدست می‌آید.

● **مثال ۱۴-۲**

مقدار CN در یک حوضه برابر ۶۹ می‌باشد، چنانچه بارندگی ۷۵ میلی‌متر باشد ارتفاع رواناب را محاسبه کنید. اگر سطح حوضه ۲۰ کیلومترمربع باشد حجم رواناب چقدر است؟

حل

$$CN = 69$$

$$P = 75 \text{ mm} = 3 \text{ inch}$$

$$S = \frac{1000}{69} - 10 = 4.49$$

$$R = \frac{(3 - 0.2 \times 4.49)^2}{(3 + 0.8 \times 4.49)}$$

$$R = 0.67 \text{ inch} = 17 \text{ mm}$$

$$Q = 20 \times 10^6 \times \frac{17}{1000} = 340{,}000 \text{ m}^3$$

رابطه بین بارندگی و رواناب برخلاف تصور همیشه خطی نیست مگر این که نگهداشت رطوبت (S) در حوضه ناچیز باشد (CN = 100) که در این صورت منحنی (رابطه بارندگی - رواناب) از مرکز مختصات نیز می‌گذرد، اما برای حوضه‌هایی که در آنها نگهداشت سطحی زیاد است اولاً این رابطه بصورت یک منحنی نمایی است، ثانیاً با افزایش نمایه S منحنی از مرکز مختصات نیز فاصله گرفته و بخش زیادی از بارندگی بدون آن که جاری شود در سطح حوضه نگهداشته می‌شود. در عمل ضریب رواناب حوضه بعنوان درصدی از بارندگی که به رواناب تبدیل می‌شود مشخص و ارتفاع رواناب با فرمول ساده زیر تخمین زده می‌شود:

$$R = C \cdot P \qquad (۴-۱۴)$$

که در آن C ضریب رواناب، P مقدار ارتفاع بارندگی و R مقدار ارتفاع رواناب است. ضریب رواناب بستگی به خصوصیات فیزیکی حوضه داشته و مقدار آن را می‌توان از جدول ۱۴-۱ تخمین زد. این روش که به روش ساده استدلال (rational) موسوم است برای تخمین اولیه میزان رواناب در مطالعات مقدماتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برآورد رواناب سالانه (آبدهی سالانه) در حوضه‌های آبریز از عملیاتی است که باید توسط هیدرولوژیست‌ها انجام شود.

در صورتی که در فرمول ۱۴-۲ مقدار P بر حسب میلی‌متر بوده و بخواهیم R نیز بر حسب میلی‌متر محاسبه شود لازم است که S نیز برحسب میلی‌متر باشد در این صورت مقدار S برابر خواهد بود با:

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10\right) 25.4 \qquad (۱۴-۵ \text{الف})$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۱۴-۵ \text{ب})$$

جدول ۱۴-۱ ضریب رواناب (C) در حوضه‌های مختلف

نوع پوشش سطح حوضه	شیب‌زمین		
	0-5%	5-10%	10-30%
اراضی مرتعی			
خاک شنی لومی	0.1	0.16	0.22
خاک رسی لومی	0.3	0.36	0.42
خاک رسی سنگین	0.4	0.55	0.60
اراضی جنگلی			
خاک شنی لومی	0.1	0.25	0.3
خاک رسی لومی	0.3	0.35	0.5
خاک رسی سنگین	0.4	0.50	0.6
اراضی کشاورزی			
خاک شنی لومی	0.3	0.4	0.52
خاک رسی لومی	0.5	0.6	0.72
خاک رسی سنگین	0.6	0.7	0.82
اراضی شهری			
30% آسفالت	0.4	0.5	
50% آسفالت	0.55	0.65	
70% آسفالت	0.65	0.80	

● مثال ۱۴-۳

بارانی بمدت ۶ ساعت روی حوضه‌ای که شماره منحنی اراضی آن ۸۰ است رخ داده است. مقادیر بارش در هر ساعت بر اساس اندازه‌گیری‌های باران نگاری مطابق اعداد ستون ۱ و ۲ جدول ۱۴-۲ بوده است. حساب کنید مقادیر بارش مازاد (رواناب) در هر ساعت را.

حل

الف - ارتفاع تجمعی باران را محاسبه می‌کنیم (ارقام ستون ۳ جدول ۱۴-۲)

ب - ارتفاع بارش مازاد تجمعی را در هر ساعت محاسبه می‌کنیم (ارقام ستون ۴ جدول)

مثلاً برای بارش ۴۰ میلی متر در ساعت دوم خواهیم داشت:

$$S = (\frac{1000}{CN} - 10)\ 25.4$$

$$S = (\frac{1000}{80} - 10)\ 25.4 = 63.5$$

$$R = \frac{(P - 0.2\ S)^2}{P + 0.8\ S}$$

$$R = \frac{[40 - 0.2\ (63.5)]^2}{40 + 0.8\ (63.5)} = 8.2$$

ج - با کسر هر کدام از اعداد ستون ۴ از عدد ما قبل خود ارتفاع بارش مازاد در هر ساعت (هایتوگراف بارش مازاد) بدست می‌آید.

جدول ۱۴-۲

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
زمان (hr)	ارتفاع رگبار (mm)	ارتفاع بارش تجمعی (mm)	ارتفاع تجمعی بارش مازاد (mm)	ارتفاع بارش مازاد (mm)
0	0	0	0	0
1	15	15	0	0
2	25	40	8.2	8.2
3	20	60	20.2	12
4	10	70	27.2	7
5	8	78	33.1	5.9
6	6	84	37.7	4.6
7	4	88	40.8	3.1
8	2	90	42.4	1.6

باید توجه داشت که استفاده از فرمول‌های ۱۴-۲ تا ۱۴-۴ فقط مربوط به یک بارش مجزاست و نمی‌توان آن را فرضاً برای کل بارندگی سالانه که در آن بارندگی‌ها به دفعات صورت می‌گیرد بکار برد. با این وجود از آنجائی که در مناطق خشک بارش‌ها عمدتاً زمستانه و فقط در یک دوره کوتاه زمستانه صورت می‌گیرد بعضی از کارشناسان فرمول‌های فوق را برای بارندگی سالانه نیز بکار برده‌اند.

● **مثال ۱۴-۴**

در یک حوضه آبریز به مساحت ۶۰ هکتار داده‌های زیر بدست آمده است.

- مقدار بارندگی ۱۰۰ میلی متر
- وضعیت رطوبت خاک قبل از بارندگی خشک می‌باشد
- پوشش زمین با گیاهان ردیفی ۴۰ هکتار با گروه هیدرولوژیکی متوسط (از نوع گروه هیدروژیکی B در جدول ۱۲-۳)
- پوشش زمین با گیاهان جنگلی ۲۰ هکتار و گروه هیدرولوژیکی متوسط (از نوع گروه هیدرولوژیکی B در جدول ۱۲-۳)

روز بعد از بارندگی ۱۰۰ میلی‌متری باران دیگری به میزان ۵۰ میلی‌متر ریزش می‌کند. حساب کنید مقدار رواناب حاصله از حوضه و ضریب رواناب را در روزهای اول و دوم.

حل

با توجه به ارقام جدول ۱۲-۴ مقادیر زیر را برای CN در نظر می‌گیریم.

CN برای پوشش زمین زراعی در شرایط متوسط = ۸۲

CN برای پوشش زمین جنگلی در شرایط متوسط = ۵۵

در صورتی که CN را برای شرایط خاک خشک اصلاح کنیم مقادیر فوق بر اساس ارقام جدول ۱۲-۵ به ترتیب به ۶۵ و ۳۶ اصلاح خواهند شد در این صورت میانگین وزنی CN عبارت است از :

$$CN = \frac{(65 \times 40) + (36 \times 20)}{60} = 55$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 207 \text{ mm}$$

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} = \frac{(100 - 0.2 \times 207)^2}{100 + (0.8 \times 207)} = \frac{3434}{265} = 13 \text{ mm}$$

ضریب رواناب از حاصل بخش ۱۴ بر ۱۰۰ بدست می‌آید که برابر ۱۳ درصد می‌باشد (C = 0.13).

در روز بعد جمع بارندگی ۱۵۰ میلی‌متر خواهد بود. لذا:

$$P = 100 + 50 = 150 \text{ mm}$$

برای روز دوم لازم است CN متوسط به CN مربوط به خاک مرطوب تبدیل شود که با توجه به ارقام جدول ۱۲-۵ مقادیر CN برای اراضی زراعی ۹۳ و برای اراضی جنگلی ۷۴ در نظر گرفته می‌شود و مقدار وزنی آن عبارت خواهد بود از:

$$CN = \frac{(93 \times 40)\ (74 \times 20)}{60} = 86.5$$

$$S = \frac{25400}{86.5} - 254 = 39.64 \text{ mm}$$

برای ۵۰ میلی‌متر بارندگی در روز دوم مقدار رواناب برابر است با:

$$R = \frac{[(50 - (0.2 \times 39.64)]^2}{50 + (0.8 \times 39.64)} = 21.66 \text{ mm}$$

در این وضعیت ضریب رواناب برابر است با:

$$C = 21.66 \div 50 = 0.43$$

برای آن که نقش رطوبت خاک در تولید رواناب مشخص شود در مثال ۱۴-۴ مشاهده گردید که ۱۰۰ میلی‌متر بارندگی در یک روز که خاک خشک بوده است تنها ۱۳ میلی‌متر رواناب تولید کرد حال آن که در همان حوضه در روز بعد ۵۰ میلی‌متر بارندگی که روی یک خاک مرطوب باریده است توانست ۲۱/۶۶ میلی‌متر رواناب ایجاد نماید. این وضعیت تأثیر رطوبت اولیه خاک را بر مقدار نفوذ آب و ایجاد رواناب نشان می‌دهد.

توجه داشته باشید که اگر حوضه بزرگ و سطح آن ناهمگن باشد بهتر است آن را به مناطق یکنواخت تقسیم کرده و در محاسبه رواناب برای هر قسمت ضریب رواناب جداگانه (C) و یا شماره منحنی جداگانه (CN) در نظر گرفته و سپس رواناب را بصورت وزنی محاسبه کرد.

۱۴-۳ تخمین آبدهی سالانه حوضه

رواناب سالانه یک رودخانه (آورد سالانه) از مهمترین پارامترهائی است که انتظار بدست آوردن آن از یک هیدرولوژیست می‌رود. این موضوع در رودخانه‌هائی که دارای ایستگاه اندازه‌گیری آب می‌باشند کار چندان دشواری نیست اما برآورد آن برای حوضه‌های فاقد ایستگاه نسبتاً مشکل است. امروزه مدل‌های کامپیوتری به انجام این امر کمک فراوان کرده‌اند اما در طرحهای کوچک اگر دسترسی به این مدل‌ها وجود نداشته باشد می‌توان از روشهای ساده تجربی استفاده کرد. یکی از این روشها که برای تخمین آورد سالانه بکار می‌رود روشی است که بنام روش **جاستین** (Justin) معروف است. روش جاستین بر اساس عملکرد مشابه حوضه‌ها استوار است. در این روش ابتدا در منطقه مورد نظر یک حوضه آبریز را که دارای آمار اندازه‌گیری جریان آب بوده و مشخصات زیر در آن معلوم باشد در نظر می‌گیریم :

- مساحت حوضه ، A (کیلومتر مربع)
- حداکثر ارتفاع حوضه، H_{max} (کیلومتر)
- حداقل ارتفاع حوضه، H_{min} (کیلومتر)
- آبدهی سالانه، W (میلیون متر مکعب)
- متوسط بارش سالانه در حوضه، P (سانتی متر)
- متوسط دمای سالانه هوا، T (سانتی گراد)

حال با داشتن این مشخصه‌ها محاسبات زیر را انجام و ضریب K را که بنام **ضریب جاستین** معروف می‌باشد برای این حوضه بدست می‌آوریم.

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}} \qquad (۶-۱۴)$$

$$R = \frac{W}{A} \qquad (۷-۱۴)$$

$$K = \frac{R(1.8\ T + 32)}{S^{0.155}\ P^2} \qquad (۸-۱۴)$$

پس از بدست آوردن ضریب K برای حوضه مذکور با انجام عمل عکس آبدهی سالانه (W) را برای حوضه موردنظر که در همان منطقه اقلیمی واقع شده است مطابق مثال زیر بدست می‌آوریم.

● مثال ۱۴-۵

می‌خواهیم آبدهی سالانه را در یک حوضه در منطقه بیرجند که مشخصات فیزیکی آن به شرح زیر است تخمین بزنیم:

- مساحت حوضه $A = 3230\ km^2$
- حداکثر ارتفاع از سطح دریا $H_{max} = 2787\ m$
- حداقل ارتفاع از سطح دریا $H_{min} = 1100\ m$

- متوسط بارش سالانه $P = 166$ mm
- دمای متوسط سالانه حوضه $T = 12.2\ ^{\circ}C$

در یک حوضه دیگر بنام حوضه رودخانه سالار واقع در همین منطقه مشخصه‌های فیزیکی و آبدهی سالانه آن به شرح زیر معلوم می‌باشد:

- مساحت حوضه رودخانه سالار $A = 2070\ km^2$
- حداکثر ارتفاع حوضه رودخانه سالار $H_{max} = 2700$ m
- حداقل ارتفاع حوضه رودخانه سالار $H_{min} = 1230$ m
- آبدهی سالانه رودخانه سالار بر اساس اندازه‌گیریهای موجود ۴۰ میلیون متر مکعب
- متوسط بارش سالانه در حوضه سالار $P = 250$ mm
- متوسط دمای سالانه $T = 13.7\ ^{\circ}C$

حل

ابتدا ضریب K را برای حوضه رودخانه سالار با استفاده از فرمول‌های زیر محاسبه می‌کنیم و آن را به رودخانه مورد نظر تعمیم می‌دهیم.

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}} = \frac{2.700 - 1.230}{\sqrt{2070}}$$

$$S = 0.03231$$

$$R = \frac{W}{A} = \frac{40 \times 10^6}{2070 \times 10^6} = 0.0193\ m = 1.93\ cm$$

$$K = \frac{R(1.8\ T + 32)}{S^{0.155}\ P^2}$$

$$K = \frac{1.93\ (1.8 \times 13.7 + 32)}{(0.03231)^{0.155}\ (25)^2} = 0.2979$$

حال با داشتن این ضریب مقدار آبدهی حوضه مورد نظر قابل محاسبه است. بدین ترتیب که با انجام عمل عکس خواهیم داشت:

$$S = \frac{H_{max} - H_{min}}{\sqrt{A}}$$

$$S = \frac{2.787 - 1.100}{\sqrt{3230}} = 0.0296$$

$$R = \frac{K\ (S)^{0.155}\ P^2}{(1.8T + 32)}$$

$$R = \frac{0.2979\ (0.02968)^{0.155}(16.6)^2}{(1.8 \times 12.2 + 32)} = 0.88\ cm$$

$$W = A \cdot R$$

$$W = (3230 \times 10^6) \times (0.88 \times 10^{-2}) = 28.42 \times 10^6 \ m^3$$

$$W = 28.42 \ Mm^3$$

بنابراین مقدار آورد سالانه این حوضه ۲۸/۴۲ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می‌شود.

باید توجه داشت که در صورت عدم دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری شده رواناب در یک حوضه مشخص برای تعیین ضریب K لازم خواهد بود حسب وضعیت حوضه رقمی را برای آن تخمین زد.روش دیگری که در این مورد می‌تواند بکار برده شود روش به اصطلاح **کتاین** (Cotaigne) است که اساس کار آن بر مبنای میزان کمبود جریان (D) در حوضه استوار می‌باشد. این مقدار از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D = P - \lambda p^2 \qquad (۹-۱۴)$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T} \qquad (۱۰-۱۴)$$

$$R = P - D = \lambda P^2 \qquad (۱۱-۱۴)$$

در این معادله‌ها:

P= بارندگی سالانه حوضه (متر)

T= دمای متوسط حوضه (سانتی گراد)

D= کمبود جریان سالانه (متر)

R= رواناب (متر)

● مثال ۱۴-۶

با اطلاعات مربوط به مثال قبل، آبدهی سالانه حوضه را به روش کتاین بدست آورید.

حل

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 T}$$

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14 \times 12.2} = 0.398$$

$$D = P - \lambda p^2$$

$$D = 0.166 - 0.398 (0.166)^2 = 0.155 \ m = 155 \ mm$$

$$R = P - D$$

$$R = 166 - 155 = 11 \ mm$$

چون رواناب در سطح حوضه ۱۱ میلی متر است لذا آبدهی سالانه برابر است با :

$$W = R\ (A)$$

$$W = \frac{11}{1000}\ (3230 \times 10^6) = 35500000$$

$$W = 35.5\ \text{mcm}(\text{میلیون متر مکعب})$$

ملاحظه می‌شودکه با این روش آبدهی سالانه ۳۵/۵ میلیون مترمکعب تخمین زده می‌شود.

علاوه بر روشهای فوق انجمن تحقیقات کشاورزی در هند نیز فرمول ساده‌ای را برای این منظور ارائه داده است که بصورت زیر می‌باشد.

$$Q = \frac{(1.511\ P^{1.44})}{T^{1.34}\ A^{0.0613}} \qquad (۱۲-۱۴)$$

در این معادله:

P= بارندگی سالانه حوضه (سانتی متر)

T= دمای متوسط سالانه حوضه (سانتی گراد)

Q= رواناب سالانه حوضه (سانتی متر)

A= مساحت حوضه (کیلومتر مربع)

مثلاً در مورد مثال ۱۴-۵ برای حوضه رودخانه سالار با مساحت ۲۰۷۰ کیلومتر مربع و بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر (۲۵ سانتی‌متر) و دمای متوسط سالانه ۱۳/۷ درجه سانتی گراد مقدار رواناب سالانه از روی معادله ۱۴-۱۲ برابر ۲/۱۵ سانتی متر بدست می‌آیدکه با توجه به سطح حوضه معادل ۴۴/۶ میلیون متر مکعب می‌باشد.

۱۴-۴ حداکثر دبی رواناب

در طراحی سازه‌های آبی علاوه بر حجم یا ارتفاع رواناب حاصل از بارندگیها حداکثر شدت لحظه‌ای رواناب نیز مورد نظر می‌باشد. ساده‌ترین رابطه‌ای که برای تخمین حداکثر دبی رواناب می‌توان نوشت معادله ***استدلالی*** (rational) است. چنانچه بارانی با شدت i روی حوضه ببارد و مساحت حوضه معادل A باشد اگر شدت بارندگی ثابت و مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه یا بیشتر از آن باشد با فرض این‌که بارندگی تمام سطح A را در برگرفته باشد حداکثر دبی رواناب با توجه به ضریب رواناب C برابر خواهد بود با،

$$Q = \frac{1}{36}\ C\ i\ A \qquad (۱۳-۱۴)$$

در این معادله:

i = شدت بارندگی برحسب (سانتی متر بر ساعت)

A = سطح حوضه (هکتار)

C = ضریب رواناب (از جدول ۱۴-۱)

Q = حداکثر دبی رواناب (مترمکعب در ثانیه)

چنانچه شدت بارندگی برحسب میلی‌متر در ساعت و مساحت حوضه برحسب کیلومترمربع باشند دبی خروجی (Q) برحسب مترمکعب در ثانیه عبارت خواهد بود از:

$$Q = 0.278\ C\ i\ A \qquad (۱۴-۱۴)$$

● مثال ۱۴-۷

از یک حوضهٔ آبریز که خاک آن از نوع شنی لومی است به عنوان مرتع استفاده می‌شود. بارانی بشدت ۱۵ میلی‌متر در ساعت به مدت ۱/۵ ساعت روی این حوضه می‌بارد. ارتفاع رواناب و دبی آن را محاسبه کنید. شیب اراضی حوضه ۷ درصد است و مساحت حوضه ۲/۵ کیلومترمربع می‌باشد.

حل

با فرض این که زمان تمرکز حوضه ۱/۵ ساعت باشد ابتدا از جدول ۱۴-۱ مقدار ضریب رواناب $C = 0.16$ به دست می‌آید.

ارتفاع رواناب:

$$R = C \cdot P = 0.16(15) \times 1.5 = 3.6\ mm$$

و حداکثر دبی رواناب برابر است با:

$$Q = \frac{1}{36} C\ i\ A$$

$$Q = \frac{1}{36} \times 0.16 \times \frac{15}{10} \times (2.5 \times 100) = 1.67\ m^3/sec$$

در روش استدلالی حداکثر دبی لحظه‌ای بااین فرض محاسبه می‌شود که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه باشد. یعنی حداکثر شدت بارانی که مدت آن برابر زمان تمرکز حوضه است در فرمول لحاظ می‌شود. در غیر این صورت دبی کمتر از مقدار فوق خواهد بود. زیرا اگر مدت بارندگی بیشتر از زمان تمرکز باشد بر اساس رابطه شدت - مدت چنین بارانی از شدت کمتری برخوردار است و لذا دبی به این دلیل کاهش می‌یابد و بر عکس اگر مدت بارندگی از زمان تمرکز کمتر باشد قبل از آنکه تمام سطح حوضه در رواناب مشارکت نمایند باران خاتمه پیداکرده و لذا دبی کمتر می‌شود. لذا حداکثر دبی وقتی است که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز باشد. روش استدلالی بسیار ساده بوده و در کارهای کوچک مانند محاسبه حداکثر دبی جریان‌هائی که در آبشاری باید از زیرپل‌ها عبور کند از این روش استفاده می‌شود.

روش دیگری که برای تخمین حداکثر شدت رواناب بکار برده می‌شود روش **مدت-مساحت** (time-area method) است. روش مدت - مساحت در واقع حالت پیشرفته‌تر روش استدلالی است. با این روش در مواردی که شدت بارندگی در ساعتهای مختلف تغییر کند می‌توان با دقت

بیشتر رواناب را تخمین زد. فرض کنید در یک حوضه آبریز، بارانی به مدت چند ساعت ببارد و شدت باران در دوره‌های زمانی t (مثلاً یک ساعت) مطابق شکل ۱۴-۲ به ترتیب i_1 ، i_2 ، i_3 ، i_4 ، ... و i_n باشد. اگر خطوط هم-پیمایش حوضه را برای Δt که در اینجا یک ساعت فرض شده است رسم کنیم مساحت بین هر دو خط هم-پیمایش به ترتیب A_1 ، A_2 ، A_3 ،... و A_n است. لازم به ذکر است که خطوط هم-پیمایش خطوطی هستند که نقاط همزمان تمرکز را به یکدیگر متصل می‌کنند. مقدار دبی که در دوره‌های مختلف از حوضه خارج می‌شود با توجه به فرمول استدلالی به شرح زیر است.

- برای دوره اول (t_1) که فقط مساحت A_1 در دبی خروجی دخالت دارد.

$$Q_1 = 0.278\ C(A_1\ i_1) \qquad (۱۴-۱۵)$$

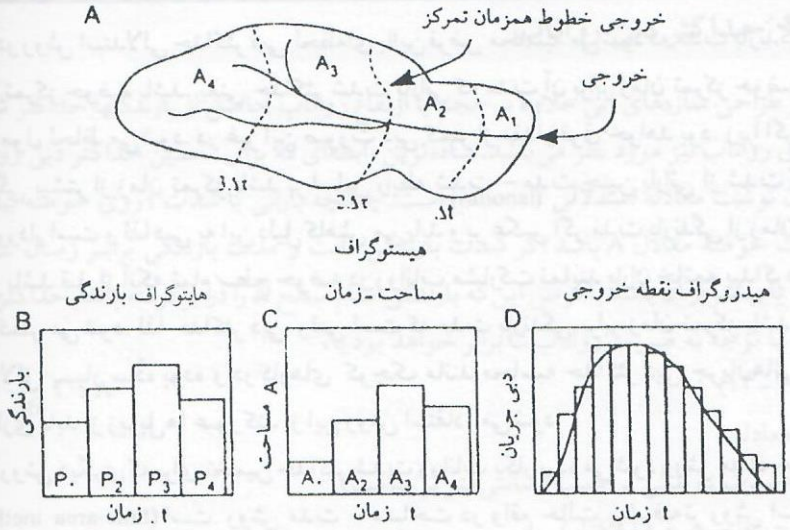
- برای دوره دوم (t_2) که علاوه بر مساحت A_1 ، مساحت A_2 نیز در دبی لحظه‌ای دخالت دارد با توجه به این که مساحت A_1 نزدیک قسمت خروجی است لذا برای آن باید شدت باران در ساعت دوم (i_2) را در نظر گرفت و برای مساحت A_2 شدت مربوط به ساعت اول مؤثر بوده است. یعنی تاثیر مجموع این مساحتها بصورت زیر است.

$$Q_2 = 0.278C(A_1\ i_2 + A_2\ i_1) \qquad (۱۴-۱۶)$$

و بهمین روش در انتهای ساعتهای سوم و چهارم خواهیم داشت که :

$$Q_3 = 0.278\ C(A_1\ i_3 + A_2\ i_2 + A_3\ i_1) \qquad (۱۴-۱۷)$$

$$Q_4 = 0.278\ C(A_1\ i_4 + A_2\ i_3 + A_3\ i_2 + A_4\ i_1) \qquad (۱۴-۱۸)$$



شکل ۱۴-۲ روش مدت - مساحت

مشاهده می‌شود که دبی مرتب در حال افزایش خواهد بود تا هنگامی که به زمان تمرکز حوضه برسیم که در آن موقع دبی خروجی به حداکثر می‌رسد و اگر شدت بارندگی افزایش نیابد چنانچه شدت بارندگی بیشتر از زمان تمرکز حوضه باشد دبی هیدروگراف کاهش پیدا خواهد کرد.

مزیت روش مدت - مساحت این است که در آن فرض یکنواخت بودن بارندگی در طول مدت بارش وجود ندارد. از طرف دیگر شدت بارندگی بستگی به مدت بارندگی داشته و برای ما پیش‌بینی مدت بارندگی از قبل مشخص نمی‌باشد. از آنجایی که در اکثر موارد پیش‌بینی حداکثر دبی مورد نظر می‌باشد برای تخمین حداکثر جریانی که از حوضه ممکن است خارج شود می‌توان چنین فرض نمود که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه (t_c) باشدولی شدت بارندگی در هریک از دورها (Δt) از الگوی توزیع بارندگی منطقه پیروی کند. اگر تغییرات شدت بارندگی نسبت به زمان (هایتوگراف hyetograph) در دست باشد محاسبات بیشتر با واقعیت تطبیق خواهد داشت در غیراین صورت می‌توان از الگوهای مرسوم توزیع زمانی بارندگی استفاده کرد (مانند جدول ۱۴-۳) این جدول نشان می‌دهد که مثلاً ۶۰ درصد مقدار کل بارندگی در همان ۴۰ درصد اولیه مدت بارش رخ می‌دهد. با داشتن ارقام این جدول قادر خواهیم بود مقدار بارندگی را در هر یک از ساعت‌های بارش محاسبه کرد (مثال ۱۴-۷ الف)

● مثال ۱۴-۷ الف

اگر مدت بارش ۵ ساعت و مقدار کل آن ۴۵ میلی‌متر باشد بر اساس روش (WMO) که در جدول ۱۴-۳ آمده است مقدار بارندگی در هر ساعت از بارش چقدر تخمین زده می‌شود.

حل

۱۰۰ درصد زمان بارش = ۵ ساعت بارندگی

۲۰ درصد زمان بارش = ۱ ساعت بارندگی

مدت بارش (hr)	1	2	3	4	5
مدت بارش (%)	20	40	60	80	100
مقداربارندگی نسبت به مقدارکل (%)	20	60	78	90	100
مقدار بارندگی (mm)	9	27	35	40	45
مقدار بارندگی در هر ساعت (mm)	9	18	8	5	5

توجه شود که اعداد ردیف سوم نشان دهنده مجموع بارندگی تا زمان مورد نظر می‌باشد. مثلاً تا ساعت سوم ۷۸ درصد بارش‌ها که معادل ۳۵ میلی‌متر می‌باشد رخ داده است. چنانچه تفاوت بارندگی را در ۲ ساعت متوالی بدست آوریم ارقام ردیف پنجم که نشان دهنده مقدار بارش در آن ساعت می‌باشد بدست می‌آید. مثلاً مقدار بارندگی در ساعت سوم بارش ۸ میلی‌متر که از تفاضل دو عدد ۳۵ و ۲۷ بدست آمده است.

روش ساده‌تر این است که فرض کنیم که شدت بارندگی در هر ساعت کمتر از ساعت قبل بوده و کاهش آن متناسب با رابطه شدت-مدت بارندگی‌های منطقه باشد. مثلاً اگر زمان تمرکز ۳ ساعت است در ساعت اول برای بارندگی شدتی معادل حداکثر شدت بارانهای یک ساعته منطقه فرض کرد، در ساعت دوم شدتی معادل حداکثر شدت بارانهای دو ساعته و در ساعت سوم شدتی معادل حداکثر بارانهای سه ساعته را برای آن فرض نمود. البته در واقع چنین نبوده و اگر باران سه ساعت بطور پیوسته ببارد با توجه به مطالب فوق شدت آن در ساعات اول و دوم زیادتراز معمول لحاظ شده است که این می تواند به عنوان ضریب اطمینان در نظر گرفته شود. بدین‌ترتیب می توانیم حداکثر روانابی راکه از حوضه خارج خواهد شد با اطمینان زیاد پیش‌بینی نماییم. برای این منظور به ترتیب عملیات زیر را انجام می‌دهیم :

(۱) خطوط هم-پیمایش حوضه را برای دوره‌های زمانی Δt رسم کنید. سعی شود زمان تمرکز حوضه (t_c) مضربی از Δt باشد. زمان تمرکز برای حوضه‌های کوچک از فرمول کرپیچ که در سیستم متریک بصورت زیر است محاسبه می‌شود.

$$t_c = 0.0003\ L^{0.77}\ S^{-0.385} \qquad (۱۹-۱۴)$$

در این معادله L طول حوضه در مسیر رودخانه اصلی برحسب متر ، S شیب آبراهه اصلی (برحسب متر بر متر) و t_c برحسب ساعت می‌باشد. برای رسم خطوط هم-پیمایش ساده‌ترین روش استفاده از تعیین سرعت حرکت آب از روی شیب حوضه و بدست آوردن فاصله‌ای است که آب در دوره زمانی مورد نظر طی می‌کند.

(۲) از روی الگوی توزیع بارندگی منطقه مقدار و سپس شدت بارندگی را برای هریک از دوره‌های زمانی Δt_1 ، Δt_2 و ... تخمین بزنید. الگوئی که سازمان هواشناسی جهانی (WMO)برای توزیع مقدار بارش در طول بارندگی پیشنهاد نموده است به شرح جدول ۱۴-۳ است که با استفاده از این‌الگو امکان تعیین مقدار و شدت بارندگی در هر کدام ازاین دوره‌هاامکان‌پذیر است.

(۳) با فرمول‌های روش مدت - مساحت، دبی خروجی از حوضه را محاسبه کنید (مثال ۱۴-۸).

جدول ۱۴-۳ توزیع بارندگی در طول بارش بر اساس روش WMO

مقدار بارندگی (٪)	زمان بارندگی (٪)
0	0 شروع
3	10
13	20
20	30
60	40
70	50
78	60
83	70
90	80
95	90
100	100 پایان

● **مثال ۱۴-۸**

زمان تمرکز یک حوضهٔ آبریز ۵ ساعت برآورد شده است. با توجه به منحنی شدت-مدت بارندگی و خطوط هم-پیمایش حوضه که در شکل ۱۴-۳ رسم شده است حداکثر دبی که از این حوضه در اثر بارندگی ۸ ساعته خارج خواهد شد چقدر است (ضریب رواناب را ۰/۶ در نظر بگیرید).

حل

با توجه به این که زمان تمرکز $t_c = 5$ hr می‌باشد و Δt برابر یک ساعت انتخاب می‌شود ($\Delta t = 1$ hr) منحنی‌های هم-پیمایش حوضه را به ازای Δt های یک ساعته رسم می‌کنیم که در شکل ۱۴-۳ب نشان داده شده است. مساحتهای محصور بین خطوط ایزوکرونال (هم پیمایش) حوضه نیز در روی شکل برحسب کیلومتر مربع مشخص شده‌اند. حال از روی الگوی توزیع شدت بارندگی (شکل ۱۴-۳الف) شدت بارندگی در ساعات ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ را به دست می‌آوریم که بطور متوسط برابر خواهد بود با ۴۵، ۳۵، ۲۲، ۱۵ و ۹ میلی‌متر در ساعت. مقادیر دبی خروجی از حوضه در Δt های مختلف با توجه به فرمول $Q = 0.278\ C\ i\ A$ به‌شرح زیر است.

پس از Δt (یک ساعت):

$$Q_1 = 0.278(0.6)(45)(10) = 75\ m^3/sec$$

پس از $2\Delta t$ (۲ ساعت):

$$Q_2 = 0.278(0.6)[(35)(10)+(45)(15)] = 170\ m^3/sec$$

پس از $3\Delta t$ (۳ ساعت):

$$Q_3 = 0.278(0.6)[(22)(10)+(35)(15)+(45)(12)] = 214\ m^3/sec$$

پس از $4\Delta t$ (۴ ساعت):

$$Q_4 = 0.278(0.6)[(15)(10)+(22)(15)+(35)(12)+(45)(20)] = 300\ m^3/sec$$

پس از $5\Delta t$ (۵ ساعت):

$$Q_5 = 0.278(0.6)[(9)(10)+(15)(15)+(22)(12)+(35)(20)+(45)(13)] = 310\ m^3/sec$$

بنابراین حداکثر دبی پس از ۵ ساعت معادل ۳۱۰ مترمکعب در ثانیه خواهد بود. چون بارندگی ۸ ساعت به طول انجامیده است شدت بارندگی در ساعات ۶، ۷ و ۸ به ترتیب $i_6 = 7$ mm/hr، $i_7 = 6$ mm/hr و $i_8 = 5$ mm/hr است لذا رواناب در ساعتهای ۶، ۷ و ۸ به ترتیب عبارت خواهد بود از:

$$Q_6 = 0.278(0.6)[(7)(10)+(9)(15)+(15)(12)+(22)(20)+(35)(13)] = 213\ m^3/sec$$

$$Q_7 = 0.278(0.6)[(6)(10)+(7)(15)+(9)\ (12)+(15)(20)+(22)(13)] = 143\ m^3/sec$$

$$Q_8 = 0.278(0.6)[(5)(10)+(6)(15)+(7)(12)+(9)(20)+(15)(13)] = 100\ m^3/sec$$