دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

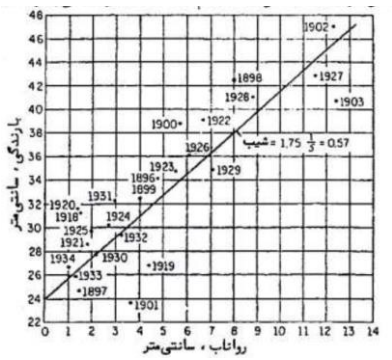
گروه علوم و مهندسی خاک

هیدرولوژی

روشهای تجربی تخمین رواناب

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

با توجه به اینکه خصوصیات حوضه نسبتاً ثابت است قاعدتاً بین بارندگی و رواناب می توان یک رابطه مستقیم انتظار داشت. بطوری‌که اگر برای چند سال متوالی بارندگی سالانه حوضه و روانابی را که از آن خارج شده است اندازه گیری کرده باشیم می توان مختصات نقاط مربوط را نسبت به هم در یک دستگاه محور مختصات رسم کرده و برای آنها یک خط یا منحنی را برازش داد. مثلا در شکل(۹-۱) رابطه بین بارندگی سالانه (سانتی‌متر) و رواناب سالانه (سانتی‌متر) برای یک حوضه آزمایشی بر اساس داده‌هایی که در سال-های مختلف جمع آوری شده بصورت نمودار رسم شده است. پراکندگی نقاط نسبت به این خط به دلیل تغییراتی است که در شدت بارندگی و وضعیت رطوبتی خاک‌های حوضه قبل از شروع بارندگی ها و یا تغییرات سطح حوضه داشته است. از روی شیب خط مذکور که در این شکل ۰/۵۷ می‌باشد می‌توان رابطه ریاضی بین بارندگیP و رواناب R را بدست آورد. در این شکل دیده می‌شود که این خط از مرکز مختصات عبور نکرده است بلکه دارای عرض از مبدأ ۲۴ سانتی‌متر است. یعنی در سال‌هایی که بارندگی کمتر از ۲۴ سانتی‌متر بوده، عملاً رواناب وجود نداشته است.



در شکل ۹-۱ ب معادله خط را به صورت R=0.57(P-24) نیز می‌توان نوشت. مثلا اگر مقدار باران متوسط در یک سال ۳۴ سانتی‌متر باشد، مقدار رواناب از روی این معادله ۵/۷ سانتی‌متر تخمین زده می شود. استخراج چنین رابطه‌هایی برای حوضه‌ها در هیدرولوژی با اهمیت بوده و می‌تواند از نظر تخمین برآورد سالانه رودخانه‌ها مفید باشد. اما بدست آوردن این نوع رابطه تنها در صورتی امکان‌پذیر است که داده‌های اندازه گیری شده بارندگی و رواناب در حوضه وجود داشته باشد.

۹-۲- ارتفاع رواناب

رواناب حاصله از بارندگی را می‌توان بر حسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش‌های مختلف برآورد نمود که به پار ای از آنها در زیر اشاره می شود.

۹-۲-۱ ضریب رواناب

برای برآورد سریع تخمین رواناب از ضریب رواناب حوضه، که به عنوان درصدی از بارندگی است،) و فرمول ساده زیر استفاده می شود:

$$R=C\ .P \qquad (۹-۲)$$

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(۹-۱) و یا (۹-۲) تخمین زد.

جدول 9-۱- ضریب رواناب C بر اساس نوع کلی حوضه (Mutregya, 1990)

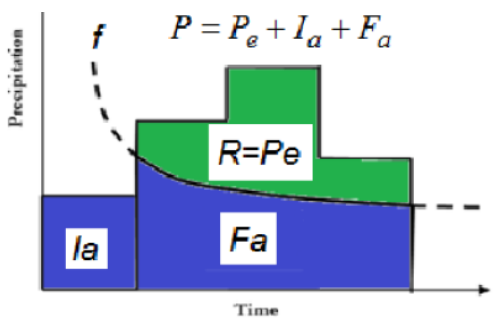
نوع حوضه	حدود ضریب رواناب
شهری	۰.۳-۰.۵
جنگلی	۰.۰۵-۰.۲
مناطق تجاری و صنعتی	۰.۹
پارک، مزرعه و چراگاه	۰.۰۵-۰.۴
اسفالت و پیاده روی بتنی	۰.۸۵

جدول ۹-۲- ضریب رواناب C در حوضه های مختلف شهری و غیر شهری

نوع پوشش سطح حوضه	در صد شیب زمین			نوع پوشش سطح حوضه	در صد شیب زمین		
	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۳۰		۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۳۰
اراضی شهری با:				**اراضی مرتعی با**			
۳۰ درصد اسفالت	۰/۴	۰/۵۰	–	خاک شنی لومی	۰/۱	۰/۱۶	۰/۲۲
۵۰ درصد اسفالت	۰/۵۵	۰/۶۵	–	خاک رسی لومی	۰/۳	۰/۵۵	۰/۶۰
۷۰ درصد اسفالت	۰/۶۵	۰/۸۰	–	خاک رسی سنگین	۰/۴	۰/۵۵	۰/۶۰
اراضی کشاورزی با				**اراضی جنگلی با**			
خاک شنی لومی	۰/۳	۰/۲۵	۰/۳	خاک شنی لومی	۰/۱	۰/۴	۰/۵۲
خاک رسی لومی	۰/۵	۰/۳۵	۰/۵	خاک رسی لومی	۰/۳	۰/۶	۰/۷۲
خاک رسی سنگین	۰/۶	۰/۵۰	۰/۶	خاک رسی سنگین	۰/۴	۰/۷	۸۲/۰

۹-۲-۲ روش حفاظت منابع طبیعی آمریکا

از جمله روش‌های معمول در هیدرولوژی روش پیشنهادی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا (NRCS یا SCS سابق) است که برای حوضه‌هایی که در آنها داده‌های اندازه گیری دبی رواناب وجود ندارد، بکار می‌رود. در روش SCS ارتفاع رواناب حاصله از یک بارندگی بصورت زیر نشان داده می شود.



شکل ۹-۲- نمایش هیتوگراف بارش و منحنی شدت نفوذ در رابطه بارش- رواناب

با توجه به شکل (۹-۲) و بر پایه نسبت تشابه $\frac{F_a}{S}=\frac{P_e}{P-I_a}$ و در نظر گرفتن Ia=0.2 S مقدار Pe یا R به صورت زیر محاسبه می شود:

$$R = P_e = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \qquad (۹-۳)$$

که در آن:

Pe یا R بارش مازاد یا ارتفاع رواناب بر حسب اینچ

P ارتفاع بارندگی بر حسب اینچ

S عامل مربوط به نگهداشت آب در سطح زمین است که مقدار آن به اینچ برابر است با:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \qquad (۹-۴)$$

در این معادلهCN شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می‌باشد. شماره منحنی(CN) برای وضعیت های مختلف حوضه‌های شهری است که از جدول مربوطه استخراج می شود. سپس با داشتن مقادیر بارندگی(P) و شماره منحنی حوضه (CN) می توان از روی معادلات فوق ارتفاع رواناب را بدست آورد.

در این روش بایستی ابتدا با توجه به ویژگی‌های خاک و بخصوص مقدار نفوذپذیری آن مطابق جدول ۹-۴، گروه هیدرولوژیکی خاک تعیین شود. چهار گروه هیدرولوژی به شرح زیر تعریف شده است:

گروه A : خاکهای شنی عمیق، خاکهای ناپیوسته عمیق و خاکهای لومی با دانه‌بندی مناسب

گروه B : خاکهای لومی شنی و خاکهای ناپیوسته کم عمق

گروه C : خاکهای لومی رسی، لوم شنی کم عمق، خاکهای با مواد آلی کم و خاکهای با مواد رسی زیاد

گروه D : خاکهای سنگین رسی، خاکهای شور و خاکهای که با مقدار آب کم ماندابی می‌شوند.

جدول ۹-۴- مقادیر حداقل نفوذ برای گروه های مختلف خاک

گروه	حداقل نفوذپذیری (سانتی متر در ساعت)
A	۷/۵ تا ۱۱/۵
B	۳/۸ تا ۷/۵
C	۱/۳ تا ۲/۸
D	۰ تا ۱/۳

مقدار CN برای هر گروه هیدرولوژیکی با توجه به کاربری اراضی مطابق جدول (۹-۵) تعیین می‌گردد. با تعیین مقدار CN و S می توان مقدار روان آب (Pe) حاصل از هر مقدار بارش (P) در آن حوزه را بدست آورد. مقدار CN و در نتیجه S برای هر قسمت از حوضه با توجه به نوع خاک آن تعیین و سپس در کل حوضه به طور وزنی متوسط‌گیری می‌شود.

جدول (۹-۵) برای حالت متوسط از نظر شرایط رطوبت پیشین می‌باشد. این شرایط بر پایه مقدار تجمعی بارش در ۵ روز قبل از رویداد بارش مورد بررسی برای دو فصل خواب و رویش گیاهان مطابق جدول شماره (۹-۶) ارایه شده است. برای تبدیل CN از شرایط متوسط به شرایط مرطوب و خشک از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$CN_I = \frac{4.2 \times CN_{II}}{10 - 0.058 \times CN_{\mathrm{II}}} \qquad (۵-۹)$$

$$CN_{(III)} = \frac{23 \times CN_{(II)}}{10 + 0.13 \times CN_{(II)}} \qquad (۶-9)$$

روش CN در اصل یک روش قطعی۱ است که می‌توان از آن به صورت احتمالی هم استفاده کرد. یعنی اگر بجـای P ارتفـاع بـارانی بـا دوره بازگشت T قرار گیرد، ارتفاع رواناب هم با همان دوره بازگشت برآورد می‌شود.

رابطه بین بارندگی و رواناب بر خلاف تصور همیشه خطی نیست مگر اینکه نگهداشت سطحی (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، ثانیا با افزایش شاخص S منحنی از مرکز مختصات نیز فاصله گرفته و بخش زیادی از بارندگی بدون آنکه جاری شود در سطح حوضه نگهداشته می‌شود.

در صورتی که در فرمول(۹-۳) مقدار P بر حسب میلی‌متر باشد و بخواهیم R نیز بر حسب میلی‌متر محاسبه شود در آن صورت لازم است که S نیز بر حسب میلی‌متر باشد در این صورت مقدار S برابر خواهد بود با:

$$S = (\frac{1000}{CN} - 10) \times 25.4 \qquad (۷-۹)$$

جدول (۹-۶) تقسیم‌بندی شرایط رطوبت پیشین در روش CN

گروه رطوبت پیشین AMC	جمع مقدار بارش ۵ روز قبل از رویداد مورد بررسی			
	فصل خواب گیاه		فصل رویش گیاه	
	بر حسب اینچ	بر حسب میلی‌متر	بر حسب اینچ	بر حسب میلی‌متر
خشک I	کمتر ۰/۵	**کمتر ۱.۳**	کمتر از ۱/۴	کمتر از ۳.۶
متوسط II	۱/۱ – ۰/۵	۱.۳ –۲.۳	۲/۱ –۱/۴	۳.۶–۵.۴
مرطوب III	بیش از ۱/۱	بیش از ۲.۸	بیش از ۲/۱	بیش از ۵.۳

نوع پوشش	شماره‌منحنی‌برای‌گروههای‌هیدرولوژیکی‌خاک			
نوع پوشش و شرایط هیدرولوژیکی	A	B	C	D
مناطق شهری کاملاً توسعه‌یافته (فضای سبزایجاد شده‌است.)				
مناطق‌باز(فضای‌سبز،پارکها،زمینهای‌گلف)قبرستان‌هاوغیره				
شرایط بد (پوشش علفی < ۵۰٪)	۶۸	۷۹	۸۶	۸۹
شرایط متوسّط (پوشش علفی ۵۰٪ تا ۷۵٪)	۴۹	۶۹	۷۹	۸۴
شرایط خوب (پوشش علفی > ۷۵٪)	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
سطوح نفوذناپذیر				
پیاده‌روهای‌پارکینگ،پشت‌بام‌ها،جاده‌هاوغیره(به‌استثنای‌حاشیه)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
جاده‌ها و خیابان‌ها				
پیاده‌روها آسفالته با آبراهه‌های دفع رواناب (به‌استثنای حاشیه)	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
پیاده‌رو با آبراهه‌های رویاز (شامل حاشیه)	۸۳	۸۹	۹۲	۹۳

مثال ۹-۱: مقدار رواناب حاصله از ۲ اینچ بارندگی (۵۰ میلی متر) روی سطح یک پارک به وسعت ۴ هکتار را که قسمت اعظم آن پوشیده از چمن می‌باشد حساب کنید وضعیت خاک این حوضه در گروه هیدرولیک B قرار گیرد و خاک به دلیل بارندگی های قبل مرطوب است.

حل مسئله:

شماره منحنی(CN) برای وضعیت پوشش حوضه را از جدول (۹-۵) بدست آورده که مقدار آن حدوداً برابر CN=60 خواهد بود. این عدد برای وضعیت رطوبتی خاک اصلاح می شود که برابر CN=78 خواهد شد. بنابراین:

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

$$R = \frac{(2 - 0.2 \times 2.82)^2}{(2 + 0.8 \times 2.82)} = 0.4845 inch = 12.3 mm$$

$$R = 0.4845 inch = 12.3 mm$$

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

$$Q = \frac{12.3}{1000}(4 \times 10000) = 492 m^3 \qquad \text{و} \qquad C = \frac{12.3}{50} = 0.24$$

مقدار ۰/۲۴ در این مثال را ضریب رواناب[۱] می گویند که از تقسیم ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارندگی بدست می آید.

۹-۴- تخمین آبدهی ماهانه و سالانه حوضه

رواناب سالانه یک رودخانه یا آورد سالانه[۱] از مهمترین پارامترهایی است که بدست آوردن آن در بسیاری از پروژه ها لازم است. این موضوع در رودخانه‌هایی 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 مدل ها وجود نداشته باشد می‌توان از روش‌های ساده تجربی زیر به عنوان الگو استفاده کرد.

۹-۴-۱ تخمین آبدهی با فرمول خوسلا[۲]

این پژوهشگر هندی با استفاده از داده های موجود ابتدا رابطه ای را به صورت (۹-۸) برای یک رویداد بارش ارایه نموده است.

$$R = P - \frac{T}{3.74} \qquad (۹-۸)$$

که در آن:

R = رواناب به سانتی متر

P = بارش به سانتی متر

T = دمای متوسط به سانتی گراد

سپس برای آبدهی ماهانه روابط زیر را ارایه نموده است که شاید این روش برای برآورد آبدهی در مناطق سرد کشور مناسب باشد ولی باید با دادهای محلی واسنجی شود.

$$R_m = P_m - L_m \qquad (۹-۹)$$

$$if \Rightarrow T_m > 4.5^0 C \Rightarrow then \Rightarrow L_m = 5T_m \qquad (۹-۱۰)$$

$$if \Rightarrow T_m < 4.5^0 C \Rightarrow then \Rightarrow L_m \Rightarrow fromTable(6-9) \qquad (۹-۱۱)$$

در روابط بالا:

Rm = رواناب ماهانه به mm

Pm = بارش ماهانه به mm

Lm = تلفات ماهانه به mm

Tm = متوسط دما ماهانه به درجه سانتی گراد

جدول (۹-۸) مقادیر تلفات ماهانه بر اساس دمای متوسط ماهانه برای فرمول خوسلا (مرجع)

دمای متوسط ماهانه (Tm) به سانتی گراد	4.5	-1	-7	-12	-18
تلفات ماهانه (Lm) به میلی متر	21	18	15	12.5	10

۹-۴-۲ تخمین آبدهی با روش جاستین

یکی از این روش‌ها که برای تخمین آورد سالانه بکار می‌رود روشی است که به نام جاستین[۱] معروف است. روش جاستین بر اساس عملکرد مشابه حوضه ها استوار است. در این روش ابتدا در منطقه مورد مطالعه یک حوضه آبریز را، که دارای آمار اندازه گیری آب است، انتخاب و مشخصات آن که به شرح زیر است تعیین می‌شود.

مساحت حوضه، A (کیلومتر مربع)

حداکثر ارتفاع حوضه، Hmax (کیلومتر)

حداقل ارتفاع حوضه، Hmin (کیلومتر)

آبدهی سالانه، W (میلیون متر مکعب)

متوسط بارش سالانه در حوضه، P(سانتی متر)

متوسط دمای سالانه هوا، T(سانتی گراد)

با در دست داشتن این مشخصات، محاسبات زیر انجام و ضریب K (که به ضریب جاستین معروف است) برای این حوضه‌ها بدست آید.

$$S = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \qquad \text{شیب حوضه} \qquad (۹-۱۲)$$

$$R = \frac{W}{A} = \frac{Wateryield}{Area} \qquad \text{ارتفاع آبدهی سالانه} \qquad (۹-۱۳)$$

$$K = \frac{R(1.8T + 32)}{S^{0.155} P^2} \qquad \text{ضریب جاستین} \qquad (۹-۱۴)$$

پس از بدست آوردن ضریبK برای حوضه مذکور با انجام عمل عکس آبدهی سالانه(W)را برای حوضه مورد نظر (که در همان منطقه اقلیمی واقع شده است) بدست می آید.

۱۰-۲ روش های برآورد سیلاب

۱۰-۲-۱ روش استدلالی

ساده‌ترین رابطه‌ای که برای تخمین حداکثر دبی رواناب میتوان نوشت معادله استدلالی[۱۱۴] 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 این که بارندگی تمام سطح A را در برگرفته باشد حداکثر دبی رواناب با توجه به ضریب رواناب C برابر خواهد بود با،

$$Q = \frac{1}{36} CiA \qquad (۱-۱۰)$$

در این معادله:

i = شدت بارندگی بر حسب (سانتی متر بر ساعت) A = سطح حوضه (هکتار)

C = ضریب رواناب (از جدول ۳-۱) Q = حداکثر دبی رواناب (متر مکعب در ثانیه)

چنانچه شدت بارندگی بر حسب میلی متر در ساعت و مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع باشند دبی خروجی (Q) بر حسب متر مکعب در ثانیه عبارت خواهد بود از:

$$Q=0.278\ CiA \qquad (۲-۱۰)$$

در روش استدلالی حداکثر دبی لحظه‌ای با این 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 می شود. در غیر اینصورت 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 سطح تمام حوضه در رواناب مشارکت نماید باران خاتمه می‌یابد و لذا دبی کمتر می‌شود. لذا حداکثر دبی وقتی است که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز باشد.

۱۰-۲-۲ روش مدت–مساحت

روش دیگری که برای تخمین حداکثر شدت رواناب بکار برده می شود روش مدت–مساحت[۱۱۵] است. روش مدت–مساحت در واقع حالت پیشرفته‌تر روش استدلالی است. با این روش در مواردی که شدت بارندگی در ساعات مختلف تغییر کند می‌توان با دقت بیشتری رواناب را تخمین زد. فرض کنید در یک حوضه آبریز بارانی به مدت چند ساعت ببارد و شدت باران در دوره‌های زمانی t (مثلا یک ساعت) مطابق شکل 10-1 به ترتیب $i_n,\ldots.i_3,i_2,i_1$ باشد. اگر خطوط هم‌پیمایش حوضه برای Δt (که در اینجا یک ساعت فرض شده است) رسم شود، مساحت بین هر دو خط هم پیمایش به ترتیب $A_n,\ldots A_3,A_2,A_1$ است. لازم به ذکر است که خطوط هم پیمایش خطوطی هستند که نقاط همزمان تمرکز را به یکدیگر متصل می کنند. مقدار دبی که در دوره‌های مختلف از حوضه خارج می شود با توجه به فرمول استدلالی به شرح زیر است:

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

$$Q_1=0.278\ C(A_1 * i_1) \qquad (3\text{-}10)$$

برای دوره دوم (t_2)که علاوه بر مساحت A_1، مساحت A_2 نیز در دبی لحظه ای دخالت دارد با توجه به این که مساحت A1 نزدیک قسمت خروجی است لذا برای آن باید شدت باران را در ساعت دوم (t_2) در نظر گرفت و برای مساحت A2 شدت مربوط به ساعت اول مؤثر بوده است یعنی تاثیر مجموع این مساحت ها بصورت زیر است.

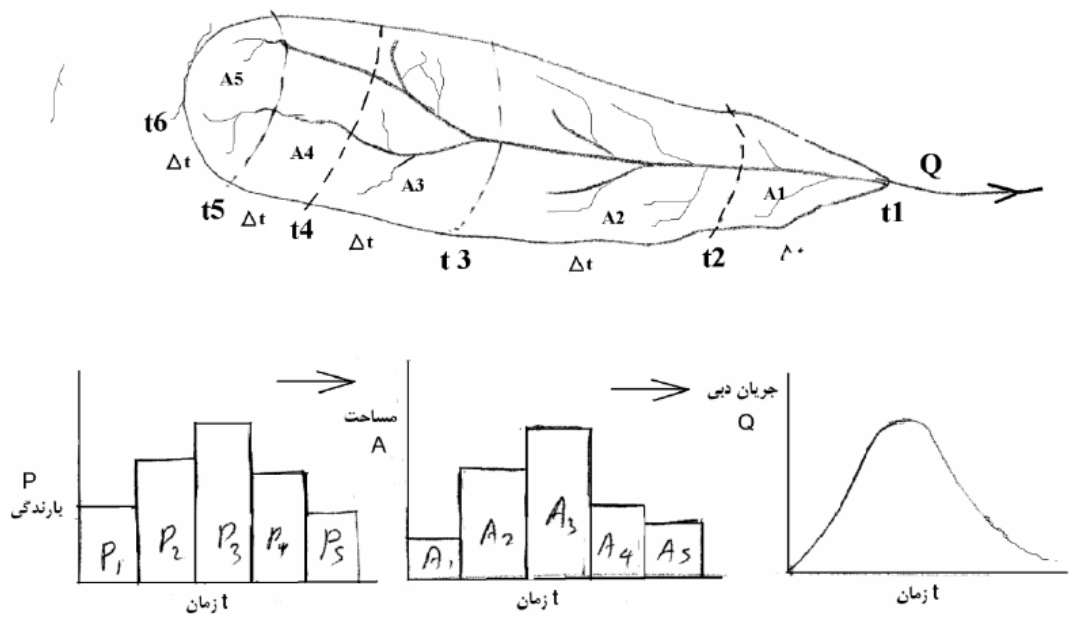
$$Q_2=0.278C(A_1\, i_2+ A_2\, i_1) \qquad (4\text{-}10)$$

و بهمین روش در انتهای ساعت های سوم و چهارم خواهیم داشت که:

$$Q_3=0.278C(A_1\, i_3+ A_2\, i_2+ A_3\, i_1) \qquad (5\text{-}10)$$

$$Q_4=0.278C(A_1\, i_4+ A_2\, i_3+ A_3\, i_2+ A_4\, i_1) \qquad (6\text{-}10)$$

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



شکل 10-1- روش مدت – مساحت

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 پیش بینی مدت بارندگی از قبل مشخص نمی‌باشد. از آنجایی که در اکثر موارد پیش بینی حداکثر دبی، مورد نظر می‌باشد برای تخمین حداکثر جریانی که از حوضه ممکن است خارج شود می توان چنین فرض نمود که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه (tc) باشد ولی شدت بارندگی در هر یک از دوره ها (Δt) از الگوی توزیع بارندگی منطقه پیروی می‌کند.

اگر تغییرات شدت بارندگی نسبت به زمان (هایتوگراف hytograph) در دست باشد محاسبات بیشتر با واقعیت تطبیق خواهد داشت در غیر این صورت می‌توان از الگوهای مرسوم توزیع زمانی بارندگی استفاده کرد(جدول ۳-۳). روش ساده تر این است که فرض کنیم که شدت بارندگی در هر ساعت کمتر از ساعت قبل بوده و کاهش آن متناسب با رابطه شدت–مدت بارندگی های منطقه باشد. مثلا اگر زمان تمرکز ۳ ساعت است. در ساعت اول بارندگی شدتی معادل حداکثر شدت باران های 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 بالا شدت آن در ساعت اول و دوم زیاد تر از معمول لحاظ شده است که این می تواند به عنوان ضریب اطمینان در نظر گرفته شود. بدین ترتیب می توانیم حداکثر روانابی را که از حوضه خارج خواهد شد با اطمینان زیاد پیش بینی نماییم. برای این منظور به ترتیب عملیات زیر را انجام میدهیم:

خطوط هم پیمایش حوضه برای دوره های زمانی (Δt) رسم کنید. سعی شود زمان تمرکز حوضه (tc) مضربی از (Δt) باشد. زمان تمرکز برای حوضه های کوچک از فرمول کرپیچ که در سیستم متریک به صورت زیر است محاسبه می شود.

$$Tc=0.0003L0.77S-0.385 \qquad (7-10)$$

در این معادله L طول حوضه در مسیر رودخانه اصلی بر حسب متر، S شیب آبراهه اصلی (برحسب متر) و tc بر حسب ساعت می باشد. برای رسم خطوط هم پیمایش ساده ترین روش استفاده از تعیین سرعت حرکت آب از روی شیب حوضه و بدست آوردن فاصله ای است که آب در دوره های زمانی مورد نظر طی می کند.

سپس

از روی الگوی توزیع بارندگی منطقه مقدار شدت بارندگی را برای هر یک از دوره های زمانی ($\Delta t1$) و ($\Delta t2$)و ... تخمین بزنید. الگویی که سازمان جهانی هواشناسی (WMO) برای توزیع مقدار بارش در طول بارندگی پیشنهاد نموده است به شرح جدول 10-1 است که با استفاده ار این الگو امکان تعیین مقدار و شدت بارندگی در هر کدام از این دوره ها امکان پذیر است.

جدول 10-1- توزیع بارندگی در طول بارش بر اساس روش WMO

مقدار بارندگی به درصد	زمان بارندگی
۰	۰
۳	۱۰
۱۳	۲۰
۲۰	۳۰
۶۰	۴۰
۷۰	۵۰
۷۸	۶۰
۸۳	۷۰
۹۰	۸۰
۹۴	۹۰
۱۰۰	۱۰۰