بسم الله الرحمن الرحيم

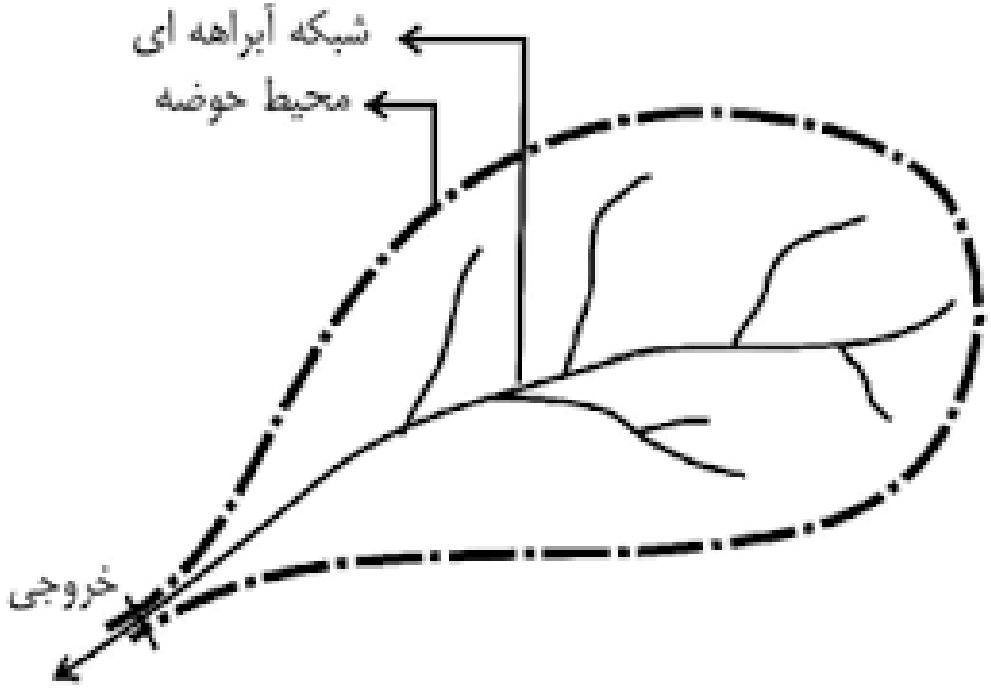
رواناب سطحی RUNOFF

- **اگر در هنگام بارش، شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد، بخشی از آب ناشی از بارندگی در سطح زمین باقی می‌ماند. این آب پس از پر کردن گودی‌های سطح زمین که به آن *چالاب* گفته می‌شود، در مسیر شیب زمین جریان می‌یابد و از طریق شبکه آبراهه و سپس رودخانه اصلی از حوضه آبریز خارج می‌شود.**

تلفات هیدرولوژیکی – بارندگی = رواناب

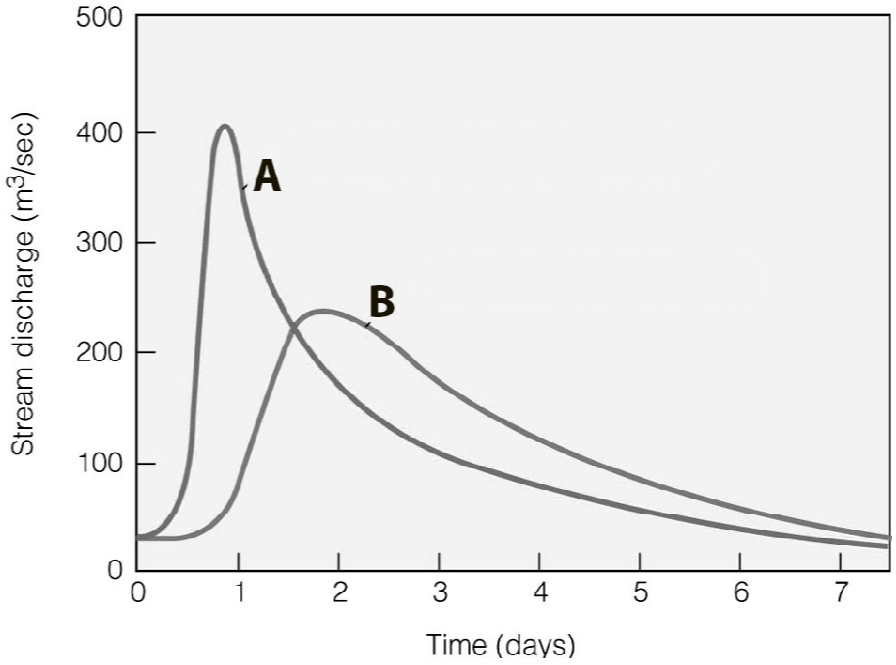
رواناب پاسخ حوضه به رگبار نازل شده بر آن می باشد.

- **حوضه آبریز (آبخیز): ناحیه است که آب حاصل از ریزش های جو ی بر آن، ذوب برف یا آبیاری در داخل ناحیه از طریق شبکه آبراهه ها یا جریان سطحی به یک مخزن، استخر، دریاچه، آبراهه، و غیره (پست ترین نقطه حوضه به لحاظ ارتفاعی) می رسد.**



هیدروگراف:

- نموداری که تغییرات **دبی رواناب سطحی** را نسبت به **زمان** در یک نقطه مشخص از حوضه که غالبا یا نقطه‌ی طراحی یا نقطه‌ی خروجی حوضه است، نشان می‌دهد.
- بارندگی در سطح حوضه ابتدا دارای تلفات اولیه نظیر برگاب، نفوذ و چالاب است و سپس رواناب سطحی آغاز می‌شود.



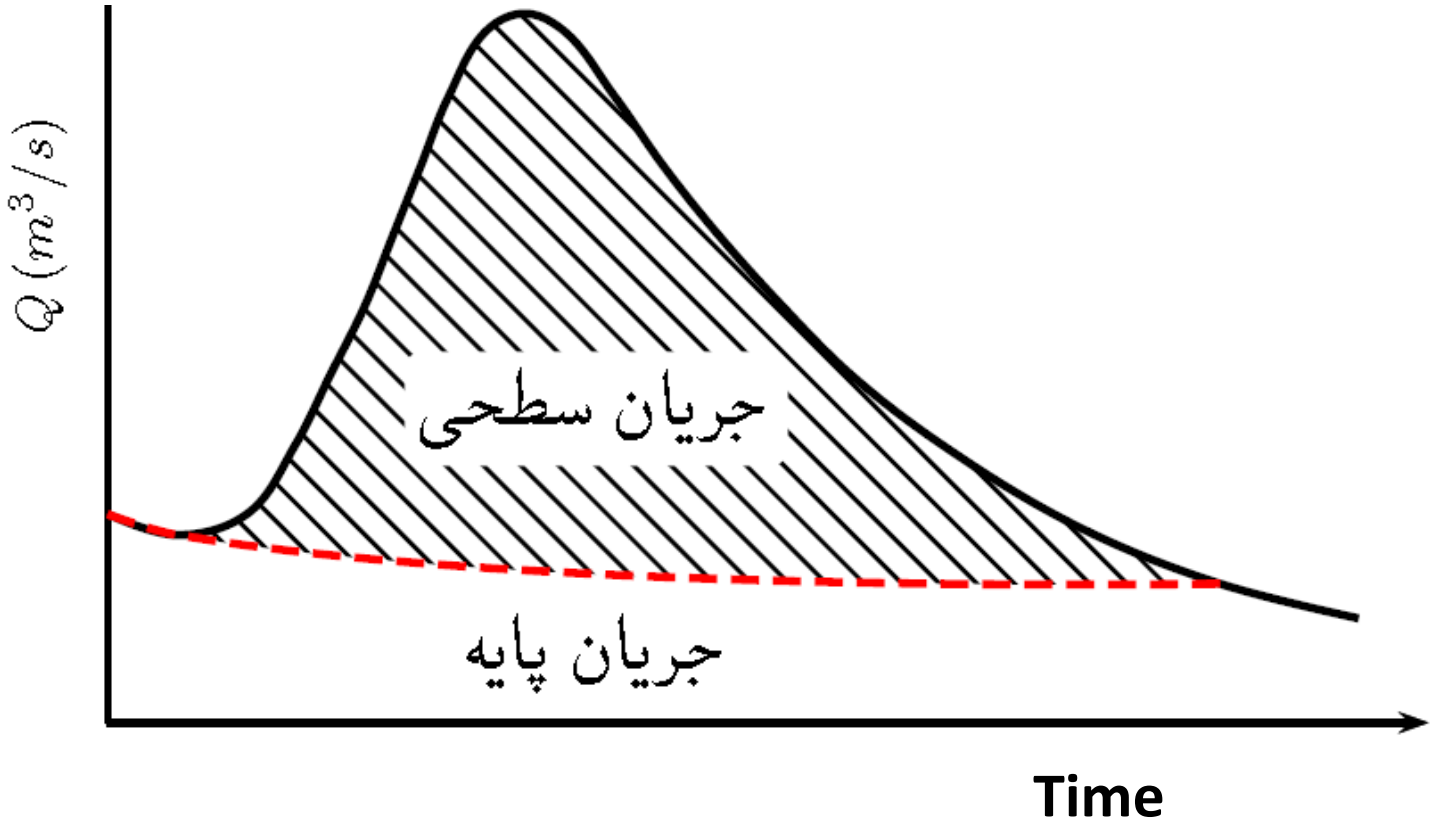
- **هیدروگراف تغییرات دبی رواناب سطحی در طی یک رخداد بارش را نشان می دهد، که ممکن است شدت بارش در زمانهای مختلف نیز مقدار ثابتی نداشته باشد.**
- **اگر بارش تولید رواناب با دبی‌های زیاد یا سیلابی کند به هیدروگراف رواناب ناشی از آن بارش، هیدرو گراف سیلاب گویند.**

- **شکل هیدروگراف خروجی از یک حوضه به ازای بارش های با شدت مختلف، متفاوت است.**
- **به ازاء یک بارندگی مشخص، هیدروگراف‌های خروجی از دو حوضه گوناگون نیز با یکدیگر یکسان نیست.**

شکل هیدروگراف هم بستگی به مشخصات بارندگی و هم خصوصیات حوضه دارد.

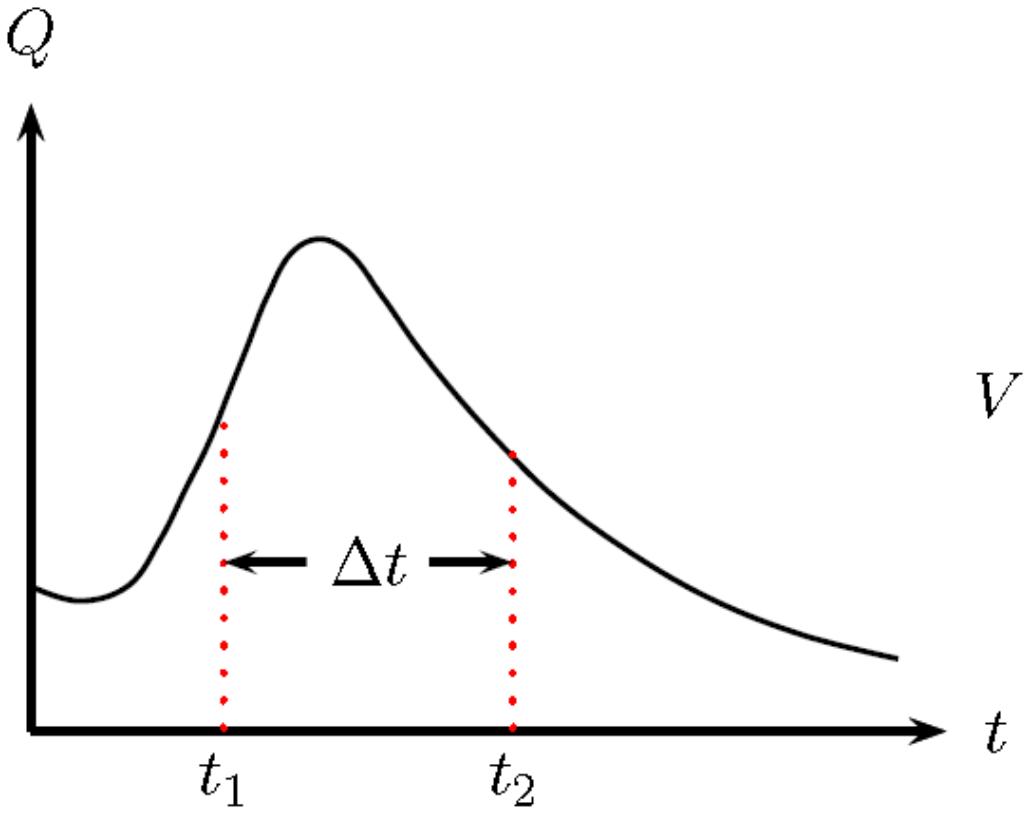
جریان پایه:

بخشی از دبی رودخانه یا آبراهه که مربوط به بارش قبلی بوده و قبل از رخداد بارش مورد بررسی در بستر جریان داشته است.



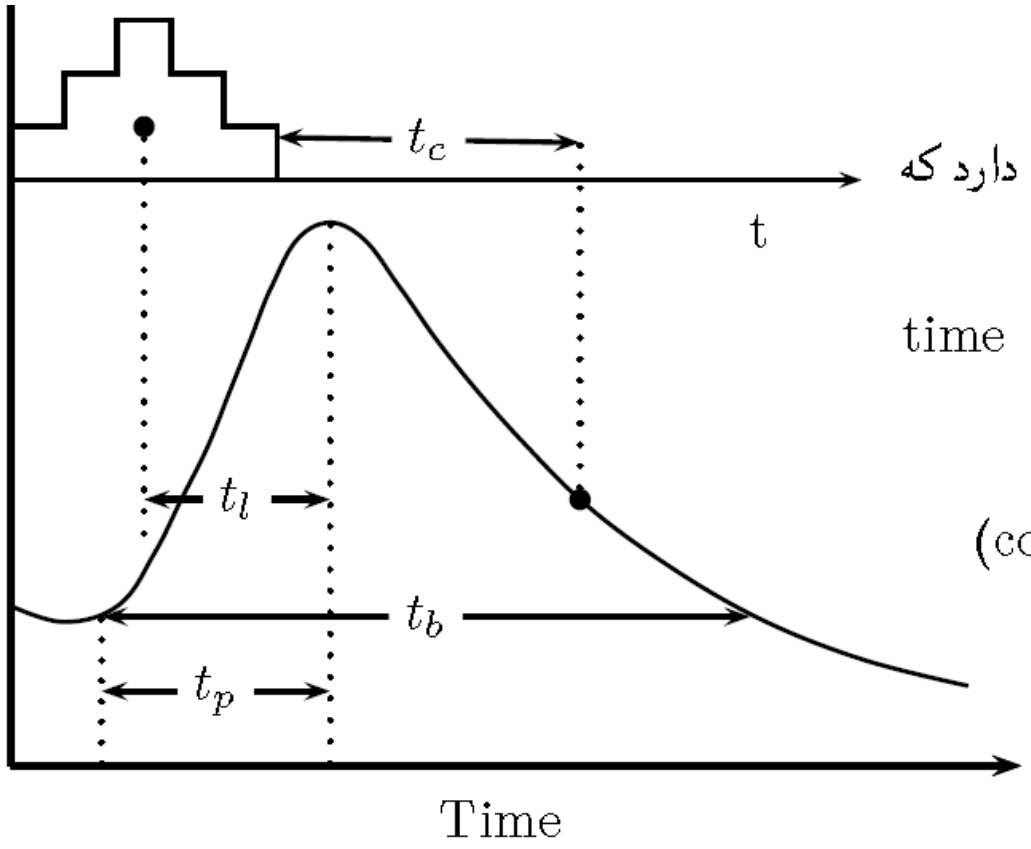
حجم رواناب:

سطح زیر منحنی هیدروگراف در یک فاصله زمانی مشخص، حجم رواناب را نشان می دهد.



$$V(t) = \int Q(t)dt$$

$$V(\Delta t) = \sum Q(\Delta t)\Delta t$$



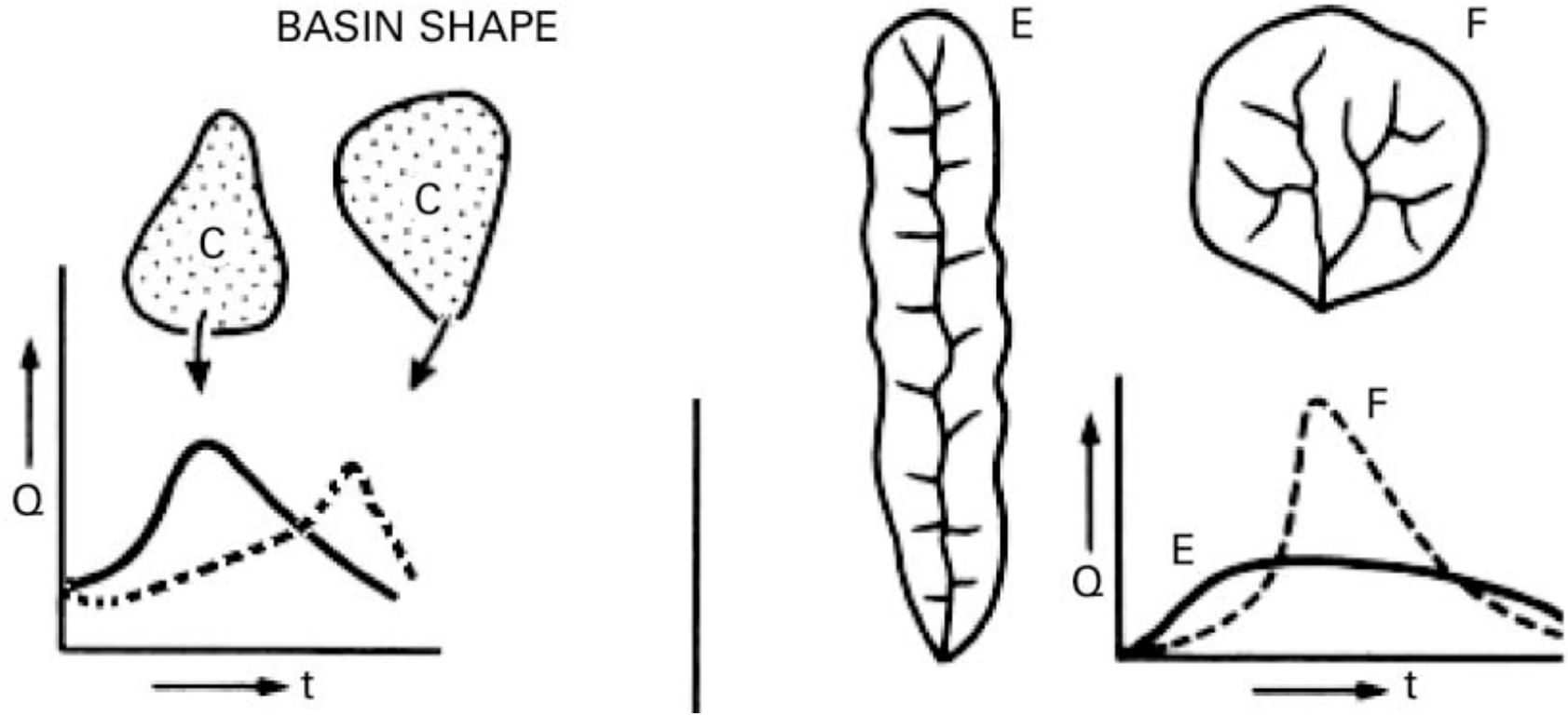
در هر هیدروگراف چهار زمان شاخص وجود دارد که عبارتند از:

- زمان رسیدن دبی به حداکثر (time to peak)
- زمان تأخیر (lag time)
- زمان تمرکز (concentration time)
- زمان پایه (base time)

عوامل موثر در میزان رواناب سطحی:

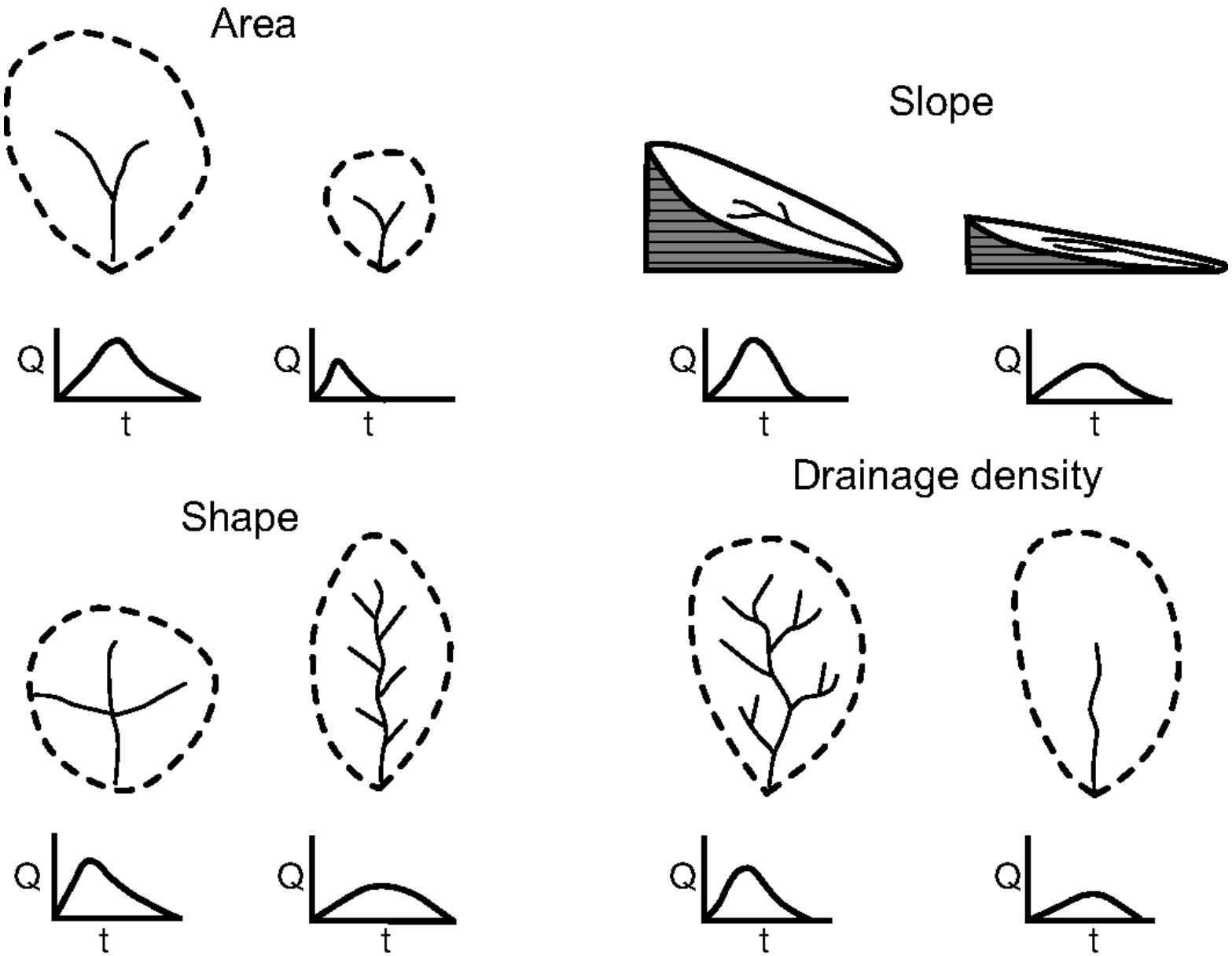
۱– عوامل فیزیوگرافیکی شامل:

- ❑ **مشخصات حوضه آبریز** (شکل، ابعاد، شیب حوضه، طبیعت دره‌ها، رقوم، تراکم آبراهه ها)،
- ❑ **مشخصات نفوذ** (کاربری اراضی و پوشش گیاهی، نوع خاک و مشخصات زمین‌شناختی، دریاچه، باتلاق و دیگر عوامل ذخیره‌ای)
- ❑ **مشخصات آبراهه‌ها** (سطح مقطع، زبری و ظرفیت ذخیره‌سازی)

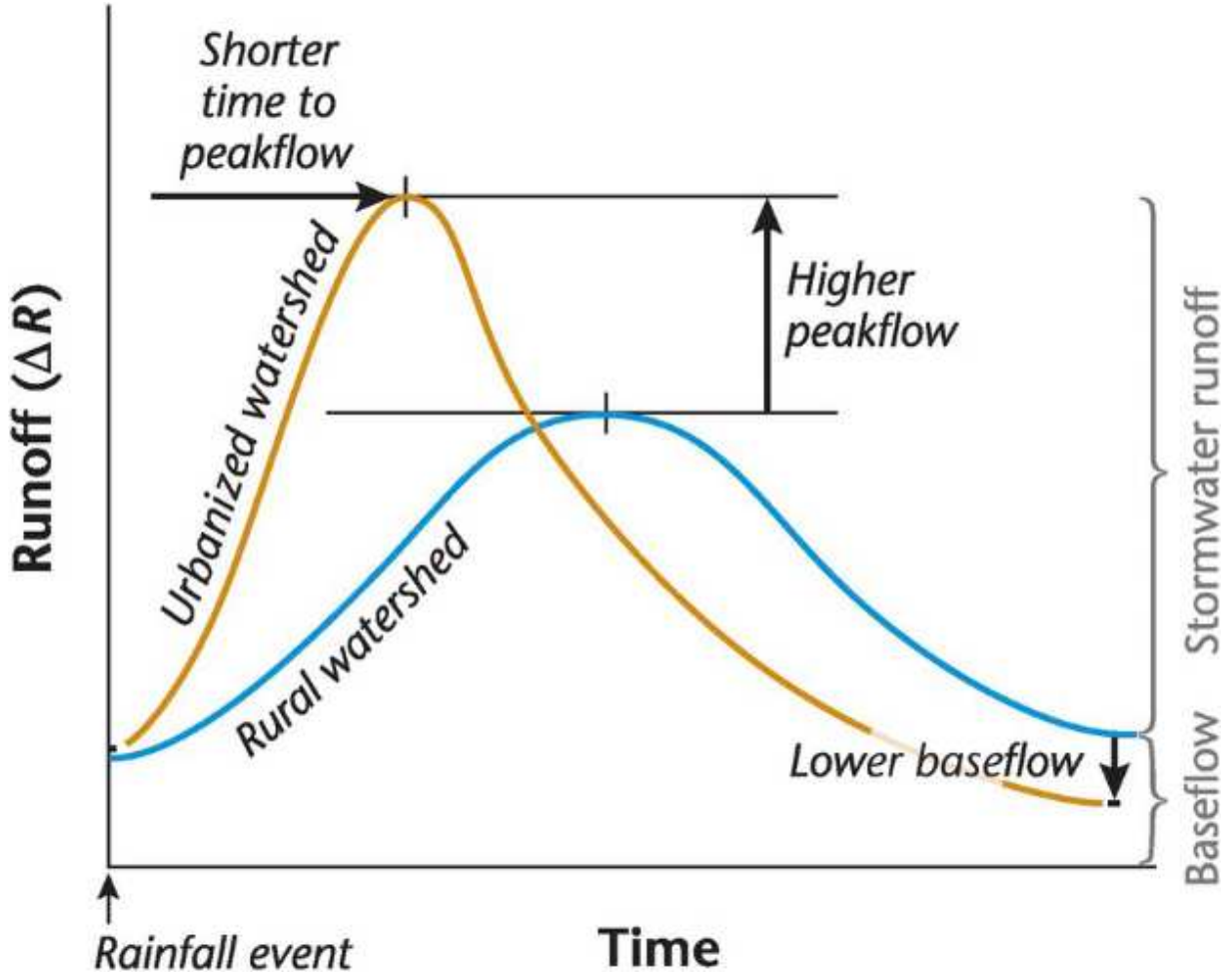


تاثیر شکل حوضه آبریز بر هیدروگراف رواناب

تاثیر مشخصات حوضه آبریز بر هیدروگراف



تاثیر کاربری اراضی بر هیدروگراف



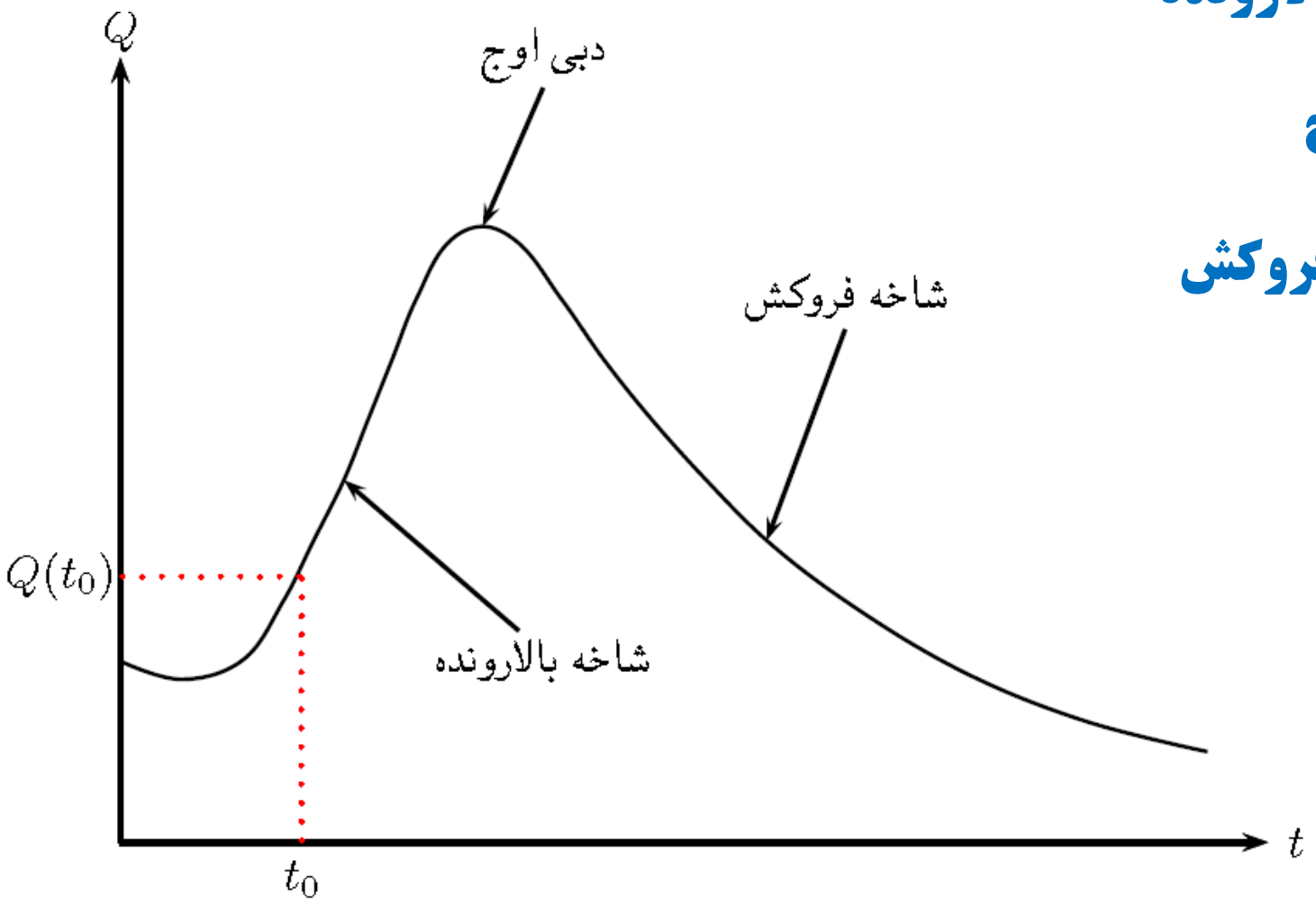
۲– عوامل اقلیمی:

- ❑ نوع بارندگی، شدت، تداوم بارش،
- ❑ نحوه ی حرکت توده های باران‌زا روی حوضه
- ❑ تلفات اولیه، تبخیر و تعرق

مجموعه این عوامل هم در حجم رواناب و هم در مقدار دبی حداکثر رواناب موثر است.

هر هیدروگراف هز سه جزء اصلی تشکیل شده است:

- **بازوی بالارونده**
- **دبی اوج**
- **شاخه فروکش**



همبستگی بین بارش و رواناب:

- همانطور که قبلا اشاره شد، میزان رواناب تولیدی در یک حوضه تابع عوامل متعددی است.

- یک روش ساده برای تعیین ارتباط بین بارش و رواناب، ایجاد همبستگی بین داده های بارش و رواناب تولید شده در حوضه است.

- معمولا یک رگرسیون خطی بین مقادیر بارش P و رواناب R به شکل زیر تشکیل می شود:

$$R = aP + b$$

ضرایب a و b با استفاده از روابط زی استخراج می شوند که در آن N تعداد کل داده های بارش و رواناب است.

$$a = \frac{N\left(\sum_{i=1}^{N} P_i R_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} P_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N} R_i\right)}{N\left(\sum_{i=1}^{N} P_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} P_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{N} R_i - a\sum_{i=1}^{N} P_i}{N}$$

$$r = \frac{N\left(\sum_{i=1}^{N} P_i R_i\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} P_i\right)\left(\sum_{i=1}^{N} R_i\right)}{\sqrt{\left[N\left(\sum_{i=1}^{N} P_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} P_i\right)^2\right] \times \left[N\left(\sum_{i=1}^{N} R_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^{N} R_i\right)^2\right]}}$$

R ضریب همبستگی است و مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده همبستگی خوب داده های بارش و رواناب است.

مثال:

براساس اندازه‌گیری مقادیر بارندگی و رواناب در طول ۱۸ سال گذشته در حوضهٔ آبریزی، مقادیر آن در جدول ۷ـ۱ درج گردیده است. مطلوب است رابطهٔ همبستگی بین بارش و رواناب در این حوضه و محاسبهٔ مقدار ضریب همبستگی. آیا همبستگی خوبی وجود دارد؟

جدول ۷ـ۱ مقادیر بارندگی و ارتفاع معادل رواناب در طی ۱۸ سال

سال	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
بارندگی(cm)	۵	۳۵	۴۰	۳۰	۱۵	۱۰	۵	۳۱	۳۶
رواناب(cm)	۰/۵	۱۰	۱۳/۵	۸/۲	۳/۱	۳/۲	۰/۱	۱۲	۱۶

سال	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
بارندگی(cm)	۳۰	۱۰	۸	۲	۲۲	۳۰	۲۵	۸	۶
رواناب (cm)	۸	۲/۳	۱/۶	۰	۶/۵	۹/۴	۷/۶	۱/۵	۰/۵

حل:

براساس داده‌های ۱۸ ساله جدول ۷ـ۱ داریم:

$$N = ۱۸ \quad , \quad \sum_{i=۱}^{۱۸} P_i = ۳۴۸ \quad , \quad \sum_{i=۱}^{۱۸} P_i^۲ = ۹۵۳۴ \quad , \quad (\sum_{i=۱}^{۱۸} P_i)^۲ = ۱۲۱۱۰۴$$

$$\sum_{i=۱}^{۱۸} R_i = ۱۰۴ \quad , \quad \sum_{i=۱}^{۱۸} R_i^۲ = ۱۰۳۲/۳۲ \quad , \quad (\sum_{i=۱}^{۱۸} R_i)^۲ = ۱۰۸۱۶$$

$$\sum_{i=۱}^{۱۸} P_i R_i = ۳۰۷۱/۳$$

و لذا مقدار ضرایب a و b براساس روابط (۷ـ۲) و (۷ـ۳) به ترتیب برابر با $a = ۰/۳۸$ و $b = -۱/۵۵$ خواهد بود. بر این اساس رابطهٔ همبستگی بین بارندگی و رواناب $R = ۰/۳۸P - ۱/۵۵$ به دست می‌آید. با استفاده از رابطهٔ (۷ـ۴)، مقدار ضریب همبستگی معادل $r = ۰/۹۶۴$ به دست می‌آید، که نشانگر همبستگی خوبی بین P و R در این حوضهٔ آبریز با استفاده از رابطهٔ $R = ۰/۳۸P - ۱/۵۵$ است.

محاسبه حجم رواناب سطحی:

- با توجه به اینکه اندازه گیری مداوم جریان رواناب خروجی از یک حوضه صورت نمی گیرد، لذا نیاز است که با توجه به مشخصات حوضه آبریز و مقدار بارش، حجم رواناب سطحی به دست آید.

- حجم رواناب سطحی برای تعیین ظرفیت مخازن سدها و طراحی سیستم تغذیه آبهای زیرزمینی کاربرد دارد.

روش انجمن حفاظت خاک آمریکا (SCS):

- در این روش مقدار بارش P مربوط به یک رخداد بارش، مبنای محاسبه R است.
- خواص فیزیکی و رطوبتی خاک بر اساس عددی به نام شماره منحنی CN از جداول مربوطه استخراج می شود.

طبقه بندی خاک بر اساس پتانسیل تولید رواناب

گروه هیدرولوژیک خاک	استعداد ایجاد رواناب	حداقل سرعت نفوذ آب در خاک $(\frac{mm}{hr})$
A	کم	۷/۶_۱۲/۷
B	متوسط	۳/۸_۷/۶
C	نسبتاً زیاد	۱/۳_۳/۸
D	زیاد	۰_۱/۳

توصیف شرایط رطوبتی خاک حوضه پیش از شروع بارش

شرایط رطوبتی	علامت اختصاری	توضیحات
خشک	AMCI	میزان رطوبت موجود در خاک حوضه کم بوده و لیکن آنقدر کم نیست که گیاهان بخاطر کمبود رطوبت به حالت پژمردگی دائمی برسند.
متوسط	AMCII	میزان رطوبت خاک در حد متوسط است، یعنی نه در حالت خشک و نه در وضعیت مرطوب.
مرطوب	AMCIII	خاک حوضه بخاطر بارش‌های سنگین و شدید و یا بارندگی‌های سبک در حالتی که دمای هوا پائین بوده به حالت مرطوب رسیده و کاملاً مستعد تولید رواناب است.

- مقدار شماره منحنی CN بر حسب نوع کاربری اراضی در شرایط رطوبتی متوسط مطابق با جداول زیر تخمین زده می شود. در شرایط رطوبتی خشک یا مرطوب باید این ضرایب تعدیل شوند.

- پس از تخمین و اصلاح شماره منحنی CN در شرایط رطوبتی موجود خاک و بر پایه گروه هیدرولوژیکی خاک، از رابطه زیر میزان رواناب محاسبه می شود:

$$R = \frac{(P - ۰/۲S)^۲}{P + ۰/۸S}$$

$$S = \frac{25{,}400}{CN} - 254 \quad \text{mm}$$

R ارتفاع معادل رواناب بر حسب میلیمتر، P ارتفاع بارش بر حسب میلیمتر

S حداکثر ارتفاع معادل بارندگی که توسط پوشش گیاهی و خاک حوضه جذب می شود بر حسب میلیمتر

جدول ۷ـ۱۰ شمارهٔ منحنی (CN) برای اراضی حوضه‌های طبیعی و شهری در شرایط متوسط رطوبتی خاک

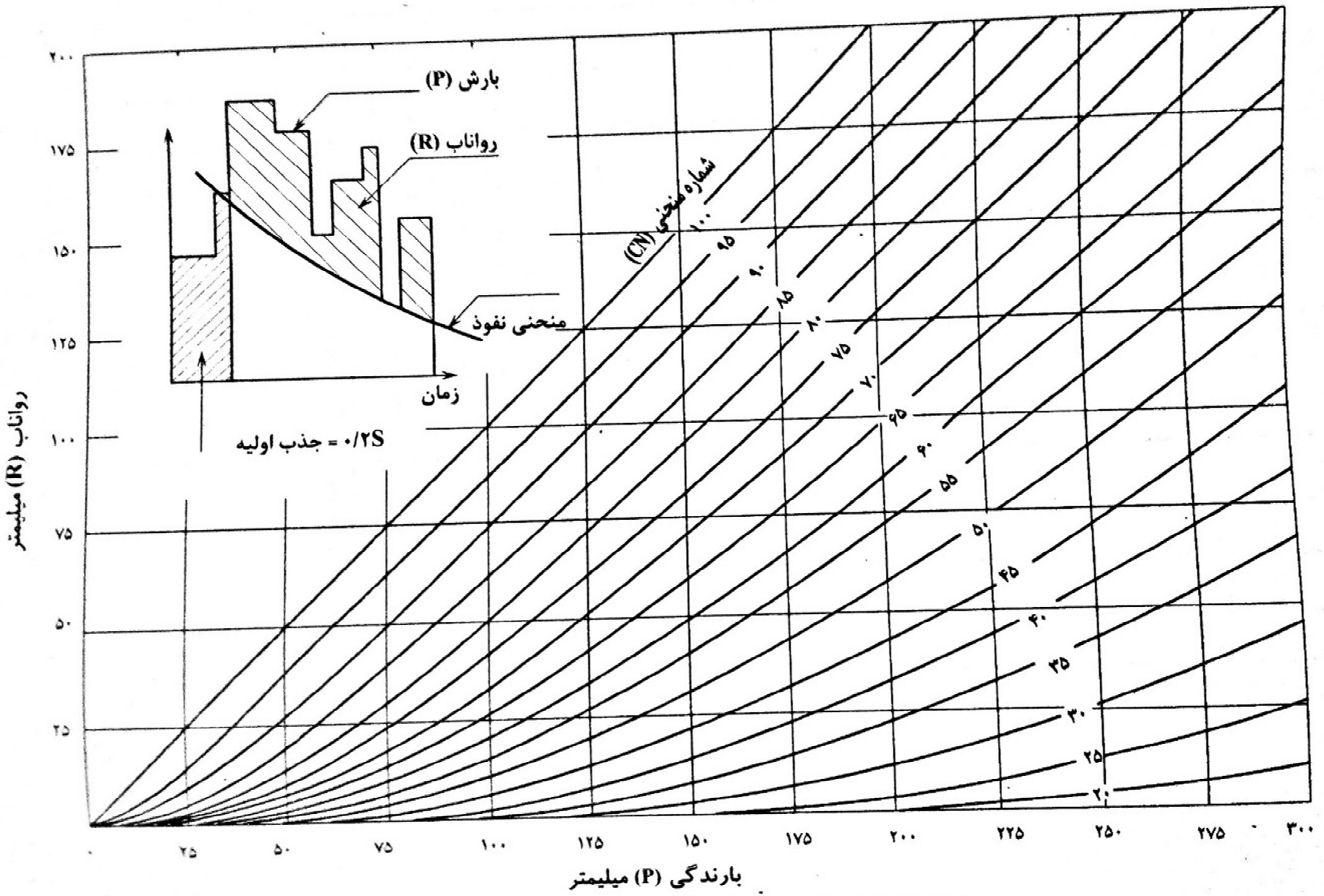
کاربری اراضی	گروه هیدرولوژیک خاک			
	A	B	C	D
۱ـ اراضی کشاورزی:				
ـ بدون استفاده از روش‌های آبخیزداری	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱
ـ با استفاده از روش‌های آبخیزداری	۶۲	۷۱	۷۸	۸۱
۲ـ مراتع و چمن‌زارها:				
ـ با تراکم ضعیف (پوشش گیاهی کمتر از ۵۰ درصد)	۶۸	۷۹	۸۶	۸۹
ـ با تراکم خوب (پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵ درصد)	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
۳ـ علفزارها با پوشش گیاهی بیشتر از ۷۵ درصد	۳۰	۵۸	۷۱	۷۸
۴ـ اراضی جنگلی:				
ـ تراکم درختان کم، پوشش گیاهی ضعیف و فاقدمالچ	۴۵	۶۶	۷۷	۸۳
ـ تراکم درختان زیاد، پوشش‌گیاهی خوب و قرق چرای دام	۲۵	۵۵	۷۰	۷۷
۵ ـ فضای باز، باغچه‌ها، پارک‌ها، زمین‌های بازی گلف،گورستان‌ها و .... :				
ـ دارای پوشش گیاهی بیش از ۷۵ درصد	۳۹	۶۱	۷۴	۸۰
ـ دارای پوشش گیاهی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد	۴۹	۶۹	۷۹	۸۴
۶ ـ نواحی تجاری و اداری که ۸۵ درصد سطوح نفوذناپذیر است	۸۹	۹۲	۹۴	۹۵
۷ـ نواحی صنعتی که ۷۲ درصد سطوح نفوذناپذیر است	۸۱	۸۸	۹۱	۹۳
۸ـ نواحی مسکونی[۱]				
اندازهٔ متوسط قطعات (m^2) — میانگین درصد سطوح نفوذناپذیر[۲] (٪)				
مساوی یا کمتر از ۵۰۰ — ۶۵	۷۷	۸۵	۹۰	۹۲
۱۰۰۰ — ۴۰	۶۱	۷۵	۸۳	۸۷
۱۵۰۰ — ۳۰	۵۷	۷۲	۸۱	۸۶
۲۰۰۰ — ۲۵	۵۴	۷۰	۸۰	۸۵
۴۰۰۰ — ۲۰	۵۱	۶۸	۷۹	۸۴
۹ـ سطوح روکش‌شده پارکینگ‌ها، بام‌ها، سواره‌روها[۳] و	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
۱۰ـ خیابان‌ها و معابر:				
ـ روکش‌شده، دارای جدول و جوی برای جمع‌آوری آبهای سطحی	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
ـ شن‌ریزی شده یا روکش‌شده با جوی‌های خاکی در حاشیه آن	۷۶	۸۵	۸۹	۹۱
ـ خاکی، روکش‌نشده	۷۲	۸۲	۸۷	۸۹

جدول ۷ـ۱۱ شمارهٔ منحنی برای اراضی کشاورزی در شرایط متوسط رطوبتی خاک

کاربری اراضی یا نوع کشت	عملیات زراعی یا نحوهٔ کاشت	وضعیت هیدرولوژیکی[1]	گروه هیدرولوژیک خاک			
			A	B	C	D
۱ـ اراضی کشت نشدهٔ (آیش)	ردیف‌های مستقیم	ـــ	۷۷	۸۶	۹۱	۹۴
۲ـ گیاهان ردیفی	ردیف‌های مستقیم	ضعیف	۷۲	۸۱	۸۸	۹۱
	ردیف‌های مستقیم	خوب	۶۷	۷۸	۸۵	۸۹
	طبق خطوط تراز زمین	ضعیف	۷۰	۷۹	۸۴	۸۸
	طبق خطوط تراز زمین	خوب	۶۵	۷۵	۸۲	۸۶
	طبق خطوط‌تراز + تراس‌بندی	ضعیف	۶۶	۷۴	۸۰	۸۲
	طبق خطوط تراز + تراس‌بندی	خوب	۶۲	۷۱	۷۸	۸۱
۳ـ غلات	ردیف‌های مستقیم	ضعیف	۶۵	۷۶	۸۴	۸۸
	ردیف‌های مستقیم	خوب	۶۳	۷۵	۸۳	۸۷
	طبق خطوط تراز زمین	ضعیف	۶۳	۷۴	۸۲	۸۵
	طبق خطوط تراز زمین	خوب	۶۳	۷۱	۸۱	۸۴
	طبق خطوط تراز + تراس‌بندی	ضعیف	۶۱	۷۲	۷۹	۸۲
	طبق خطوط تراز + تراس‌بندی	خوب	۵۹	۷۰	۷۸	۸۱
۴ـ بقولات (لوبیا، باقالا، نخود و ....) و یا مراتع تحت تناوب زراعی	طبق خطوط تراز زمین	ضعیف	۶۴	۷۵	۸۳	۸۵
	طبق خطوط تراز زمین	خوب	۵۵	۶۹	۷۸	۸۳
	طبق خطوط تراز + تراس‌بندی	ضعیف	۶۳	۷۳	۸۰	۸۳
	طبق خطوط تراز + تراس‌بندی	خوب	۵۱	۶۷	۷۶	۸۰

جدول ۷-۱۲ تبدیل شمارهٔ منحنی از شرایط رطوبتی متوسط به حالت خشک یا مرطوب

شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسط AMCII	شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی		شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی متوسط AMCII	شمارهٔ منحنی در شرایط رطوبتی	
	خشک AMCI	مرطوب AMCIII		خشک AMCI	مرطوب AMCIII
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۵۸	۳۸	۷۶
۹۸	۹۴	۹۹	۵۶	۳۶	۷۵
۹۶	۸۹	۹۹	۵۴	۳۴	۷۳
۹۴	۸۵	۹۸	۵۲	۳۲	۷۱
۹۲	۸۱	۹۷	۵۰	۳۱	۷۰
۹۰	۷۸	۹۶	۴۸	۲۹	۶۸
۸۸	۷۵	۹۵	۴۶	۲۷	۶۶
۸۶	۷۲	۹۴	۴۴	۲۵	۶۴
۸۴	۶۸	۹۳	۴۲	۲۴	۶۲
۸۲	۶۶	۹۲	۴۰	۲۲	۶۰
۸۰	۶۳	۹۱	۳۸	۲۱	۵۸
۷۸	۶۰	۹۰	۳۶	۱۹	۵۶
۷۶	۵۸	۸۹	۳۴	۱۸	۵۴
۷۴	۵۵	۸۸	۳۲	۱۶	۵۳
۷۲	۵۳	۸۶	۳۰	۱۵	۵۰
۷۰	۵۱	۸۵	۲۵	۱۲	۴۳
۶۸	۴۸	۸۴	۲۰	۹	۳۷
۶۶	۴۶	۸۳	۱۵	۶	۳۰
۶۴	۴۴	۸۱	۱۰	۴	۲۲
۶۲	۴۲	۷۹	۵	۲	۱۳
۶۰	۴۰	۷۸	۰	۰	۰



شکل ۷-۶ نمودار تبدیل بارندگی به ارتفاع معادل رواناب به روش SCS

مثال ۷ـ۶

در حوضهٔ آبریزی به مساحت ۱۸۰۰ هکتار با پوشش گیاهی جنگلی ضعیف، نفوذپذیری خاک سطحی معادل $(\frac{mm}{hr})$ ۵ است. مطلوب است محاسبهٔ حجم رواناب خروجی از این حوضه به ازاء بارندگی ۲۵ میلیمتر، در صورتی که روز قبل نیز بارندگی در این حوضه اتفاق افتاده باشد.

حل:

براساس جداول ۷ـ۹ و ۷ـ۱۰ چون کاربری اراضی از نوع جنگلی ضعیف است و از طرفی سرعت نفوذ آب در خاک منطقه بین ۳/۸ تا ۷/۶ میلیمتر در ساعت است، لذا گروه هیدرولوژیکی خاک از نوع B و لذا شمارهٔ منحنی $CN = ۶۶$ خواهد بود. از طرف دیگر، خاک به دلیل بارش روز قبل در شرایط مرطوب بوده و لذا براساس جدول ۷ـ۱۲ این شمارهٔ منحنی که در حالت متوسط رطوبتی $CN = ۶۶$ بوده به $CN = ۸۳$ اصلاح می‌گردد، از اینرو:

$$S = \frac{۲۵۴۰۰}{۸۳} - ۲۵۴ = ۵۲ \quad (mm)$$

و لذا:

$$R = \frac{(۲۵ - ۰/۲ \times ۵۲)^۲}{۲۵ + ۰/۸ \times ۵۲} = ۳/۲ \quad (mm)$$

و براین اساس حجم کل رواناب حوضه در طی این رخداد بارندگی برابر است با:

$$V = \frac{۳/۲}{۱۰۰۰} \times ۱۸۰۰ \times ۱۰^۴ = ۵۷۶۰۰ \quad (m^۳)$$

مثال:

مقدار حجم رواناب و ضریب رواناب حاصل از ۵۰ میلی‌متر بارندگی روی یک حوضه به وسعت ۴ هکتار با شماره منحنی ۷۵ چقدر است؟

حل:

$$S = \frac{۲۵۴۰۰}{CN} - ۲۵۴ = \frac{۲۵۴۰۰}{۷۵} - ۲۵۴ = ۸۴/۶۶\ mm$$

$$R = \frac{(P - ۰/۲S)^۲}{(P + ۰/۸S)} = \frac{(۵۰ - ۰/۲ \times ۸۴/۶۶)^۲}{(۵۰ + ۰/۸ \times ۸۴/۶۶)} = ۹/۲۹\ mm$$

$$C = \frac{R}{P} = \frac{۹/۲۹}{۵۰} = ۰/۱۸۹$$

$$Q = R \times A = \frac{۹/۲۹}{۱۰۰۰} \times ۴ \times ۱۰^۴ = ۳۷۱/۵\ m^۳$$

نکته: اگر مقادیر CN در نقاط مختلف حوضه متفاوت باشد، مقدار متوسط وزنی CN برای حوضه در نظر گرفته می شود.

$$CN = \frac{(CN_۱ A_۱ + CN_۲ A_۲ + \cdots)}{(A_۱ + A_۲ + \cdots)}$$

مثال:

در یک حوضهٔ آبریز ۴۰ درصد اراضی را پوشش جنگلی خوب و ۶۰ درصد دیگر را اراضی مسکونی تشکیل می‌دهد. در هر کدام از این پوششها ۷۵ درصد خاکهای حوضه درگروه هیدرولوژیکی B و ۲۵ درصد دیگر در گروه C قرار می‌گیرد. متوسط CN را حساب کنید.

حل

نوع پوشش	گروه هیدرولوژیک خاک	مساحت	CN
جنگلی	B	0.4(0.75)=0.3	55
جنگلی	C	0.4(0.25)=0.1	70
مسکونی	B	0.6(0.75)=0.45	85
مسکونی	C	0.6(0.25)=0.15	90

$$\overline{CN} = 0.3(55) + 0.1(70) + 0.45(85) + 0.15(90) = 75$$

حداکثر دبی رواناب (دبی اوج) :

- در طراحی سازه های آبی علاوه بر حجم یا ارتفاع رواناب حاصل از بارندگی ها، حداکثر شدت لحظه ای رواناب نیز مورد نظر می باشد.

- از دبی حداکثر رواناب برای طراحی سازه هایی مثل سیستم های جمع آوری سیلاب، سیستم های انحراف آب و طراحی سیلبندها استفاده می شود.

- **ساده ترین رابطه ای که برای تخمین حداکثر دبی رواناب می توان نوشت معادله استدلالی یا منطقی** Rational **است.**

- **اگر بارانی با شدت** i **روی حوضه ببارد و مساحت حوضه معادل** A **باشد حداکثر دبی رواناب با توجه به ضریب رواناب** C **از معادله زیر به دست می آید:**

$$Q=0.278\ CiA$$

Q حداکثر دبی رواناب (m3/s)، C ضریب رواناب، A وسعت حوضه آبریز (km2) و i شدت بارش (mm/hr)

روش منطقی به شرطی قابل استفاده است که:

۱– شدت بارندگی ثابت

۲– مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه یا بیشتر از آن باشد.

۳– بارندگی تمام سطح حوضه را در بر گرفته باشد.

جدول ۷ـ۱۳ ضریب رواناب (C) در روش منطقی برای حوضه‌های آبریز طبیعی

نوع کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز	ضریب رواناب (C)
اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی	۰/۴
چمن‌زارها و مراتع	۰/۳۵
اراضی مزروعی	۰/۳
اراضی جنگلی	۰/۱۸

جدول ۷ـ۱۴ تعدیل ضریب رواناب براساس مقدار پایه از جدول ۷ـ۱۳

شرایط حوضه آبریز	اضافه به یا کسر از ضریب رواناب پایه
شیب کمتر از ۵ درصد	-۰/۰۵
شیب بیشتر از ۱۰ درصد	+۰/۰۵
دورهٔ بازگشت بارش طرح کمتر از ۲۰ سال	-۰/۰۵
دورهٔ بازگشت بارش طرح بیش از ۵۰ سال	+۰/۰۵
میانگین بارندگی سالیانه کمتر از ۶۰۰ میلیمتر	-۰/۰۳
میانگین بارندگی سالیانه بیشتر از ۹۰۰ میلیمتر	+۰/۰۳

ضریب رواناب C در روش منطقی برای حوضه های شهری (دوره بازگشت بارش بین ۲ تا ۱۰ سال)

نوع کاربری اراضی شهری	ضریب رواناب (C)
۱ـ مناطق تجاری:	
ـ در حومهٔ شهری	۰/۵ ـ ۰/۷
ـ در مرکز شهر	۰/۷ ـ ۰/۹۵
۲ـ مناطق مسکونی:	
ـ خانه‌های تک‌واحدی	۰/۳ ـ ۰/۵
ـ نواحی مسکونی با تراکم پائین	۰/۴ ـ ۰/۶
ـ نواحی مسکونی با تراکم بالا	۰/۶ ـ ۰/۷
ـ نواحی مسکونی حومهٔ شهرها	۰/۲۵ ـ ۰/۴
ـ نواحی آپارتمانی	۰/۵ ـ ۰/۷
۳ـ مناطق صنعتی:	
ـ با تراکم پائین	۰/۵ ـ ۰/۸
ـ با تراکم زیاد	۰/۶ ـ ۰/۹
۴ـ پارک‌ها و گورستان‌ها	۰/۱ ـ ۰/۳
۵ ـ میادین ورزشی	۰/۲۵ ـ ۰/۳۵
۶ـ اراضی بایر	۰/۱ ـ ۰/۳

ضریب رواناب C در روش منطقی برای حوضه های شهری (دوره بازگشت بارش بین ۲ تا ۱۰ سال)

۷ـ انواع سطوح روکش‌شده شهری:	
ـ سطوح آسفالته و بتنی	۰/۹ ـ ۰/۷
ـ سطوح آجرفرش	۰/۸۵ ـ ۰/۷
ـ بام ساختمان‌ها	۰/۹ـ۰/۷
۸ ـ محوطه راه‌آهن:	۰/۳۵ ـ ۰/۲
۹ـ باغچه‌ها و اراضی چمنی:	
ـ بافت خاک سنگین، شیب زیاد (بیش از ۷ درصد)	۰/۳۵ ـ ۰/۲۵
ـ بافت خاک سنگین، شیب متوسط (۲ تا ۷ درصد)	۰/۲۲ ـ ۰/۱۸
ـ بافت خاک سنگین، شیب کم (کمتر از ۲ درصد)	۰/۱۷ ـ ۰/۱۳
ـ بافت خاک سبک، شیب زیاد (بیش از ۷ درصد)	۰/۲۰ ـ ۰/۱۵
ـ بافت خاک سبک، شیب متوسط (بین ۲ تا ۷ درصد)	۰/۱۵ ـ ۰/۱
ـ بافت خاک سبک، شیب کم (کمتر از ۲ درصد)	۰/۱ ـ ۰/۰۵
۱۰ـ بام ساختمان‌ها:	
ـ بام‌های پرشیب	۰/۹۵ ـ ۰/۷۵
ـ سنگ یا فلز (شیروانی)	۰/۹۵
ـ سفال	۰/۹۰
ـ بام‌های مسطح یا کم شیب	۰/۷۵ ـ ۰/۵
۱۱ـ سایر سطوح:	
ـ اراضی بایر و توسعه نیافته	۰/۰۵
ـ باغات	۰/۱۰

جدول ضریب تعدیل برای اصلاح ضریب رواناب C در روش منطقی

دورهٔ بازگشت بارش طرح (سال)	ضریب تعدیل
۲ تا ۱۰	۱/۰
۲۵	۱/۱
۵۰	۱/۲
۱۰۰	۱/۲۵

مثال:

در یک حوضه آبریز شهری به مساحت کلی ۳۰۰ هکتار، قرار است کانال اصلی جمع‌آوری آبهای سطحی برای بارش با دورهٔ بازگشت ۵۰ سال طراحی گردد. اگر ۱۵ درصد اراضی دارای کاربری تجاری، ۳۵ درصد نواحی مسکونی با تراکم بالا، ۱۰ درصد پارک و ۴۰ درصد معابر آسفالته باشد، مطلوب است محاسبهٔ دبی اوج رواناب ناشی از بارش با شدت ۲۰ میلیمتر در ساعت که به مدت ۳ ساعت در روی این حوضه شهری باریده است. زمان تمرکز این حوضه ۲ ساعت برآورد گردیده است.

حل:

برای محاسبهٔ ضریب رواناب کل حوضه آبریز با استفاده از جدول ۷ـ۱۵ و میانگین‌گیری وزنی داریم:

$$\overline{C} = ۰/۱۵ \times ۰/۸ + ۰/۳۵ \times ۰/۶۵ + ۰/۱ \times ۰/۲ + ۰/۴ \times ۰/۸ = ۰/۶۹$$

از طرفی چون بارش طراحی با دورهٔ بازگشت ۵۰ ساله است، لذا با استفاده از جدول ۷ـ۱۶ ضریب تعدیل ۱/۲ در ضریب رواناب ضرب می‌گردد و لذا معادل $C = ۰/۸۳$ خواهد بود. از طرف دیگر چون زمان تداوم بارندگی ۳ ساعت بوده و زمان تمرکز حوضه ۲ ساعت است، لذا می‌توان از روش منطقی جهت محاسبهٔ دبی اوج استفاده کرد که برابر است با:

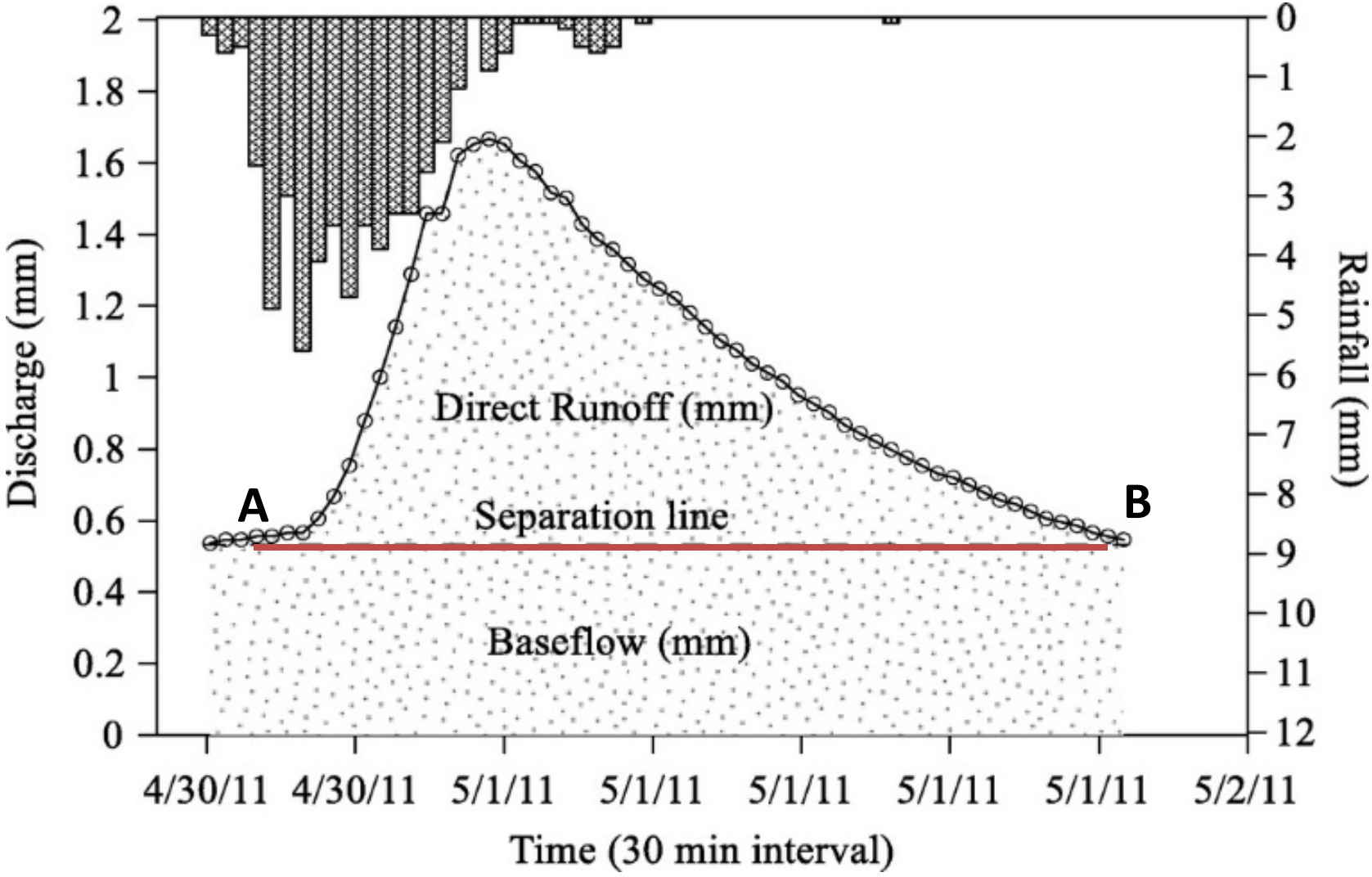
$$Q = ۰/۲۷۸CiA = ۰/۲۷۸ \times ۰/۸۳ \times ۲۰ \times ۳ = ۱۳/۸۵ \quad (\frac{m^3}{s})$$

تجزیه هیدروگراف

در بسیاری از طرحهای هیدرولوژیکی نیاز به جدا کردن جریان پایه از رواناب مستقیم است.

روش اول:

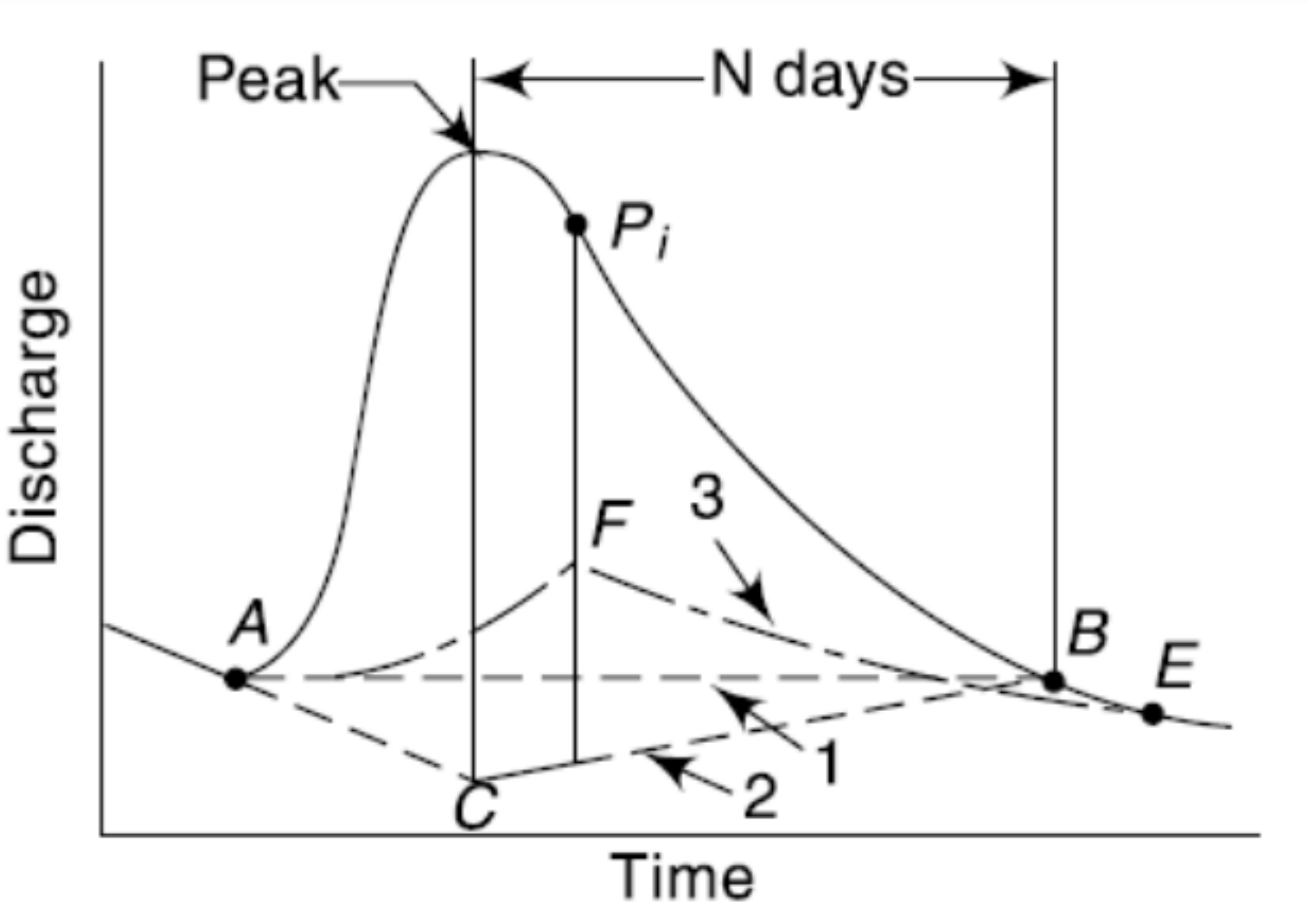
از نقطه شروع سیلاب (نقطه A) خطی مستقیم رسم می شود تا شاخه پایین رونده هیدروگراف را در نقطه B (نقطه خاتمه سیل) قطع کند. بخشی از هیدروگراف که بالای خط است هیدروگراف رواناب مستقیم است.


Discharge (mm)
Rainfall (mm)
Direct Runoff (mm)
A
Separation line
B
Baseflow (mm)
Time (30 min interval)
4/30/11
4/30/11
5/1/11
5/1/11
5/1/11
5/1/11
5/1/11
5/2/11

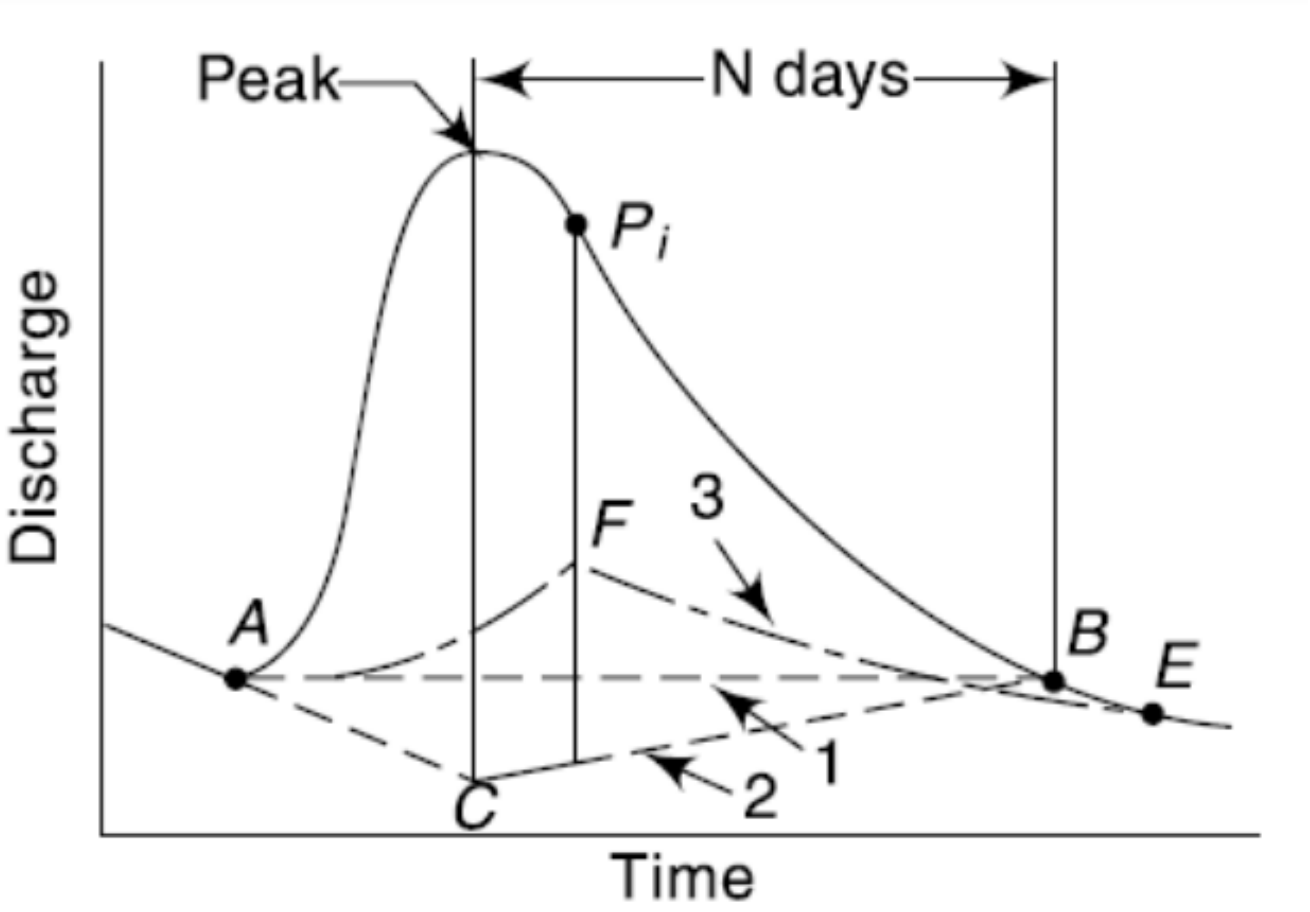
روش دوم: محور زمان بر حسب روز مدرج می شود. از نقطه اوج هیدروگراف به اندازه N روز روی شاخه فروکش نقطه B را مشخص می کنیم.

$N = 0.83\ A^{0.2}$

A وسعت حوضه بر حیب کیلومتر مربع



روش سوم: از نقطه E خطی بر هیدروگراف مماس می کنیم تا خط قائم عبوری از نقطه عطف را در F قطع کند. از A به F نیز خطی وصل نموده و بالای خطوط AF و FB معرف هیدروگراف رواناب مستقیم است.



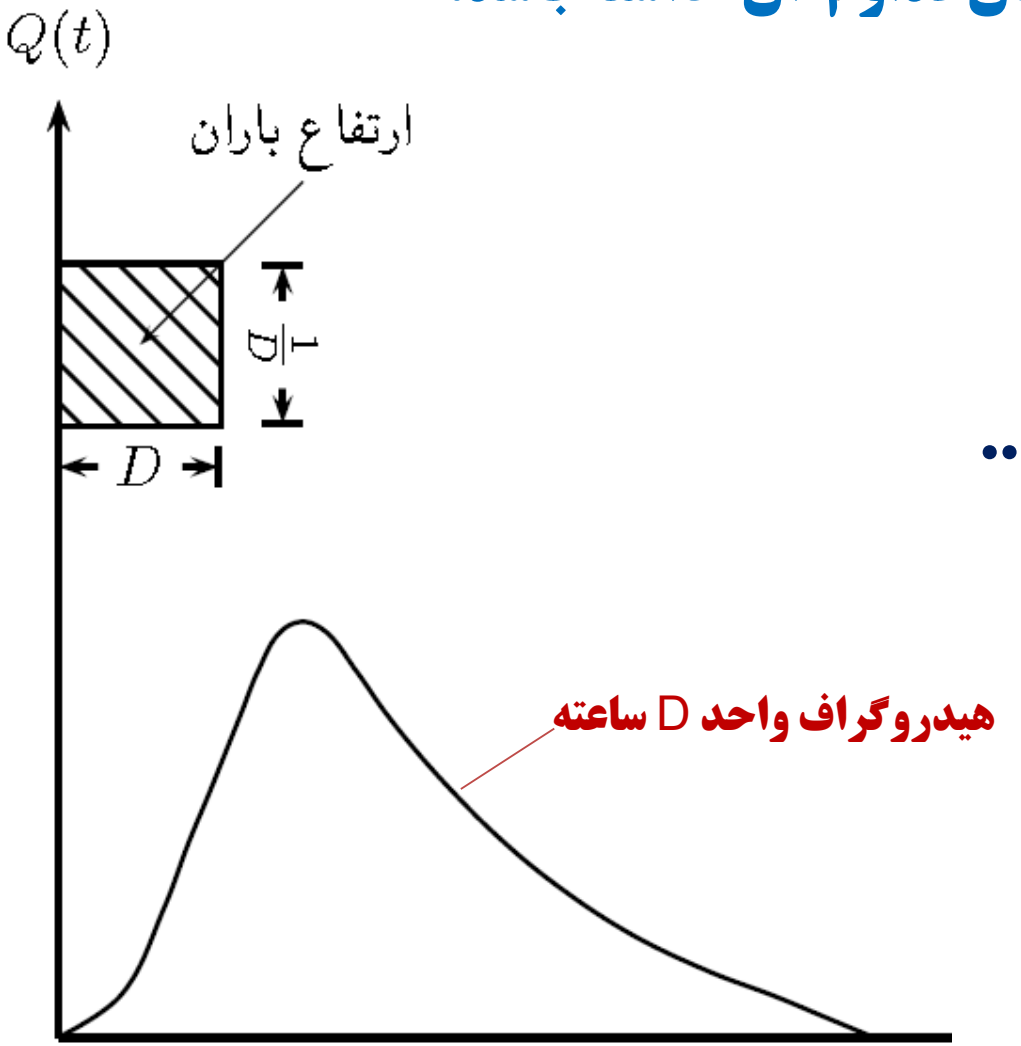
هیدروگراف واحد UNIT HYDROGRAPH (UH)

- یکی از مسائل مهم در بحث تحلیل هیدروگراف این است که اگر بارش مشخصی بر سطح حوضه ببارد، چگونه می توان هیدروگراف خروجی از حوضه را پیش‌بینی نمود.

- پایه‌ی بسیاری از روش‌های استخراج هیدروگراف از هیتوگراف بارش، استفاده مفهومی تحت عنوان هیدروگراف واحد است.

- هیدروگراف واحد یک حوضه آبریز عبارتست از هیدروگراف خروجی از حوضه به ازاء یک واحد (یک سانتیمتر، یک میلیمتر، یک اینچ) رواناب مستقیم با فرض اینکه بارش مازاد در مدت زمان بارندگی بطور یکنواخت در کل حوضه باریده باشد.

- بر اساس تعریف هیدروگراف واحد: هر حوضه می تواند بینهایت هیدروگراف واحد بر اساس زمان تداوم آن داشته باشد.

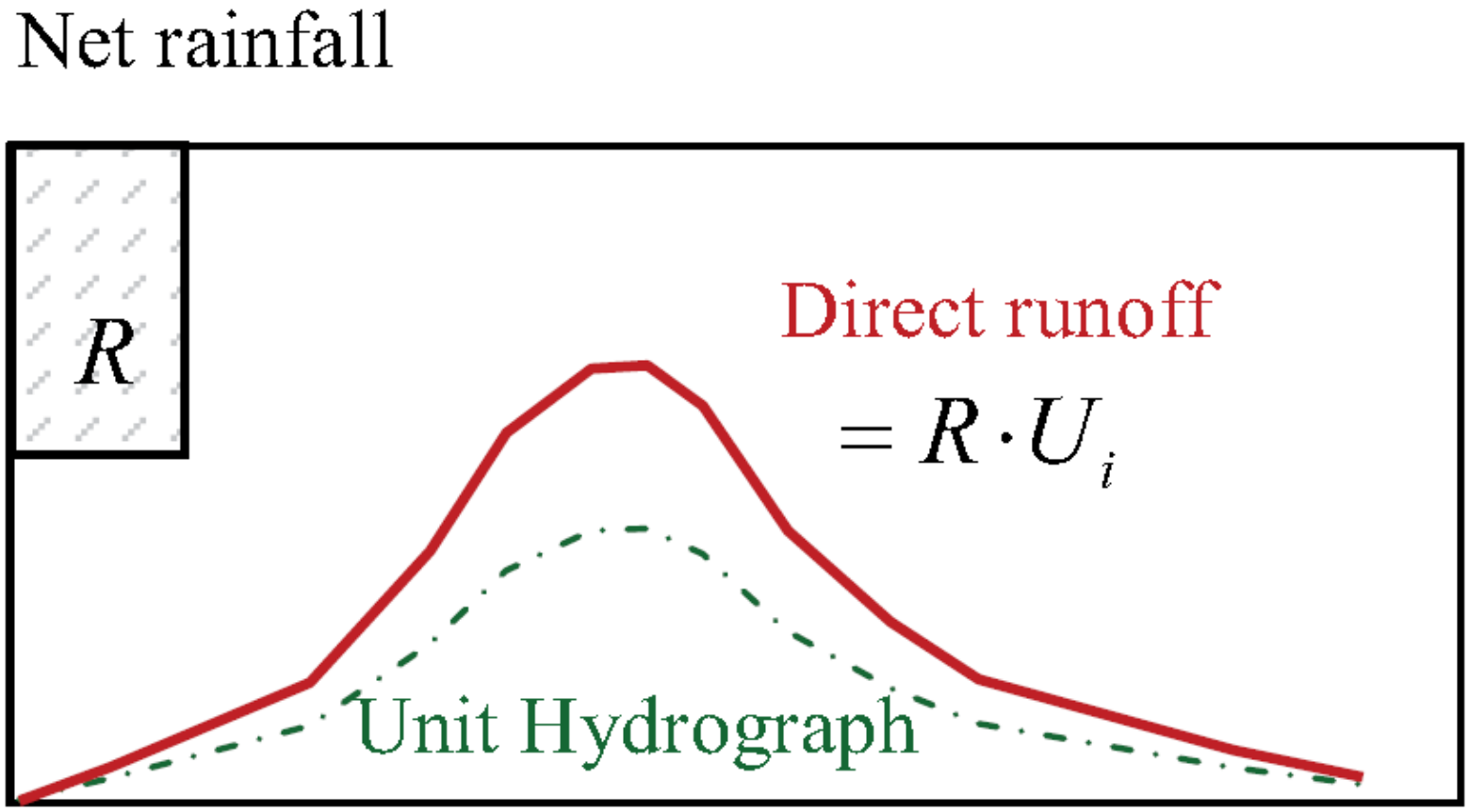


- هیدروگراف واحد ۱ ساعته
- هیدروگراف واحد ۲ ساعته
- هیدروگراف واحد ۶ ساعته و ...

فرضیات که بر اساس آن تئوری هیدروگراف واحد بنا شده عبارتند از:

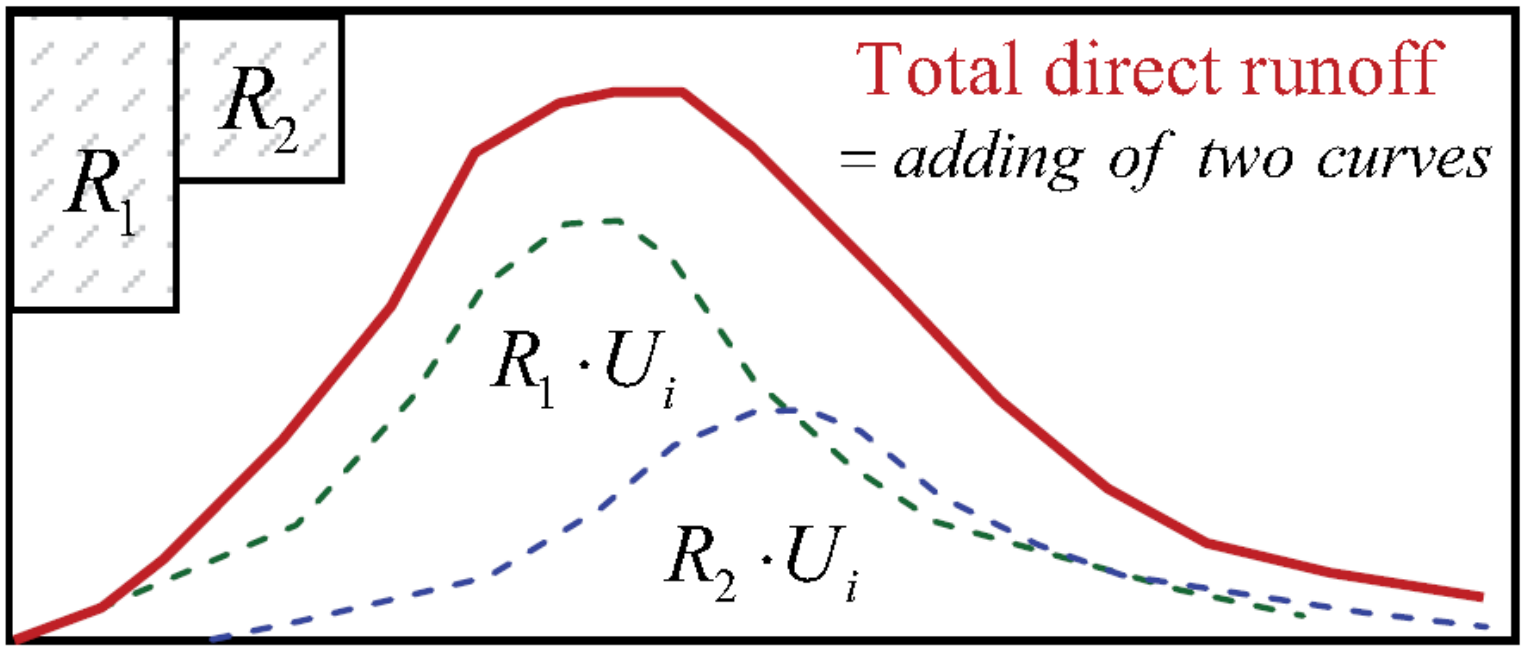
- **بارش موثر در طول مدت بارندگی یکنواخت است.**
- **بارش موثر در تمامی سطح حوضه بطور یکنواخت باریده است**
- **زمان پایه هیدروگراف واحد tساعته برای یک حوضه‌ی آبریز ثابت است.**
- **اصل جمع‌پذیری در رابطه با جمع کردن دبی هیدروگراف‌های واحد با زمان تداوم بارندگی یکسان صادق است.**
- **اصل تناسب‌پذیری در رابطه با دبی‌های هیدروگراف‌های واحد صادق است.**
- **برای یک حوضه آبریز مشخص، هیدروگراف واحد t ساعته جزء خصوصیات تغییر ناپذیر حوضه نسبت به زمان است. لذا اگر مشخصات حوزه آبریز همانند کاربری اراضی، نوع پوشش گیاهی و ... تغییر نکند، هیدروگراف واحد t ساعته هم ثابت می‌ماند.**

اصل تناسب‌پذیری



اصل جمع پذیری

Net rainfall



Superposition

استخراج هیدروگراف واحد

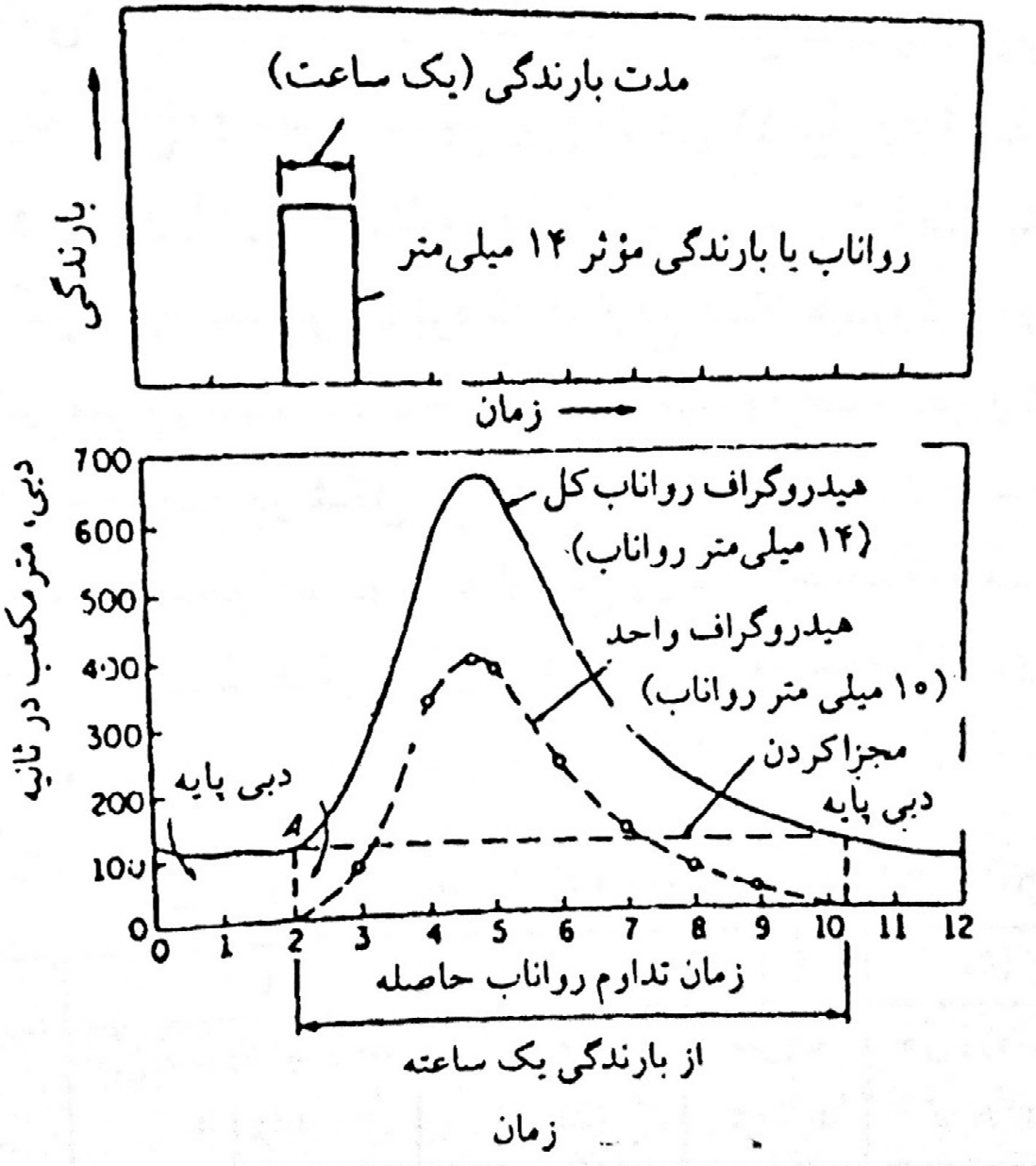
- با استفاده از هیدروگراف سیل مربوط به یک بارش مشخص t ساعته می توان حجم و ارتفاع سیلاب را تعیین و بر اساس آن هیدروگراف واحد t ساعته را به دست آورد.

- به عنوان مثال فرض کنید بارانی به مدت یک ساعت روی حوضه ای به وقوع پیوسته و همزمان دبی رودخانه نیز در زمانهای مختلف یادداشت شده است. جدول بعدی ارقام مربوط به دبی رودخانه و دبی پایه رودخانه را نشان می دهد. اگر فرض کنیم ارتفاع رواناب در این حوضه ۱۴ میلی متر باشد، می توان دبی هیدروگراف واحد یک ساعته را به شرح جدول به دست آورد:

تعیین ابعاد هیدروگراف واحد یک ساعته حوضه

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
زمان hr	دبی رودخانه m^3/sec	دبی‌پایه m^3/sec	رواناب مستقیم (2)-(3)	دبی هیدروگراف واحد (4):1.4	زمان از شروع هیدروگراف واحد
1	110	110	0	0	
2	122	122	0	0	0
3	230	120	110	78.7	1
4	578	118	460	328	2
5	645	115	530	379	3
6	434	114	320	229	4
7	293	113	180	129	5
8	202	112	90	64.2	6
9	160	110	50	35.7	7
10	117	105	12	8.6	8
11	90	90	0	0	9
12	80	80	0		

استخراج هیدروگراف واحد



- با مشخص شدن هیدروگراف واحد، می توان هیدروگراف سیلاب ناشی از هر بارش t ساعته را نیز به دست آورد.

- به عنوان مثال، اگر بارش یک ساعته ای در حوضه مثال قبل ببارد و ارتفاع بارش ۴۲ میلی متر و ضریب رواناب ۰/۴۵ باشد، می خواهیم هیدروگراف رواناب این بارش را به دست آوریم.

P=42 mm C=0.45

R=C.P

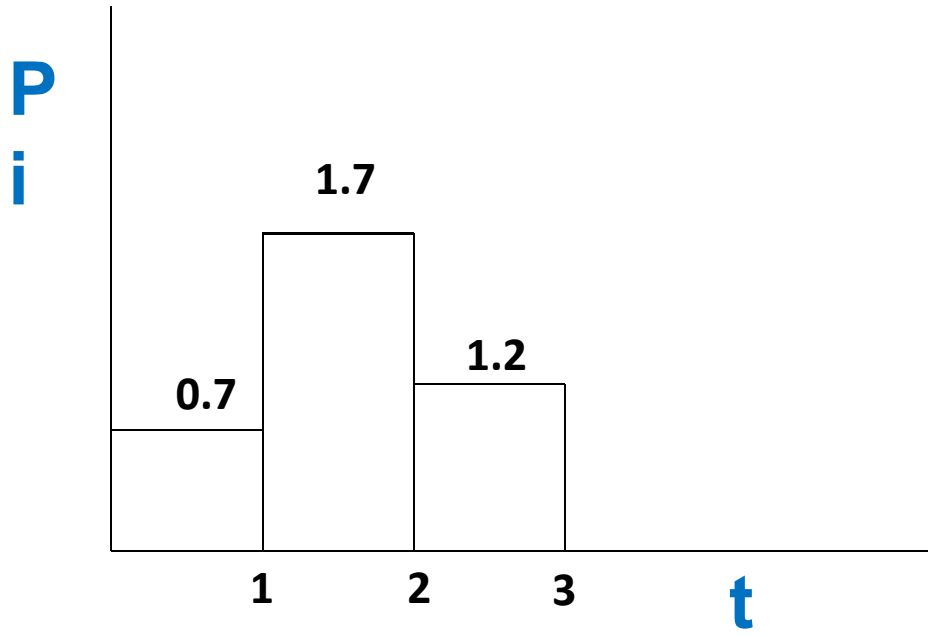
R=42*0.45=18.9 mm

تهیه هیدروگراف رواناب بارش از هیدروگراف واحد

(1)	(2)	(3) = (2) × 1.89
زمان hr	دبی هیدروگراف واحد m^3/sec	دبی هیدروگراف طرح m^3/sec
0	0	0
1	78.7	148.6
2	328	619.92
3	379	716.31
4	229	432.81
5	129	243.81
6	64.2	121.33
7	35.7	67.47
8	8.6	16.25
9	0	0

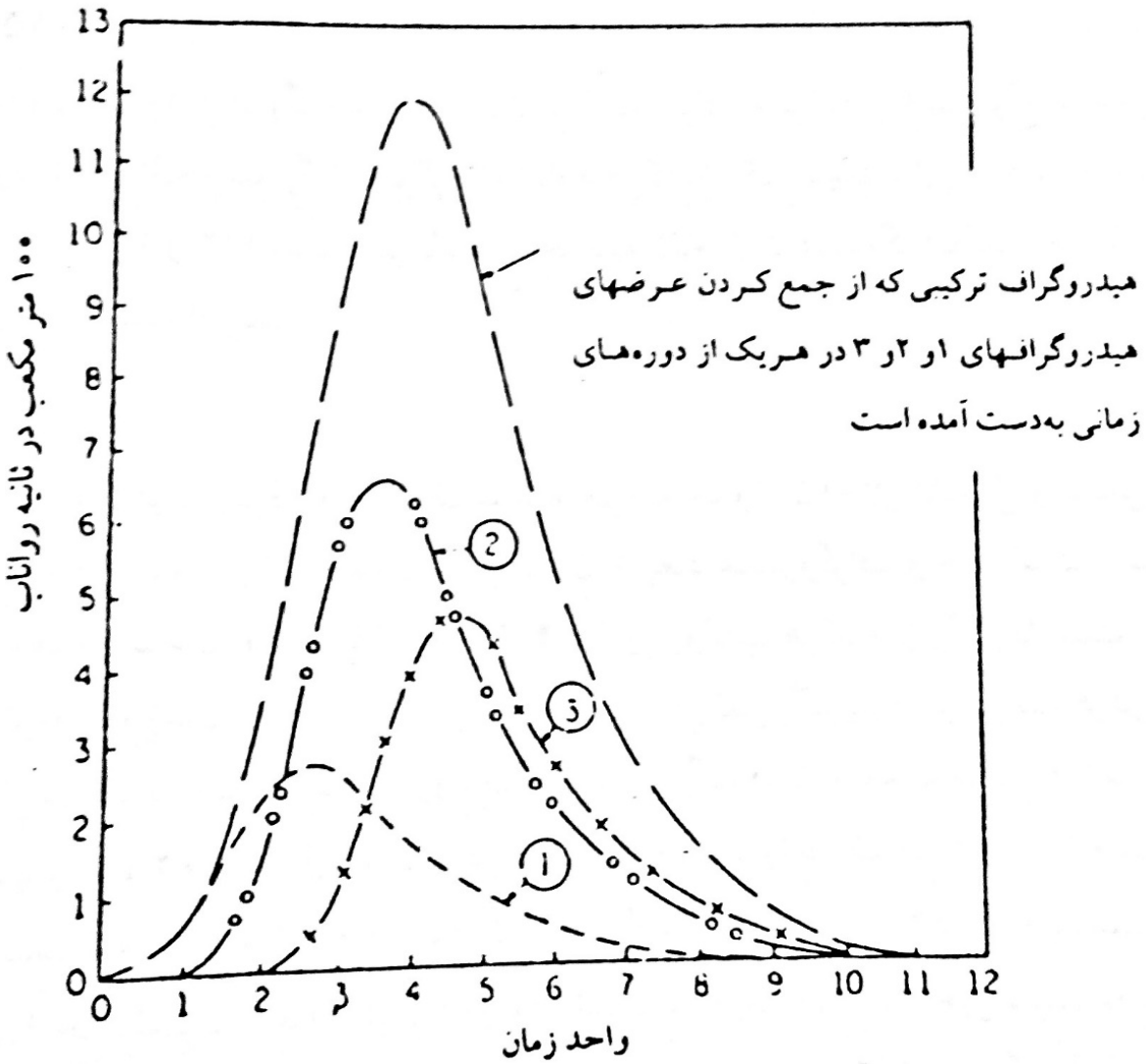
مثال:

هیدروگراف واحد یک ساعته حوضه آبریزی استخراج شده است. اگر سه رگبار متوالی که تداوم هر کدام یک ساعت ولی مقاویر رواناب آنها به ترتیب ۰/۷ و ۱/۷ و ۱/۲ سانتی متر باشد، در این حوضه اتفاق بیفتد هیدروگراف حاصل از این سه رگبار را به دست آورید.



جدول محاسبات هیدروگراف مجموع سه رگبار

				عرض نقاط هیدروگراف برای بارانهای ۱ و ۲ و ۳ و مجموع			
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)
زمان	ابعاد هیدروگراف واحد	شماره رگبار	رواناب مؤثر	باران ۱	باران ۲	باران ۳	مجموع
0	0			0			0
1	78.7	1	0.7	55	0		55
2	328	2	1.7	229	133.8	0	362.8
3	379	3	1.2	265	557.6	94.4	917.0
4	229			160	644	393.6	1197.6
5	129			90.5	389.3	454.8	934.6
6	64.2			44.9	219.3	274.8	539.0
7	35.7			24.8	109.1	154.8	288.7
8	8.6			6	60.7	77	143.7
9	0			0	14.6	42.8	57.4
					0	10.3	10.3



ترکیب هیدروگراف های حاصل از هیدروگراف واحد به روش نموداری

مثال:

هیدروگراف واحد ۶ ساعته حوضه آبریزی برای یک سانتی متر بارش موثر در جدول زیر آمده است. مطلوب است محاسبه و ترسیم هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از بارش ۶ ساعته با ارتفاع بارش موثر ۳/۵ سانتی متری در این حوضه

جدول ۸ـ۶ هیدروگراف واحد ۶ ساعته

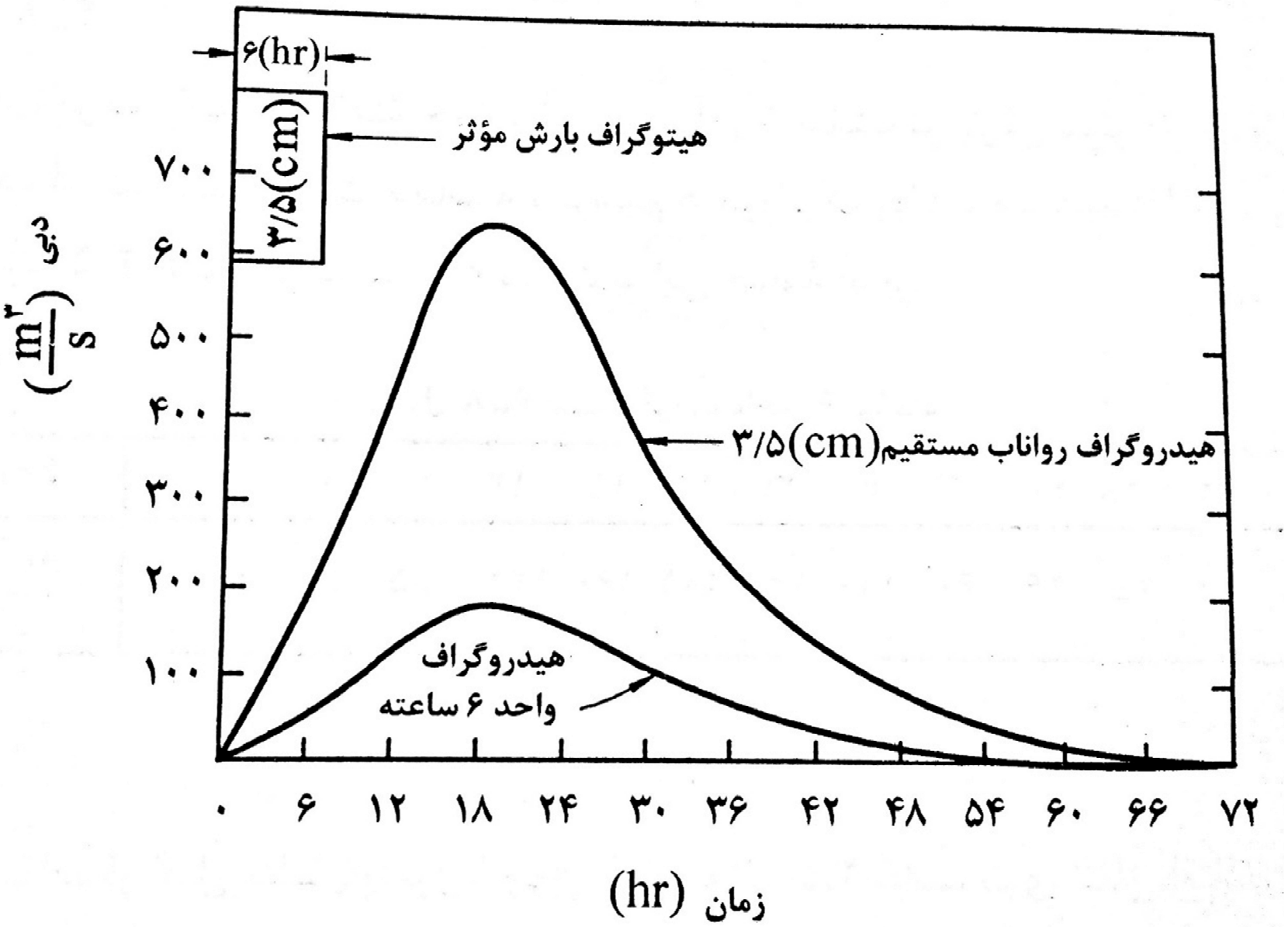
زمان (hr)	۰	۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۴	۳۰	۳۶	۴۲	۴۸	۵۴	۶۰	۶۹
دبی $(\frac{m^3}{s})$	۰	۲۵	۵۰	۸۵	۱۲۵	۱۶۰	۱۸۵	۱۶۰	۱۱۰	۶۰	۳۶	۲۵	۱۶	۸	۰

حل:

چون بارش موثر ۳/۵ سانتی متری با زمان تداوم مشابه با هیدروگراف واحد در حوضه رخ داده است، دبی هیدروگراف این بارش ۳/۵ برابر دبی هیدروگراف واحد است.

جدول ۸ـ۷ هیدروگراف رواناب مستقیم (DRH)

زمان (hr)	DRH $(\frac{m^3}{s})$
۰	۰
۳	۸۷/۵
۶	۱۷۵
۹	۲۹۷/۵
۱۲	۴۳۷/۵
۱۵	۵۶۰
۱۸	۶۴۷/۵
۲۴	۵۶۰
۳۰	۳۸۵
۳۶	۲۱۰
۴۲	۱۲۶
۴۸	۸۷/۵
۵۴	۵۶
۶۰	۲۸
۶۹	۰


۶(hr)
۳/۵(cm)
هیتوگراف بارش مؤثر
۷۰۰
۶۰۰
۵۰۰
۴۰۰
۳۰۰
۲۰۰
۱۰۰
دبی $(\frac{m^3}{s})$
هیدروگراف رواناب مستقیم ۳/۵(cm)
هیدروگراف
واحد ۶ ساعته
۰ ۶ ۱۲ ۱۸ ۲۴ ۳۰ ۳۶ ۴۲ ۴۸ ۵۴ ۶۰ ۶۶ ۷۲
زمان (hr)

مثال:

اگر هیدروگراف واحد ۶ ساعتهٔ حوضه‌ای مطابق مثال قبل باشد، مطلوب است محاسبه و ترسیم هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از بارش مؤثری به مدت ۱۲ ساعت که در ۶ ساعت اول ۳ سانتیمتر بارش مؤثر و در ۶ ساعت دوم ۲ سانتیمتر بارش مؤثر داشته است.

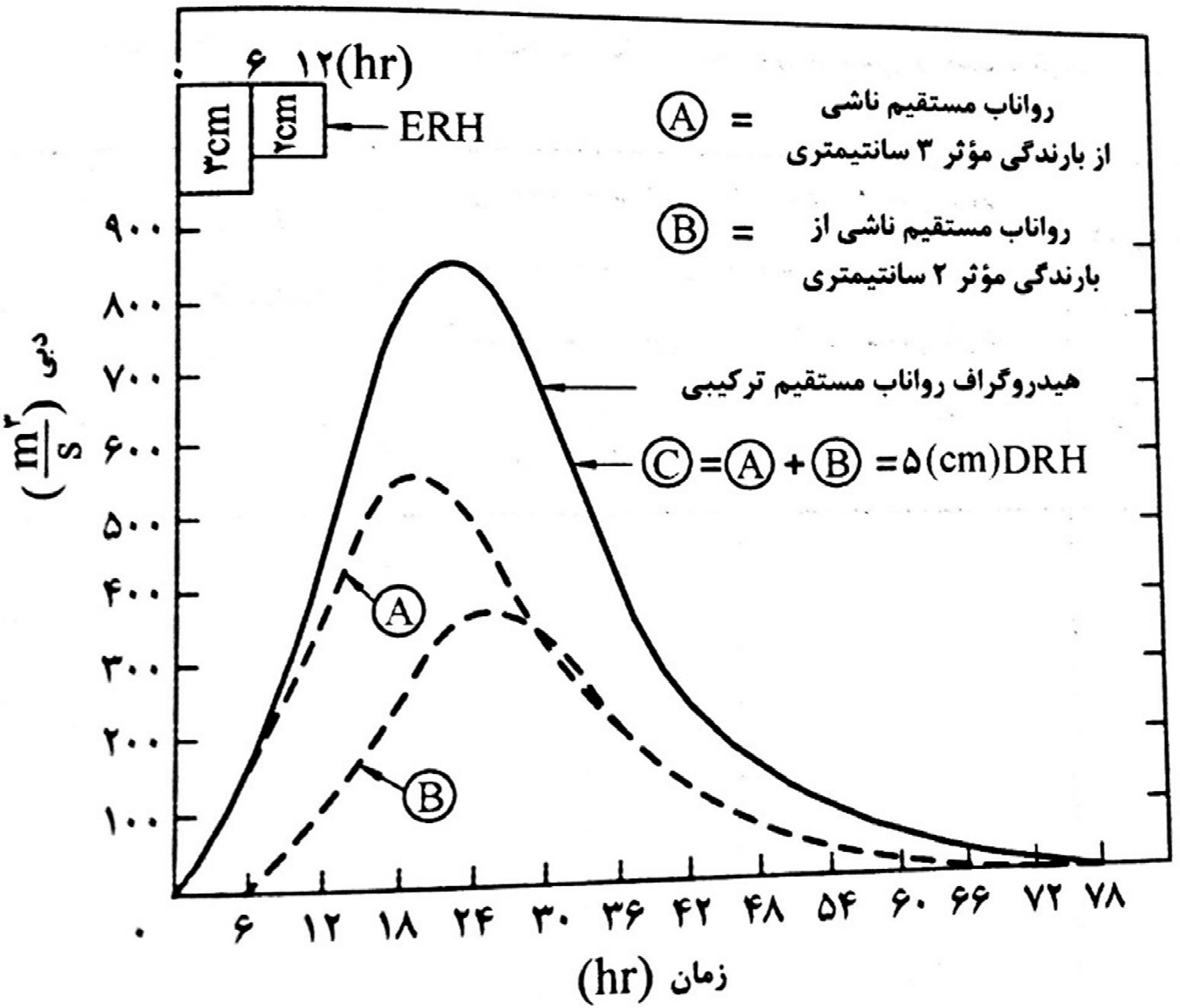
حل:

با استفاده از اصل تناسب‌پذیری می‌توان مطابق جدول ۸ـ۸ مقادیر هیدروگراف رواناب مستقیم را برای بارش‌های مؤثر ۳ و ۲ سانتیمتر با تداوم ۶ ساعت به دست آورد. سپس با استفاده از اصل جمع‌پذیری برای هیدروگراف ترکیبی با اعمال زمان تأخیر ۶ ساعته برای هیدروگراف دوم، نظیر به نظیر دبی را برای هر زمان از دو هیدروگراف جمع می‌کنیم. لذا هیدروگراف رواناب مستقیم کلی مطابق جدول ۸ـ۸ یا شکل ۸ـ۱۵ به دست می‌آید.

جدول ۸ـ۸ محاسبهٔ هیدروگراف رواناب مستقیم ترکیبی از هیدروگراف واحد

زمان (hr)	دبی هیدروگراف واحد ۶ ساعته $(\frac{m^3}{s})$	دبی هیدروگراف رواناب مستقیم برای ۳ سانتیمتر بارش مؤثر $(\frac{m^3}{s})$	دبی هیدروگراف رواناب مستقیم برای ۲ سانتیمتر بارش مؤثر $(\frac{m^3}{s})$	دبی هیدروگراف رواناب مستقیم ترکیبی $(\frac{m^3}{s})$
۰	۰	۰	۰	۰
۳	۲۵	۷۵	۰	۷۵
۶	۵۰	۱۵۰	۰	۱۵۰
۹	۸۵	۲۵۵	۵۰	۳۰۵
۱۲	۱۲۵	۳۷۵	۱۰۰	۴۷۵
۱۵	۱۶۰	۴۸۰	۱۷۰	۶۵۰
۱۸	۱۸۵	۵۵۵	۲۵۰	۸۰۵
*(۲۱)	(۱۷۲/۵)	(۵۱۷/۵)	(۳۲۰)	(۸۳۷/۵)
۲۴	۱۶۰	۴۸۰	۳۷۰	۸۵۰
۳۰	۱۱۰	۳۳۰	۳۲۰	۶۵۰
۳۶	۶۰	۱۸۰	۲۲۰	۴۰۰
۴۲	۳۶	۱۰۸	۱۲۰	۲۲۸
۴۸	۲۵	۷۵	۷۲	۱۴۷
۵۴	۱۶	۴۸	۵۰	۹۸
۶۰	۸	۲۴	۳۲	۵۶
(۶۶)	(۲/۷)	(۸/۱)	(۱۶)	(۲۴/۱)
۶۹	۰	۰	(۱۰/۶)	(۱۰/۶)
۷۵	۰	۰	۰	۰

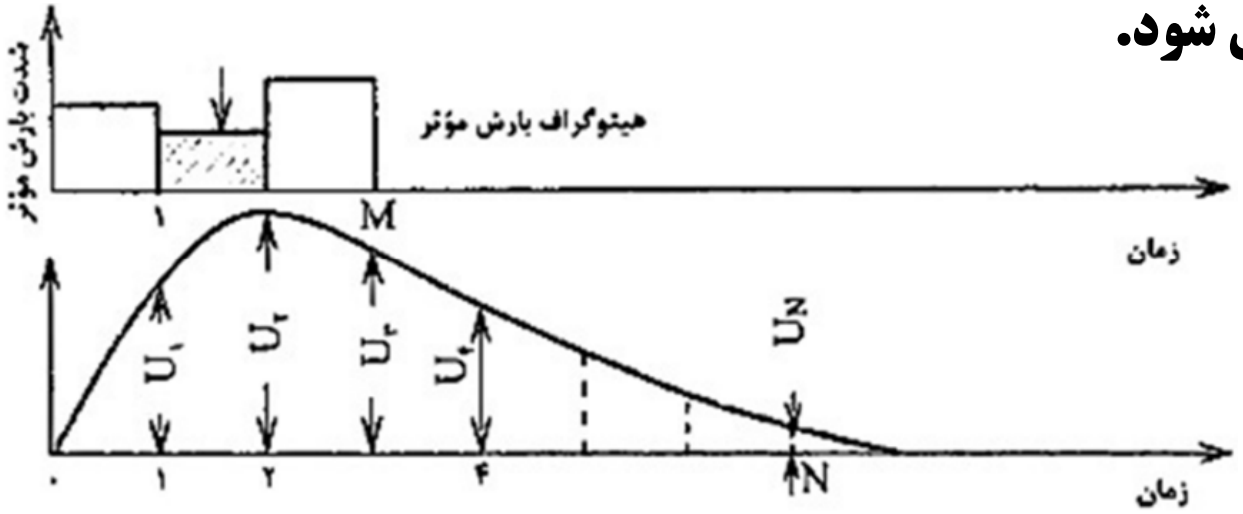
* مقادیر داخل پرانتز با درون‌یابی خطی به دست آمده است.



هیدروگراف رواناب مستقیم بارش ۱۲ ساعته

معادله پیچشی:

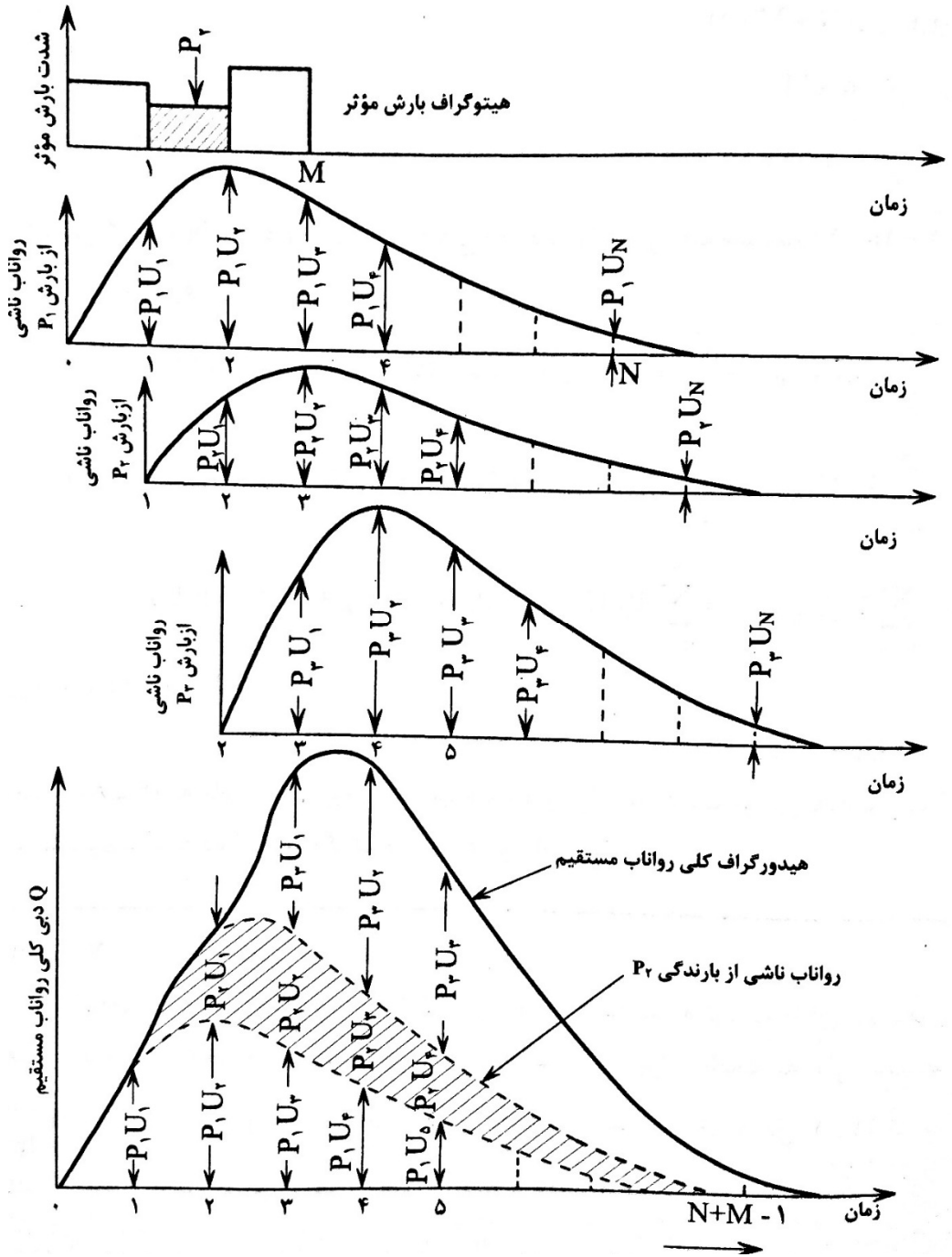
- **برای بدست آوردن یک هیدروگراف رواناب برای بارش دلخواه از معادله پیچشی استفاده می شود.**



- **هیتوگراف بارش مؤثر با بازه های زمانی** D **و مجموع زمان** MD
- **هیدروگراف واحد با دبی های هیدروگراف واحد** U1 **تا** UN **و تداوم مشخص** (N+1)D

با توجه به هیتوگراف بارش مؤثر: برای هر شدت بارش I_m و بازه زمانی D، عمق بارش برابر است با $P_m = I_m D$ که I_m شدت بارش در آن بازه است.

نمایش گرافیکی معادله پیچشی:



- به عنوان مثال با فرض: تعداد بازه های بارش مؤثر: M=3 تعداد دبی های غیرصفر هیدروگراف واحد N=6 تعداد دبی های هیدروگراف رواناب مستقیم برابر است با: N+M-1=8

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ Q_7 \\ Q_8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & P_2 & P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_3 & P_2 & P_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_3 & P_2 & P_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_3 & P_2 & P_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_3 & P_2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \end{bmatrix}$$

- **برای بدست اوردن دبی رواناب مستقیم رابطه ماتریسی زیر را بین دبی های هیدروگراف رواناب مستقیم ، مقادیر بارش و دبی های هیدروگراف واحد نوشت:**

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \\ Q_5 \\ Q_6 \\ \vdots \\ Q_{N+M-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_M & \vdots & P_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & P_M & \vdots & P_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_M & \vdots & P_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & P_M & \vdots & P_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_M & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ \vdots \\ U_N \end{bmatrix}$$

مثال:

هیتوگراف بارندگی روی حوضه‌ای با گام‌های زمانی ۶ ساعته به ترتیب دارای شدت‌های ۰/۵۸۳، ۱/۲۵ و ۰/۹۱۷ سانتیمتر در ساعت است. اگر میزان تلفات به طور متوسط $\Phi = ۰/۲۵(\frac{cm}{hr})$ باشد و هیدروگراف واحد ۶ ساعته حوضه مطابق جدول ۸ ـ۱۲ باشد، مطلوب است محاسبه هیدروگراف رواناب مستقیم و هیدروگراف کلی جریان، با فرض جریان پایهٔ $۱۵(\frac{m^3}{s})$ در ابتدا و افزایش یکنواخت $۲(\frac{m^3}{s})$ در هر ۱۲ ساعت تا انتهای هیدروگراف کلی جریان.

هیتوگراف بارش موثر

فواصل زمانی (hr)	۶ ساعت اول	۶ ساعت دوم	۶ ساعت سوم
بارش کل (cm)	۳/۵	۷/۵	۵/۵
تلفات (cm)	۱/۵	۱/۵	۱/۵
بارش مؤثر (cm)	۲/۰	۶/۰	۴/۰

هیدروگراف واحد ۶ ساعته حوضه

زمان (hr)	دبی $(\frac{m^3}{s})$
۰	۰
۳	۲۵
۶	۵۰
۹	۸۵
۱۲	۱۲۵
۱۵	۱۶۰
۱۸	۱۸۵
۲۱	۱۷۲/۵
۲۴	۱۶۰
۲۷	۱۳۵
۳۰	۱۱۰
۳۶	۶۰
۴۲	۳۶
۴۸	۲۵
۵۴	۱۶
۶۰	۸
۶۶	۲/۷
۶۹	۰

هیدروگراف رواناب مستقیم و هیدروگراف کلی جریان با استفاده از معادله پیچشی

زمان (hr)	دبی هیدروگراف واحد ($\frac{m^3}{s}$)	۲ ×(ارقام ستون ۲)	۶× (ارقام ستون ۲) (با ۶ ساعت تأخیر)	۴ × (ارقام ستون ۲) (با ۱۲ ساعت تأخیر)	هیدروگراف رواناب مستقیم ($\frac{m^3}{s}$)	دبی جریان پایه ($\frac{m^3}{s}$)	هیدروگراف کلی جریان ($\frac{m^3}{s}$)
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۵	۱۵
۳	۲۵	۵۰	۰	۰	۵۰	۱۵	۶۵
۶	۵۰	۱۰۰	۰	۰	۱۰۰	۱۵	۱۱۵
۹	۸۵	۱۷۰	۱۵۰	۰	۳۲۰	۱۵	۳۳۵
۱۲	۱۲۵	۲۵۰	۳۰۰	۰	۵۵۰	۱۷	۵۶۷
۱۵	۱۶۰	۳۲۰	۵۱۰	۱۰۰	۹۳۰	۱۷	۹۴۷
۱۸	۱۸۵	۳۷۰	۷۵۰	۲۰۰	۱۳۲۰	۱۷	۱۳۳۷
۲۱	۱۷۲/۵	۳۴۵	۹۶۰	۳۴۰	۱۶۴۵	۱۷	۱۶۶۲
۲۴	۱۶۰	۳۲۰	۱۱۱۰	۵۰۰	۱۹۳۰	۱۹	۱۹۴۹
۲۷	۱۳۵	۲۷۰	۱۰۳۵	۶۴۰	۱۹۴۵	۱۹	۱۹۶۴
۳۰	۱۱۰	۲۲۰	۹۶۰	۷۴۰	۱۹۲۰	۱۹	۱۹۳۹
۳۶	۶۰	۱۲۰	۶۶۰	۶۴۰	۱۴۲۰	۲۱	۱۴۴۱
۴۲	۳۶	۷۲	۳۶۰	۴۴۰	۸۷۲	۲۱	۸۹۳
۴۸	۲۵	۵۰	۲۱۶	۲۴۰	۵۰۶	۲۳	۵۲۹
۵۴	۱۶	۳۲	۱۵۰	۱۴۴	۳۲۶	۲۳	۳۴۹
۶۰	۸	۱۶	۹۶	۱۰۰	۲۱۲	۲۵	۲۳۷
۶۶	۲/۷	۵/۴	۴۸	۶۴	۱۱۷	۲۵	۱۴۲
۶۹	۰	۰	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ
۷۲		۰	۱۶	۳۲	۴۸	۲۷	۷۵
۷۵		۰	۰	ــــ	ــــ	ــــ	ــــ
۷۸		۰	۰	۱۰/۸	۱۰/۸	۲۷	۴۹
۸۱		۰		۰	۰	۲۹	۲۹
۸۴						۲۹	۲۹

استخراج هیدروگراف واحد بلند مدت از هیدروگراف واحد کوتاه مدت

- استخراج هیدروگراف واحد بارش nt ساعته از هیدروگراف واحد t ساعته حوضه

(n عدد صحیح است)

به عنوان مثال:

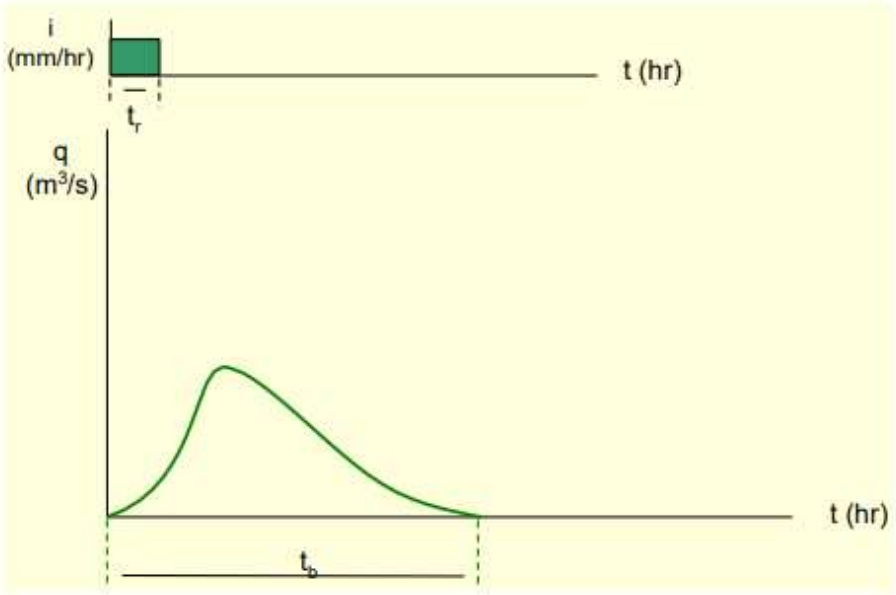
- استخراج هیدروگراف واحد ۴ ساعته از هیدروگراف واحد ۲ ساعته

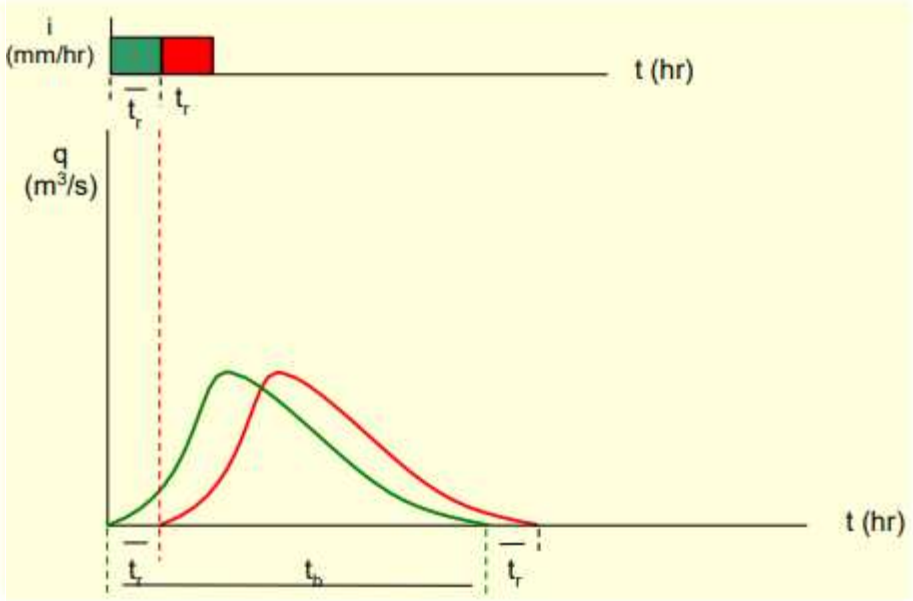
- استخراج هیدروگراف واحد ۳ ساعته از هیدروگراف واحد ۱ ساعته حوضه

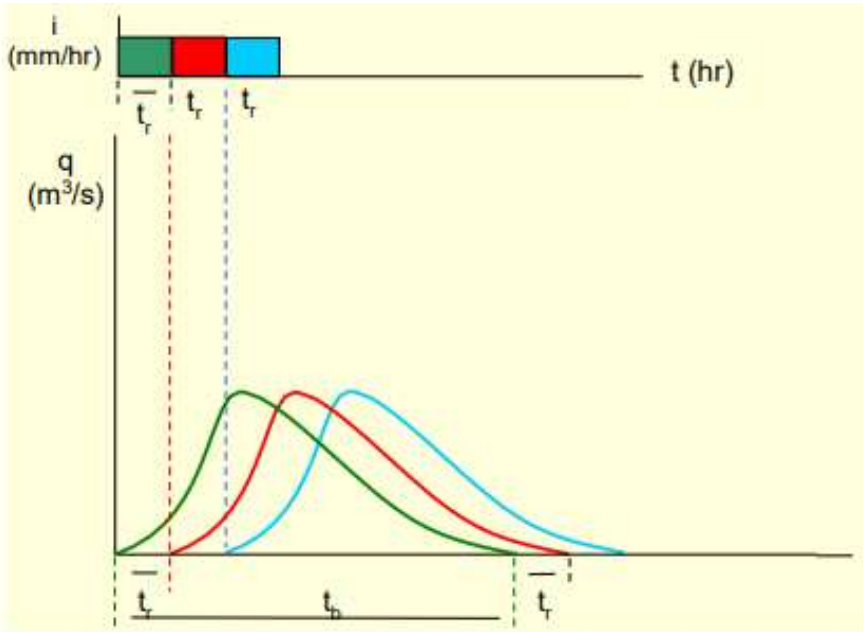
استخراج هیدروگراف واحد کوتاه مدت از هیدروگراف واحد بلند مدت

- ساخت هیدروگراف مجموع با استفاده از هیدروگراف واحد D ساعته و تبدیل آن به مدت زمان مورد نظر D' ساعته
- منحنی S یا منحنی مجموع از جمع کردن پشت سر هم دنباله ای از هیدروگرافهای واحد D ساعته تکراری که هر کدام به اندازه زمان D با قبلی تأخیر دارند بدست می آید.

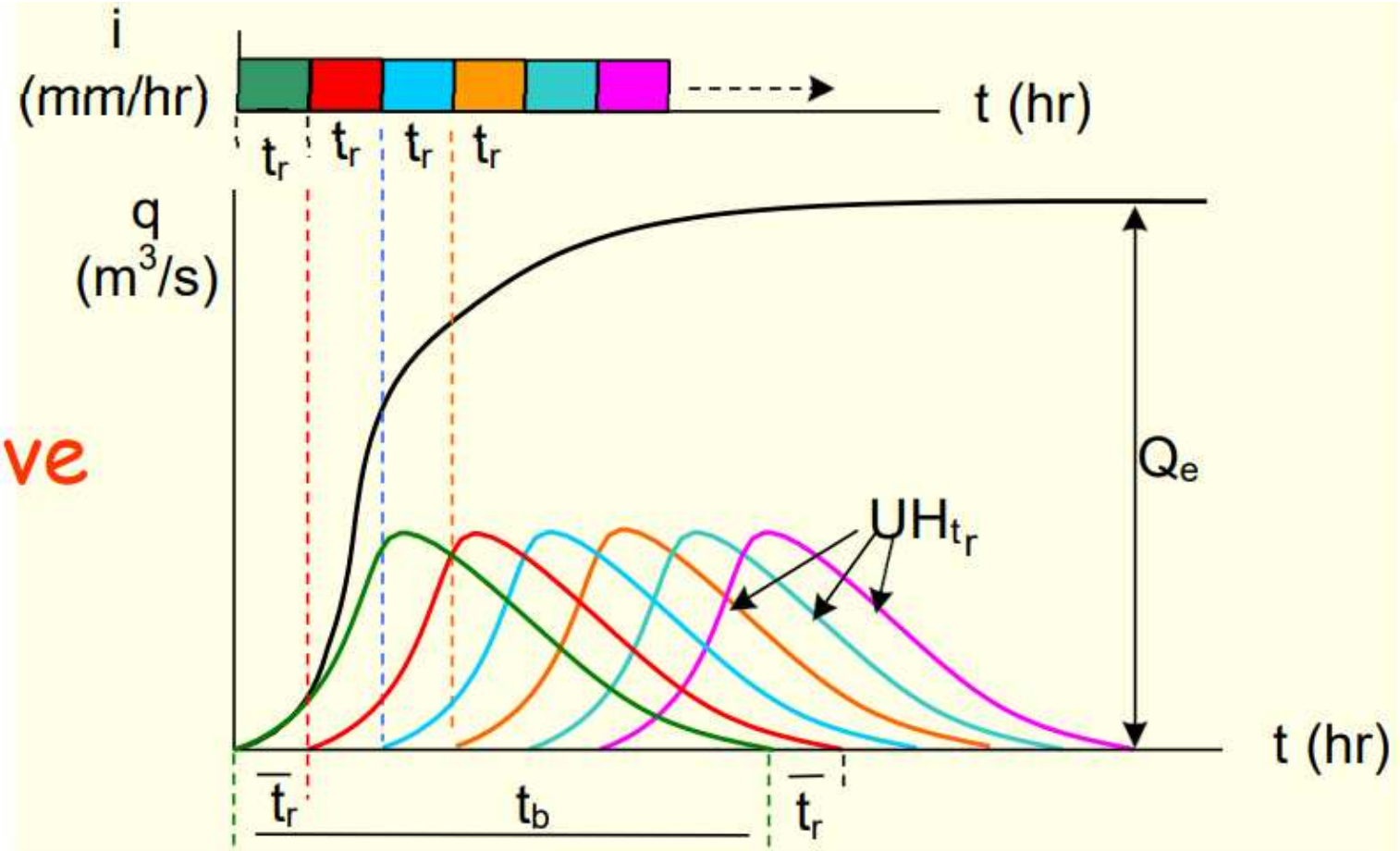
- D' می تواند بزرگتر یا کوچکتر از D باشد.


i
(mm/hr)
t (hr)
t_r
q
(m^3/s)
t (hr)
t_b


i
(mm/hr)
t (hr)
t_r
t_r
q
(m^3/s)
t (hr)
t_r
t_b
t_r


i
(mm/hr)
t (hr)
t_r
t_r
t_r
q
(m^3/s)
t_r
t_b
t_r

S - curve



$$n = t_b/t_r$$

$Q_e = i * A$ (mm/hr * km^2)

$Q_e = d/t_r * A = 1/t_r * A$

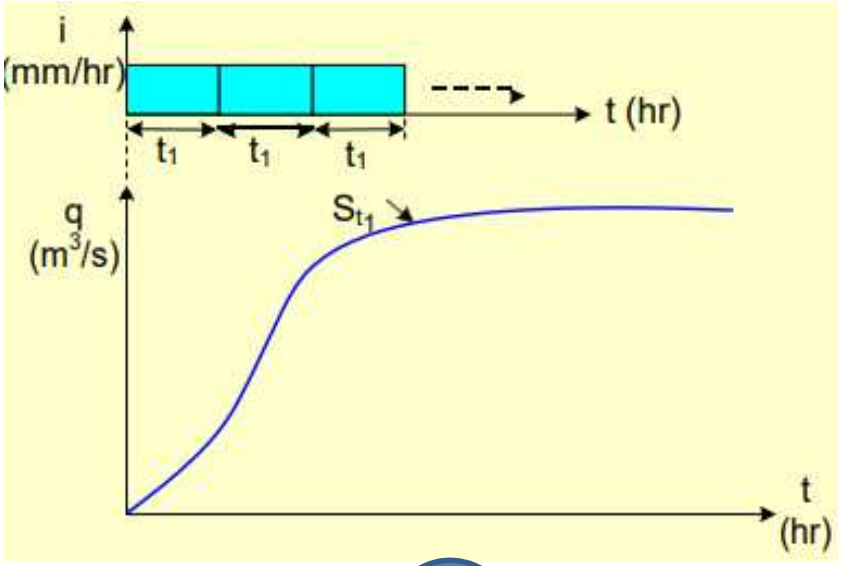
(d= 1 cm)

$$Q_e = 2.78 \frac{A}{t_r}$$

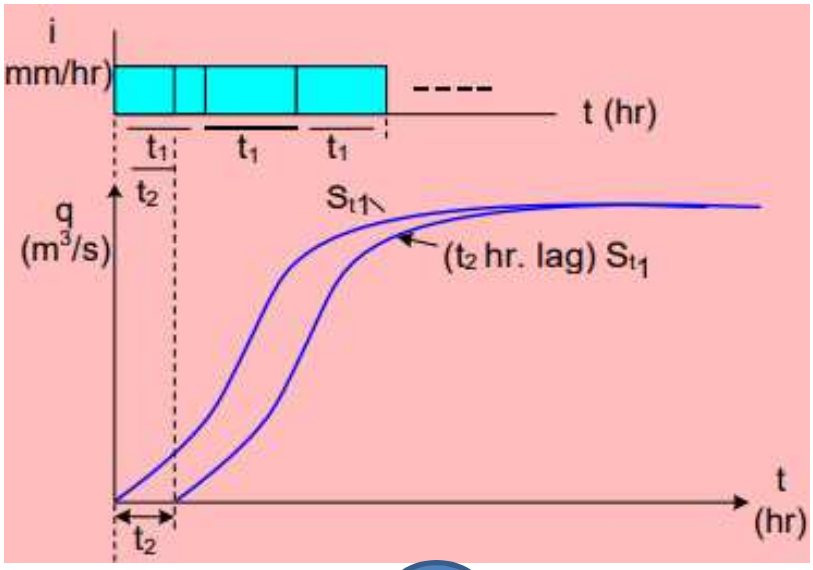
Q_e = constant outflow (m^3/s)

A = area of basin (km^2)

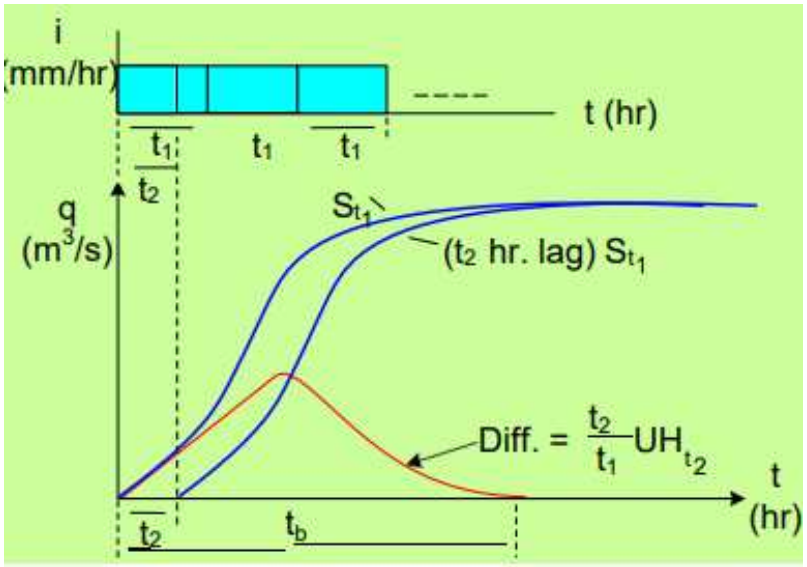
t_r = duratio of UH (hr)


i
(mm/hr)
t (hr)
t1
t1
t1
q
(m3/s)
St1
t
(hr)

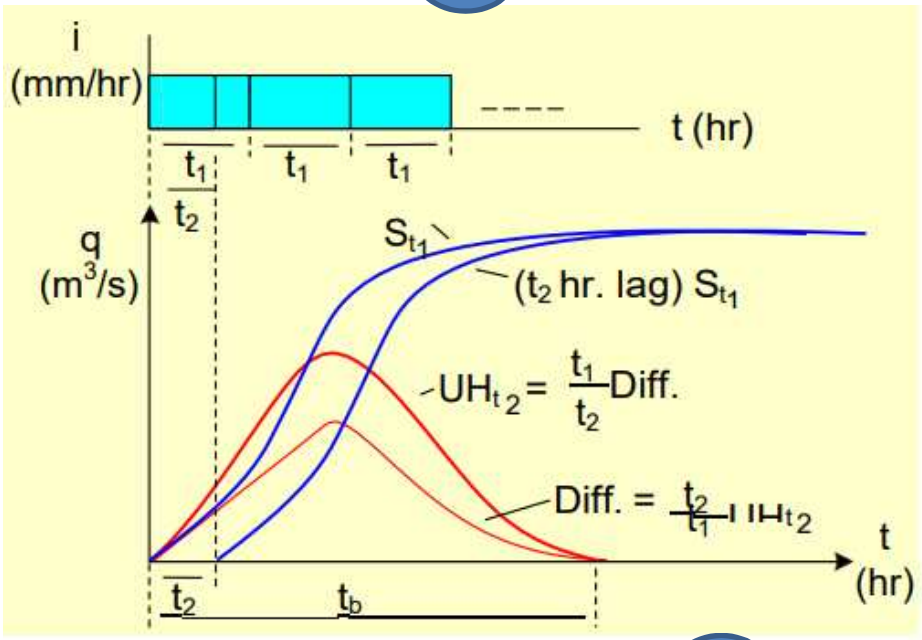
1


i
mm/hr)
t (hr)
t1
t1
t1
t2
q
(m3/s)
St1
(t2 hr. lag) St1
t
(hr)
t2

2

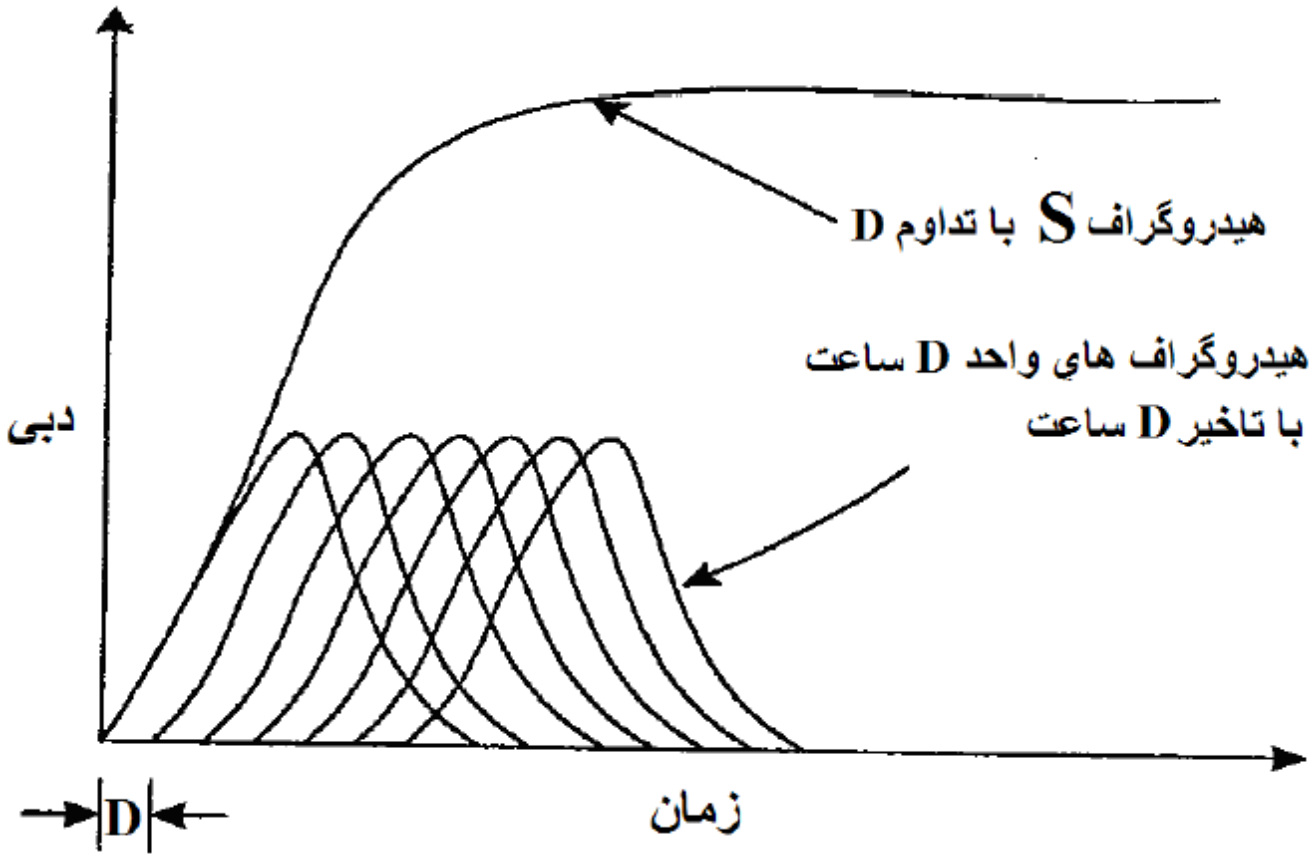

i
(mm/hr)
t (hr)
t1
t1
t1
t2
q
(m3/s)
St1
(t2 hr. lag) St1
Diff. = t2/t1 UHt2
t
(hr)
t2
tb

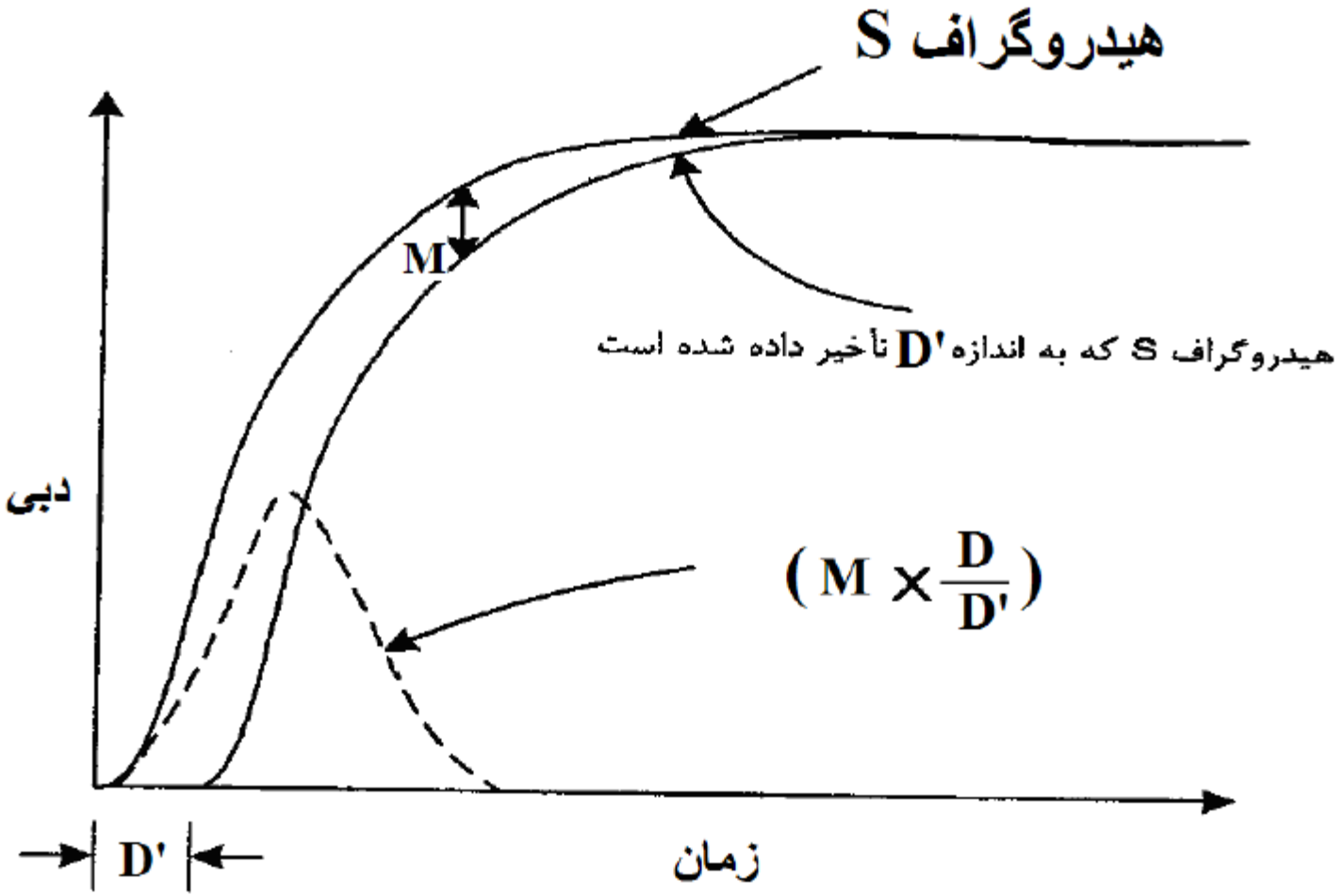
3


i
(mm/hr)
t (hr)
t1
t1
t1
t2
q
(m3/s)
St1
(t2 hr. lag) St1
UHt2 = t1/t2 Diff.
Diff. = t2/t1 UHt2
t
(hr)
t2
tb

4

استخراج هیدروگراف واحد D' ساعته از روی هیدروگراف واحد D ساعته به روش S




هیدروگراف S
M
هیدروگراف S که به اندازه D' تأخیر داده شده است
دبی
$(M \times \frac{D}{D'})$
D'
زمان

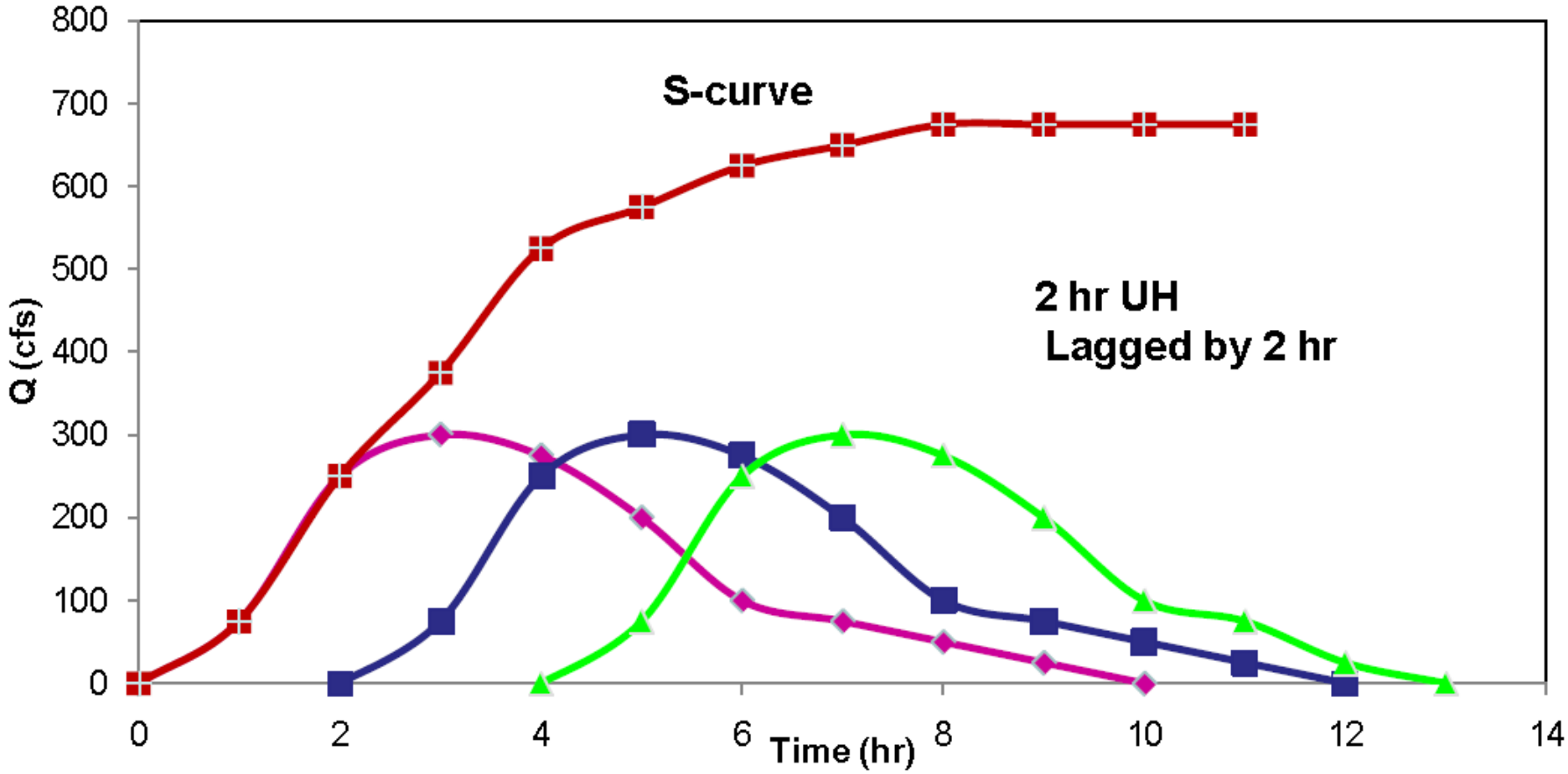
مثال: هیدروگراف واحد دو ساعته حوضه ای در جدول زیر نشان داده است. مطلوب است تعیین هیدروگراف واحد ۳ ساعته حوضه

Time (hr)	2-hr UH ordinate (cfs)
0	0
1	75
2	250
3	300
4	275
5	200
6	100
7	75
8	50
9	25
10	0

راه حل: هیدروگراف S مطابق جدول زیر با ترکیب یک سری هیدروگرافهای ۲ ساعته با تاخیر ۲ ساعت به دست می اید.

Time (hr)	2-hr UH	2-HR lagged UH's					Sum
0	0						0
1	75						75
2	250	0					250
3	300	75					375
4	275	250	0				525
5	200	300	75				575
6	100	275	250	0			625
7	75	200	300	75			650
8	50	100	275	250	0		675
9	25	75	200	300	75		675
10	0	50	100	275	250	0	675
11		25	75	200	300	75	675

هیدروگراف مجموع



هیدروگراف S به اندازه ۳ ساعت تاخیر داده شده و مطابق جدول زیر تفاضل این دو منحنی به دست می آید و در نهایت هیدروگراف واحد ۳ ساعته استخراج می شود.

Time (hr)	S-curve ordinate	S-curve lagged 3hr	Difference	3-HR UH ordinate
0	0		0	0
1	75		75	50
2	250		250	166.7
3	375	0	375	250
4	525	75	450	300
5	575	250	352	216
6	625	375	250	166.7
7	650	525	125	83.3
8	675	575	100	66.7
9	675	625	50	33.3
10	675	650	25	16.7
11	675	675	0	0