سیل طرح

مقدمه
دبی سیل در حوضه‌های فاقد آمار
روش استدلالی
روشهای تجربی
روشهای منحنی پوش
برآوردحداکثردبی سیل با روش SCS
برآوردهیدروگراف‌سیل با روش SCS
تعیین نوع سازه
تعیین زمان تمرکز
تعیین مدت و مقدار باران طرح
انتخاب الگوی زمانی رگبار
محاسبه هایتوگراف طراحی
محاسبه هایتوگراف بارش مازاد
محاسبه هیدورگراف واحد حوضه
برآورد هیدروگراف سیل
دبی سیل در حوضه‌های دارای آمار
مسائل
منابع برای مطالعه بیشتر

۲۰-۱ مقدمه

سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب بصورت غیر منتظره افزایش پیداکرده و باعث خسارات مالی و جانی گردد. خصوصیات سیل‌هایی راکه در یک منطقه اتفاق می‌افتد می‌توان با استفاده از روش‌های گوناگون پیش بینی کرد. برای پیش‌بینی خصوصیات سیل در یک مکان مشخص بهتر این است که تعدادی از سیل‌هایی راکه قبلاً در آن منطقه اتفاق افتاده است اندازه‌گیری و ثبت کرده باشیم تا با تجزیه و تحلیل داده‌های آنها وضعیت سیل‌هایی را که در آینده اتفاق خواهد افتاد پیش بینی کنیم. در طراحی سازه‌های کوچک مانند پلها، آب بندها، خاکریزها و سدهای کوچک تنها دانستن حداکثر دبی لحظه‌ای سیل کفایت می‌کند و نیازی به داشتن هیدروگراف نیست. زیرا این تأسیسات عمدتاً در مقابل حداکثر دبی سیل حساس هستند و شاید حجم سیلاب تأثیر چندانی بر آنها نداشته باشد. ولی در پاره‌ای از تأسیسات آبی علاوه بر حداکثر دبی لحظه‌ای، حجم سیل و سایر خصوصیات آن مانند تداوم سیل نیز حائز اهمیت است. در اینصورت علاوه بر حداکثر دبی سیل لازم خواهد بود هیدروگراف سیل طرح نیز

پیش‌بینی شود. سیلابی را که بر اساس آن طراحی یک سازه آبی انجام و اجرا می‌شود سیل طرح گویند. در انتخاب سیل طرح باید عوامل متعددی را در نظر گرفت که برخی از آنها عبارتند از:

- اهمیت سازه
- مسائل اقتصادی
- اثرات خراب شدن سازه بر مناطق پائین دست
- عمر فنی و اقتصادی سازه
- تراکم جمعیت در نقاط پائین دست (پایاب)
- تاثیر خراب شدن سازه بر تأسیسات نظامی، کشوری و کشاورزی موجود
- وضعیت اجتماعی و رفاهی ساکنین پائین دست.

برای محاسبه سیل طرح چند روش بکار می‌رود که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف - طراحی بر اساس تحلیل فراوانی وقوع سیل‌ها (FBF)

سیلی که بر اساس تحلیل داده‌های موجود و در نظر گرفتن دوره برگشت مشخص (مثلاً ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ ساله) انتخاب گردد سیل بر مبنای دوره برگشت (Frequency Based Flood) یا FBF نامیده می‌شود.

ب - طراحی بر اساس حداکثر سیل محتمل (PMF)

حداکثر سیل محتمل (Probable Maximum Flood) به سیلابی گفته می‌شود که اگر تمام عوامل فیزیکی، هیدرولوژی و هواشناسی دست به دست دهند در یک منطقه امکان وقوع آن وجود داشته باشد. برخی از سازه‌های بزرگ که ریسکی را برای خراب شدن آنها نمی‌توان پذیرفت بر اساس PMF طراحی می‌شوند. در واقع PMF سیلی است که نمی‌توان برای آن دوره برگشتی را قائل شد و لذا عملاً نباید سیلی بزرگتر از آن در منطقه امکان وقوع داشته باشد. قاعدتاً PMF از حداکثر باران محتمل (PMP) ناشی می‌شود.

ج - طراحی بر اساس سیل استاندارد (SPF)

در پاره‌ای موارد که داده‌های بارندگی یا سیل در اختیار نمی‌باشد مناطق مشابه یا استانداردی را که به لحاظ آب و هوائی با منطقه مورد نظر مشابهت دارد انتخاب کرده و سیل طرح را بر اساس خصوصیات آن حوضه و شرایط آب و هوائی آن محل بدست می‌آورند که به آن سیل استاندارد طرح (Standard Project Flood) گفته می‌شود. سیل استاندارد از نظر مقدار حدوداً ۴۰ تا ۶۰ درصد سیل PMF می‌باشد.

د - طراحی بر اساس تحلیل منطقه‌ای سیل

در منطقه مورد مطالعه می‌توان بین برخی خصوصیات حوضه مانند وسعت حوضه (A) یا سایر مشخصه‌های فیزیوگرافی آن و حداکثر دبی لحظه‌ای (Q) یک معادله رگرسیون برقرار گردد. مثلاً اگر فقط وسعت حوضهٔ را که عامل اصلی است در نظر بگیریم چنین معادله‌ای ممکن است

به شکل $Q=CA^n$ باشد که در آن C و n ضرایب ثابتی هستند که بر اساس رگرسیون هر منطقه باید تعیین کرد. بدین ترتیب با داشتن خصوصیات فیزیوگرافی حوضه می‌توان حداکثر دبی لحظه‌ای سیلابهای آن حوضه را پیش بینی کرد.

حال این که برای یک سازه آبی چه روشی را برای بدست آوردن دبی طرح انتخاب کنیم نظرات متفاوت است. گروه مهندسان مشاوره ارتش در آمریکا سازه‌ها را بر حسب اندازه و وسعت حوضه تقسیم بندی کرده و در هر مورد روش خاصی را پیشنهاد نموده‌اند که در جدول ۲۰-۱ ذکر شده است. مثلاً در این جدول مشاهده می‌شود که اگر ارتفاع سدی بیشتر از ۳۰ متر و یا این که گنجایش مخزن آن بیش از ۶۰ میلیون متر مکعب باشد سیلاب طرح باید بر اساس PMF و یا دوره برگشت بیشتر از ۱۰۰۰ سال طراحی شود. اما در حوضه‌ها و سازه‌ها کوچک غالباً از روش‌های ساده‌تر استفاده می‌شود.

جدول ۲۰-۱ طبقه بندی طرحهای آبی از نظر انتخاب سیلاب طرح

سازه	گنجایش مخزن ($M.m^3$)	ارتفاع (m)	اساس سیلاب طرح
بر اساس‌اندازه سازه			
الف- سدهای‌بلند	>60	>30	PMF سیلاب۱۰۰۰ساله یابزرگتر
ب - سدهای‌کوتاه	10-60	12-30	SPF SPS سیلاب ۱۰۰ ساله
ج - سازه‌های کوچک	<10	7.5-12	دوره برگشت ۵۰تا۱۰۰سال روش استدلالی
بر اساس وسعت حوضه			
الف-حوضه‌های کوچک	<250 km^2		هیدروگراف واحد تحلیل منطقه‌ای
ب- حوضه‌های متوسط	250-5000km^2		هیدروگراف واحد تحلیل منطقه‌ای
ج-حوضه‌های بزرگ	>5000 km^2		هیدروگراف واحد تحلیل منطقه‌ای تحلیل فراوانی وقوع

در انتخاب سیل طرح دو حالت ممکن است وجود داشته باشد. یکی این که حوضه فاقد آمار اندازه‌گیری دبی باشد (ungauged catchment) و دیگر آنکه حوضه دارای آمار اندازه‌گیری دبی بوده و مجهز به ایستگاه آب سنجی است (gauged catchment). در حالت اول معمولاً سه روش بکار گرفته می‌شود که عبارتند از:

- روش استدلالی (rational approach)
- معادله‌های تجربی (empirical equations)
- روش منحنی‌های پوش (envelope curves)

در حالت دوم نیز دو روش معمول می‌باشد که عبارتند از:

- روش هیدروگراف واحد (unit hydrograph approach)
- روش تحلیل فراوانی وقایع سیل (flood frequency analysis)

۲۰-۲ دبی سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار

۲۰-۲-۱ روش استدلالی

این روش برای حوضه هائی قابل استفاده است که وسعت آنها از ۱۵ کیلومتر مربع کمتر باشد. در این روش فرض می‌شود بارندگی روی حوضه یکنواخت بوده و مدت بارش مساوی زمان تمرکز (T_c) حوضه باشد. چنانچه شدت بارندگی را معادل i در نظر بگیریم حداکثر دبی لحظه‌ای (Q_p) برابر خواهد بود با:

$$Q_p = 2.78\ C\ i\ A \qquad (۱-۲۰)$$

A= مساحت حوضه (km^2)

C= ضریب رواناب حوضه

i= شدت بارندگی (cm/h)

Q_p= حداکثر دبی سیل (m^3/s)

در روش استدلالی زمان رسیدن به دبی پیک برابر زمان متمرکز است. مثلاً اگر زمان تمرکز در حوضه‌ای ۴۵ دقیقه باشد از شروع بارندگی ۴۵ دقیقه طول خواهد کشید تا دبی سیل به حداکثر برسد، البته با این شرط که مدت بارندگی مساوی یا بزرگتر از زمان تمرکز باشد. هم چنین در این روش فرض می‌شود که شدت بارش از میزان نفوذ آب در خاک بیشتر باشد. آنچه در روش استدلالی حائز اهمیت است انتخاب ضریب رواناب است که مقدار آن بصورت مستقیم دبی سیلاب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هر چند جداولی مانند جدول ۲۰-۲ می‌تواند بعنوان راهنما مورد استفاده قرار گیرد ولی قضاوت شخصی طراح در این زمینه بسیار موثر است. در روش استدلالی برای محاسبه زمان تمرکز غالباً از فرمول کرپیچ استفاده می‌شود که عبارت است از:

$$T_c=0.0003L^{0.77}\,S^{-0.385} \qquad (۲-۲۰)$$

در این فرمول T_c زمان تمرکز (ساعت)، L حداکثر طول مسیر حرکت آب (متر) و S شیب زمین (متر/متر) می‌باشد.

جدول ۲۰-۲ ضریب رواناب در فرمول استدلالی

نوع حوضه آبریز	ضریب رواناب (c)
مناطق مسکونی	
خانه‌های ویلائی	0.3 - 0.5
آپارتمان‌ها	0.5 - 0.70
مناطق صنعتی	
تراکم ضعیف	0.5 - 0.8
تراکم زیاد	0.6 - 0.9
مناطق تجاری	
مرکز شهر	0.7 - 0.95
خارج شهر	0.5 - 0.7
خیابان ها	
آسفالت	0.7 - 0.95
غیر آسفالت	0.25 - 0.35
حوضه‌های آبریز	
خاکهای شنی با شیب کم	0.05
خاکهای شنی با شیب متوسط	0.1 - 0.15
خاکهای شنی با شیب خیلی زیاد	0.15 - 0.20
خاکهای رسی با شیب کم	0.13 - 0.17
خاکهای رسی با شیب متوسط	0.15 - 0.22
خاکهای رسی با شیب زیاد	0.20 - 0.30

● مثال ۲۰-۱

حساب کنید حداکثر دبی طراحی را برای یک طرح جمع آوری آبهای سطحی در مشهد با دوره برگشت ۱۰ سال در قسمتی که وسعت حوضه آن ۳ هکتار و مسیر حرکت آب با شیب ۰/۵ درصد به طول یک کیلومتر می‌باشد.

حل

$A = 3\ ha = 0.03\ Km^2$

$L = 1.0\ km = 1000\ m$

$S = 0.5\% = 0.005$

$T_c = 0.00032\ L^{0.77}\ S^{-0.385}$

$T_c = 0.00032\ (1000)^{0.77}\ (0.005)^{-0.385}$

$T_c = 0.50\ hr = 30\ min$

از روی منحنی‌های شدت - مدت - تناوب بارندگی مشهد که در فصل پنجم ارائه شده است (شکل ۵-۱۳) حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای با دوره برگشت ۱۰ سال برابر ۳۷ میلی‌متر در ساعت بدست می‌آید. لذا:

$i = 37\ mm/h = 3.7\ cm/h$

ضریب C بر اساس جدول ۲۰-۱ برای خیابانها بین ۰/۷ تا ۰/۹۵ است که رقم ۰/۸ را انتخاب می‌کنیم. بنابراین حداکثر دبی سیلاب طراحی ۰/۲۴۷ متر مکعب در ثانیه بدست می‌آید. زیرا:

$Q_p = 2.78\ CiA$

$Q_p = 2.78\ (0.8)\ (3.7)\ (0.03)$

$Q_p = 0.247\ m^3/s$

$Q_p = 247\ lit/s$

بطور خلاصه برای محاسبه دبی طرح با روش استدلالی باید به ترتیب زیر عمل کرد

الف - زمان تمرکز را برای حوضه محاسبه کنید (T_c)

ب - دوره برگشت سیل طراحی را انتخاب کنید (T)

ج - با داشتن زمان تمرکز و دوره برگشت از روی معادله و یا نمودارهای شدت - مدت - تناوب شدت باران با تداوم T_c و دوره برگشت T را بدست آورید.

د - با توجه به سطح حوضه ضریب رواناب را تخمین بزنید

ه - از روی فرمول ۲۰-۱ دبی پیک (Q_p) را محاسبه کنید.

۲۰-۲-۲ روشهای تجربی

بسیار سعی شده است تا حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب در یک منطقه با برخی از خصوصیات فیزیکی حوضه مانند وسعت آن ارتباط داده شود و در این راه فرمول‌های زیادی نیز ارائه شده است اما چون این فرمول‌ها در شرایط خاصی بدست آمده‌اند باید در استفاده از آنها جانب احتیاط را رعایت کرد. پاره‌ای از فرمول‌ها به شرح زیر می‌باشند.

الف – فرمول دیکن (Dicken's formula)

$$Q_p = CA^{0.75} \qquad (۳-۲۰)$$

A وسعت حوضه (Km^2) و C ضریبی است که مقدار آن برای مناطق کوهستانی از ۱۴ تا ۲۸ و برای دشت‌ها از ۲/۸ تا ۵/۶ متغیر است. Q_p دبی سیلاب بر حسب متر مکعب در ثانیه است.

ب – فرمول کریگر (Creager)

$$Q_p = 130(0.386\ A)^{0.894(0.386\ A)^{-0.08}} \qquad (۴-۲۰)$$

ج – فرمول فانینگ (Fanning)

$$Q_p = 2.64\ A^{0.8} \qquad (۵-۲۰)$$

فرمول‌های کریگر و فانینگ در آمریکا و بر اساس آمار حوضه‌های آن کشور ارائه شده است که در آنها A بر حسب کیلومتر مربع و Q_p بر حسب متر مکعب در ثانیه است.

د – فرمول انگلیز (Inglis formula)

$$Q_p = 124\ A\ \mathcal{N}(A + 10.24) \qquad (۶-۲۰)$$

این فرمول برای شرایط هندوستان ارائه شده که در آن نیز A بر حسب کیلومتر مربع و Q_p برحسب متر مکعب در ثانیه است

ه – فرمول کوتان (Coutange formula)

$$Q_p = 150\ A^{0.5} \qquad (۷-۲۰)$$

این فرمول در فرانسه و برای حوضه‌های با وسعت بین ۴۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر مربع پیشنهاد شده است.

و – فرمول مایر (Mayer formula)

$$Q_p = 175\ A^{0.5} \qquad (۸-۲۰)$$

این فرمول در آمریکا و برای حوضه هائی که وسعت آنها از ۱۰ کیلومتر مربع بیشتر باشد پیشنهاد شده است.

ز – فرمول جونگ بهادر (Jung Bahadur formula)

$$Q_p = C(0.3906\ A)^{0.925\ -\ (1/14)\log(0.3906A)} \qquad (۹-۲۰)$$

در این فرمول C بین ۵۰ تا ۶۰ متغیر است. A وسعت حوضه بر حسب Km^2 و Q_p بر حسب m^3/s است.

بطوری که مشاهده می‌شود در این فرمول‌ها هیچ گونه بحثی از این که دبی محاسبه شده بر اساس چه دوره برگشتی است نمی‌باشد ولی در پاره‌ای از فرمول‌های تجربی عامل دوره بازگشت

(T) نیز لحاظ شده است که از آن جمله می‌توان به فرمول‌های زیر اشاره کرد.

الف - فرمول هورتون (Horton)

$$q_p = 71.2\ (T)^{0.25}\ (A)^{-0.5} \qquad (۱۰-۲۰)$$

که در آن A مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، T دوره بازگشت سیل (سال) و q_p دبی ویژه سیل (متر مکعب در ثانیه در کیلومتر مربع) می‌باشد.

ب - فرمول سازمان زمین‌شناسی امریکا (USGS)

$$Q_{2.33} = 0.0147\ CA^{0.7} \qquad (۱۱-۲۰)$$

در این فرمول A مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، C ضریب ثابتی که بسته به حوضه آبریز بین ۱ تا ۱۰۰ متغیر است و $Q_{2.33}$ مقدار دبی با دوره برگشت ۲/۳۳ سال است که برابر میانگین دبی لحظه‌ای در روش تحلیل با توزیع گامبل می‌باشد.

ج - فرمول فولر (Fuller)

$$Q_{max} = Q_{PT}\ (1+2.66\ A^{-0.3}) \qquad (۱۲-۲۰)$$

$$Q_{PT} = CA^{0.8}\ (1+0.3474\ \ln T) \qquad (۱۳-۲۰)$$

در این معادله‌ها T دوره بازگشت سیل (سال)، C ضریب ثابتی که مقدار آن بسته به شیب و پوشش حوضه بین ۰/۰۳ تا ۲/۸ متغیر است، A مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و Q_{max} حداکثر دبی لحظه‌ای (متر مکعب در ثانیه) سیل است.

د - فرمول پتی (Pettis)

$$Q_p = C\ (P.B)^{5/4} \qquad (۱۴-۲۰)$$

در این فرمول Q_p حداکثر دبی لحظه‌ای سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال (متر مکعب در ثانیه)، P حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (سانتی متر)، B عرض حوضه آبریز و C ضریب ثابتی که مقدار آن در نواحی کویری ۰/۱۹۵ و در نواحی مرطوب ۱/۵۱ است.

● مثال ۲۰-۲

در یک حوضه آبریز به وسعت ۱۵ کیلومتر مربع مقدار حداکثر دبی قابل انتظار از سیل را محاسبه کنید. اگر بخواهیم سیل را با دوره برگشت ۵۰ سال تخمین بزنیم مقدار آن چقدر است.

حل

-با استفاده از فرمول دیکن و با انتخاب C = 28 خواهیم داشت:

$$Q_p = CA^{0.75}$$

$$Q_p = 28(15)^{0.75} = 213.4\ m^3/s$$

- با استفاده از فرمول اینگلیز

$$Q_p = \frac{124\ A}{\sqrt{(A+10.4)}} = \frac{124\ (15)}{\sqrt{(15+10.24)}} = 370.2\ m^3/s$$

- با استفاده از فرمول جونگ بهادر و با انتخاب C = 49 خواهیم داشت:

$$Q_p = C(0.3906\ A)^{0.925-(1/14)\log(0.3906\ A)} = 49 \times (5.859)^{0.925-0.0548}$$

$$Q_p = 49 \times (5.859)^{0.8701} = 49 \times 4.657 = 228.2\ m^3/s$$

که اگر بخواهیم همان جواب فرمول دیکن را بدست بیاوریم باید C را برابر 45.9 در نظر بگیریم.

برای آنکه سیل را با دوره برگشت ۵۰ سال تخمین بزنیم از فرمول‌های زیر استفاده می‌کنیم.

- فرمول فولر

$$Q_p = C\ A^{0.8}\ [1+0.3474\ \ln T]$$

با انتخاب C=1.8 و T=50 خواهیم داشت:

$$Q_p = 1.8\ (15)^{0.8}\ [1+0.3474\ \ln\ 50] = 37\ m^3/s$$

- فرمول هورتن

$$Q_p = A\ q_p = A(71.2)\ T^{0.25}/A^{0.5}$$

$$Q_p = (15)71.2\ (50)^{0.25}/(15)^{0.5} = 733.3\ m^3/Sec$$

ملاحظه می‌شود که اگر بخواهیم برای حوضه‌ای با وسعت معین از این فرمول‌ها استفاده کنیم هر کدام نتیجه متفاوتی بدست می‌دهند که گرچه حدودی از حداکثر دبی سیلاب را بما ارائه خواهند کرد ولی انتظار نتیجه دقیق از هیچکدام را نباید داشت و این بسته به نظر فنی هیدرولوژیست است که چرا و بر چه مبنائی فرمول را انتخاب و از آن نتیجه‌گیری کرده و یا میانگین نتایج را در نظر گرفته است.

۲۰-۲-۳ روش منحنی‌های پوش

در بحث‌های قبل ملاحظه شد که اگر حوضه کوچک باشد می‌توان از روش استدلالی که در واقع یک معادله ژنتیکی است استفاده کرد. این معادله بر مبنای ملاحظات فیزیکی و مفاهیم تئوری استوار است. از طرف دیگر برای حوضه‌های بزرگتر فرمول‌های تجربی ارائه شده‌اند که در آنها به مکانیزم ایجاد رواناب توجه نشده است و در واقع فقط برآیند مجموعه عوامل موثر بر رواناب در نظر گرفته شده‌اند. چون فرمول‌های تجربی بر اساس تحلیل‌های منطقه‌ای سیلاب استخراج شده‌اند کاربرد آنها نیز جنبه منطقه‌ای دارد. برای رفع این نقیصه‌ها روش هایی پیشنهاد شده است که در آن از تجارب اکثر نقاط جهان استفاده شده است. این روش‌ها که بنام روش‌های منحنی‌های پوش معروف شده است در محاسبات هیدرولوژی کاربرد فراوان دارد و در اینجا به یکی از روش‌های عمده آن بنام روش منحنی‌های پوش کریگر (Creager) اشاره می‌شود.

کریگر برای بدست آوردن دبی ویژه حوضه آبریز فرمول زیر را پیشنهاد نمود که :

$$q = 46\ CA^{0.894\ A^{-0.048}-1} \qquad (۱۵-۲۰)$$

در این فرمول:

q= دبی پیک ویژه (فوت مکعب در ثانیه به ازاء هر مایل مربع (cfs/mi^2)

C= ضریبی که از منحنی‌های پوش شکل ۲۰-۱ بدست می‌آید.

A= مساحت حوضه بر حسب مایل مربع (mi^2).

در منحنی‌های پوش کریگر بر اساس اندازه‌گیری هائی که در نقاط مختلف دنیا شده است مختصات تعدادی نقاط از نظر وسعت حوضه و دبی ویژه بدست آمده که در یک دستگاه محور مختصات لگاریتمی رسم شده اند. از بین این نقاط ۴ دسته منحنی بنام منحنی‌های پوش رسم و هر کدام با شماره‌ای مشخص شده است. این منحنی‌ها در شکل ۲۰-۱ نشان داده شده‌اند. منحنی‌های ضریب کریگر (C) عبارت اند از C=30 ، C=60 ، C=100 و C=200. مثلاً منحنی C=30 براساس نقطه شماره ۱۳ که مربوط به اندازه‌گیری در رودخانه کرج (ایران) است بدست آمده است. بنابراین با توجه به مشابهت منطقه موردنظر با یکی از نقاطی که در شکل آمده است. برای C یکی از مقادیر فوق را انتخاب و در معادله ۲۰-۱۵ قرار داده می‌شود. بعنوان مثال اگر بخواهیم برای حوضه‌ای در ایران به وسعت ۵۰۰ کیلومتر مربع حداکثر دبی لحظه‌ای را تخمین بزنیم چنانچه برای این حوضه شرایطی مانند کرج را در نظر بگیریم خواهیم داشت.

$A = 500\ Km^2$

$A = 193\ mi^2$

$C = 30$

$q = 46\ (30)\ (193)^{0.894(193)^{-0.048}-1}$

$q = 276\ cfs/mi^2$

$Q = 276\ (193)$

$Q = 53339\ cfs$

$Q = 1510\ m^3/s$

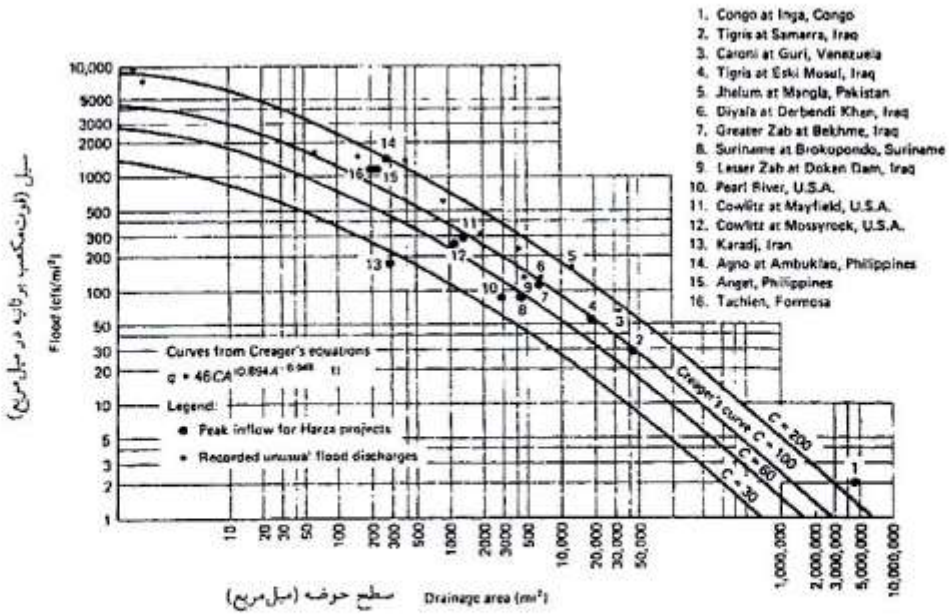
از روی شکل ۲۰-۱ و منحنی مربوط به C=30 نیز به ازاء $A=193\ mile^2$ همین دبی ویژه بدست می‌آید. ملاحظه می‌شود که اگر کسی بخواهد این روش را برای منطقه‌ای مثلاً در پاکستان بکار ببرد باید از منحنی C = 200 استفاده کند که در این صورت دبی ویژه برای وسعت ۱۹۳ میل مربع ۱۸۰۰ فوت مکعب در ثانیه در هر میل مربع بدست می‌آید.

علاوه بر منحنی‌های پوشش کریگر جدولی را نیز پیشنهاد نموده است که در آن با داشتن سطح حوضه (برحسب کیلومتر مربع) می‌توان دبی پیک ویژه سیل را برحسب متر مکعب در

ثانیه از هر کیلومتر مربع سطح حوضه تخمین زد. به این صورت که:

مساحت حوضه (km^2)	دبی ویژه پیک (Cumec/sq.km)
10	20
50	10
100	7.5
500	3.4
1000	2.3
2000	1.5
3000	1.0
10000	0.42

مثلاً در مورد حوضه‌ای به وسعت ۵۰۰ کیلومتر مربع با استفاده از این جدول مقدار دبی لحظه‌ای سیل ۳/۵ متر مکعب در ثانیه در هر کیلومتر مربع بوده که برای وسعت ۵۰۰ کیلومتر مربع حوضه مقدار دبی لحظه‌ای سیل برابر ۱۷۵۰ متر مکعب در ثانیه بدست می‌آید. اما در صورتی که رودخانه دارای آمار اندازه‌گیری طولانی مدت باشد می‌توان با استخراج هیدروگراف‌های واحد و تحلیل فراوانی وقایع سیل هیدروگراف سیل طرح را مطابق آنچه در



شکل ۲۰-۱ منحنی‌های پوش کریگر

بخش‌های مختلف کتاب گفته شد استخراج کرد. با این وجود همیشه استخراج هیدروگراف سیل طرح در مواردی که حوضه فاقد آمار اندازه‌گیری است موردنظر می‌باشد. برای این منظور روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که در این جا روش ساده موسوم به SCS (سازمان حفاظت خاک آمریکا) شرح داده می‌شود. این روش از این جهت حائز اهمیت است که در حوضه‌های کوچک کاربرد فراوان داشته و علاوه بر مطالعات هیدرولوژی و سدسازی در طرحهای جمع‌آوری و انتقال آبهای سطحی داخل شهرها و یا زهکشی اراضی کشاورزی نیز بکار برده می‌شود.

۲۰-۳ برآورد حداکثر دبی سیل با روش سازمان حفاظت خاک

سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای بدست آوردن دبی سیل روش‌های ساده‌ای را پیشنهاد نموده است که در پروژه‌های هیدرولوژی و زهکشی و جمع آوری آبهای سطحی بسیار کاربرد دارد. در ساده‌ترین روش فقط حداکثر دبی لحظه‌ای و زمان رسیدن به دبی پیک مورد نظر است.

روش SCS بر این فرض استوار است که بین رواناب و انباشت آب روی زمین رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{\text{رواناب مستقیم}}{\text{تلفات اولیه - بارندگی}} = \frac{\text{انباشت واقعی آب روی زمین}}{\text{پتانسیل انباشت بارش روی زمین}}$$

چنانچه :

P = مقدار بارش (cm)

I_a = تلفات اولیه بارش شامل برگاب، چالاب و نفوذ (cm)

S = حداکثر یا پتانسیل نگهداشت بارش روی زمین (cm)

Q_d = ارتفاع رواناب روی حوضه

باشد بر اساس رابطه فوق خواهیم داشت:

$$\frac{P - I_a - Q_d}{S} = \frac{Q_d}{P - I_a} \qquad (۱۶-۲۰)$$

از این فرمول نتیجه می‌شود که:

$$Q_d = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} \qquad (۱۷-۲۰)$$

مقدار تلفات اولیه بارش ۱۰ تا ۳۰ درصد پتانسیل انباشت یا حدود 0.1 S تا 0.3 S برآورد شده است که معمولاً برابر 0.2 S فرض می‌شود. لذا خواهیم داشت :

الف - برای شرایط کلی و فرض $I_a = 0.2\,S$

$$Q_d = \frac{(P - 0.2\,S)^2}{(P + 0.8\,S)} \qquad (۱۸-۲۰)$$

ب - برای خاکهای خشک و فرض $I_a = 0.3\,S$

$$Q_d = \frac{(P - 0.3\,S)^2}{(P + 0.7\,S)} \qquad (۱۹-۲۰)$$

ج - برای خاکهای مرطوب و فرض $I_a = 0.1\,S$

$$Q_d = \frac{(P - 0.1\,S)^2}{(P + 0.9\,S)} \qquad (۲۰-۲۰)$$

که معمولاً فرمول ۲۰-۱۸ بیشتر توسط متخصصان مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مقدار S نیز بستگی به شماره منحنی CN داشته ومقدار آن در سیستم متریک برابر است با :

$$CN = \frac{2540}{25.4 + S} \qquad (۲۱-۲۰)$$

دراین صورت حداکثر دبی لحظه‌ای سیل برابر خواهد بود با:

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_d}{T_p} \qquad (۲۲-۲۰)$$

که در آن:

Q_p = دبی اوج (متر مکعب در ثانیه)

A = مساحت حوضه (هکتار)

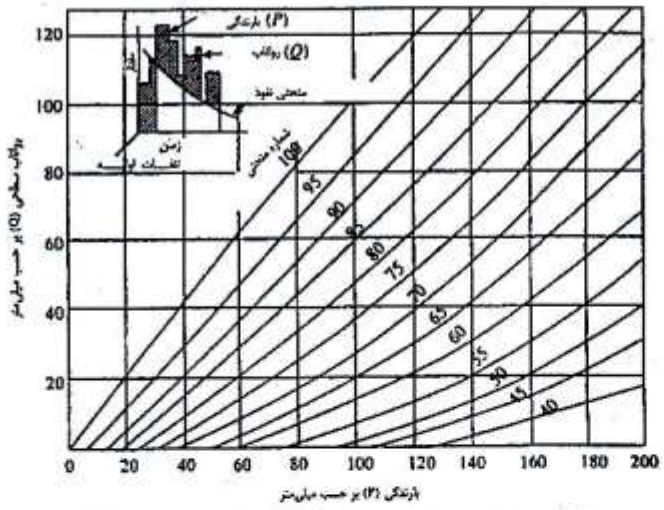
Q_d = ارتفاع رواناب (سانتی‌متر)

T_p = زمان رسیدن دبی به مرحله اوج (ساعت) که از فرمول زیر تخمین زده می‌شود.

$$T_p = 0.6\,T_c + \sqrt{T_c} \qquad (۲۳-۲۰)$$

که در آن T_c زمان تمرکز می‌باشد.

از روی شکل ۲۰-۲ نیز می‌توان با داشتن مقدار بارندگی (P) و شماره منحنی (CN) حوضه میزان رواناب را برحسب میلی‌متر بدست آورد.



شکل ۲۰-۲ رابطه بین بارندگی و رواناب در روش SCS

● **مثال ۲۰-۳**

حساب کنید رواناب حاصله از ۱۲۰ میلی‌متر بارندگی را بر روی منطقه‌ای که ۳۰ درصد آن را منطقه سکونی با گروه هیدلوژی خاک نوع C، ۴۰ درصد را مرتع و چمن با گروه هیدرولوژیکی D و ۳۰ درصددیگر را فضای باز با گروه هیدرولوژیکی D تشکیل داده است.

حل

با فرض اینکه CN در مناطق موردنظر به ترتیب ۸۰ و ۷۸ و ۸۰ باشد میانگین وزنی آن عبارت خواهد بود از:

$$CN = 0.3\ (80) + 0.4\ (78) + 0.3\ (80) = 79.2$$

$$CN = \frac{2540}{25.4 + S}$$

$$79.2 = \frac{2540}{25.4 + S}$$

$$S = 6.67\ cm$$

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

$$Q_d = \frac{(12 - 0.2 \times 6.67)^2}{12 + 0.8 \times 6.67}$$

$$Q_d = 6.57\ cm$$

● **مثال ۲۰-۴**

حساب کنید دبی اوج حاصله از یک رگبار ۶ ساعته با دوره برگشت ۱۰ سال را در زمینی به وسعت ۶۰۰ هکتار که شماره منحنی (CN) برای ۴۰۰ هکتار آن ۸۳ و برای ۲۰۰ هکتار دیگر ۷۰ برآورد شده است. مقدار باران ۶ ساعته با دوره برگشت ۱۰ سال ۲۰۰ میلی متر در ساعت و زمان تمرکز حوضه ۵۰ دقیقه برآورد شده است.

حل

$$P = 200\ mm = 20\ cm$$

$$CN = \frac{83(400) + 70(200)}{400+200} = 80$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

$$S = \frac{2540}{80} - 25.4 = 6.35\ (cm)$$

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

$$Q_d = \frac{[20 - 0.2(6.35)]^2}{20+0.8(6.35)} = 15.6$$

$$Q_p = \frac{0.0208\,A\,Q_d}{T_p}$$

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c}$$

$$T_c = 50 \text{ min} = 0.83 \text{ hr}$$

$$T_p = 0.6(0.83)+\sqrt{0.83} = 1.41 \text{ hr}$$

$$Q_p = \frac{0.0208(600)(15.6)}{1.41} = 138.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

سازمان SCS برای برآورد هیدروگراف سیل طرح نیز روش مشابهی را پیشنهاد نموده است که در زیر به شرح آن می‌پردازیم.

۲۰-۴ برآورد هیدروگراف سیل با روش سازمان حفاظت خاک

کاربرد روش‌های قبلی به دلایلی محدود است. زیرا جوابهائی که با فرمول‌های مختلف بدست می‌آید ممکن است مغایر با یکدیگر باشند که این امر ناشی از شرایط اقلیمی و توپوگرافی محلی است که فرمول در آنجا واسنجی شده است. لذا فقط در تخمین‌های اولیه باید از آنها استفاده کرد. روش‌های تحلیلی آماری نیز در مناطقی توصیه می‌شود که آمار ثبت شده سیل وجود داشته باشد. هر چند روی رودخانه‌های اصلی کشور ایستگاههای اندازه‌گیری و ثبت داده‌های سیل وجود دارد ولی اکثر رودخانه‌های کوچک و آبراهه‌ها فاقد آمار اندازه‌گیری بوده و همین امر کاربرد این روش‌ها را محدود می‌سازد. در روش موسوم به سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) که از جامعیت بیشتری برخوردار است بجای استفاده از آمار ثبت شده سیل از آمار بارندگی استفاده می‌شود زیرا در اغلب موارد شبکه ایستگاههای هواشناسی متراکم‌تر از شبکه ایستگاههای هیدرومتری است و اگر آمار سیل در اختیار نباشد حداقل آمار بارندگی در منطقه مورد نظر وجود خواهد داشت. بنابراین در روش SCS با استفاده از آمار بارندگی می‌توان هیدروگراف سیل را استخراج کرد. از طرفی چون اکثراً فقط آمار بارندگی روزانه (۲۴ ساعته) در اختیار است در این روش از آمار حداکثر بارش ۲۴ ساعته استفاده می‌شود.

در واقع اساس کار روش هیدروگراف SCS این است که ابتدا با فرمول‌های پیشنهادی SCS زمان تمرکز حوضه (T_c) و سپس زمان رسیدن به دبی پیک (T_p) مطابق فرمول‌هائی که گفته شد مشخص می‌گردد. سپس برای حوضه یک رگبار که مدت آن باید از $0.25T_p$ کمتر باشد انتخاب می‌گردد. مثلاً ممکن است حوضه دارای زمان تمرکز ۳ ساعت باشد که در این صورت زمان رسیدن به پیک ۲ ساعت می‌باشد و دوره‌های مدت رگبار (ΔT) برای آن ۰/۵ ساعت در نظر گرفته می‌شود. بعد از آن از روی آمار حداکثر بارش‌های ۲۴ ساعته مقدار بارش ۶ ساعته بدست می‌آید. زمان ۶ ساعت بر ΔT تقسیم می‌شود تا مثلاً به ۱۲ دوره نیم ساعته تقسیم گردد. سپس از روی الگوی توزیع بارش ۶ ساعته که توسط SCS داده شده است و با توجه به مقدار بارندگی ۶ ساعته می‌توان مقدار بارندگی را در هر کدام از دوره‌های ۱۲ گانه بدست آورد. یعنی وضعیت حوضه به این صورت خلاصه شده است که در آن ۱۲ بارندگی باتداوم فرضاً ۰/۵ ساعته که مقدار بارش در هر دوره مشخص است پشت سرهم اتفاق می‌افتد. هر کدام از این بارش‌های ۰/۵ ساعته یک هیدروگراف خواهد داشت که در هر یک دبی پیک ۲ ساعت بعد از شروع دوره اتفاق می‌افتد. اگر این ۱۲ هیدروگراف را با هم جمع کنیم هیدروگراف سیل طرح برای حوضه بدست می‌آید. بنابراین در هیدروگراف SCS مدت بارندگی از روی زمان تمرکز و یا زمان رسیدن به پیک تعیین می‌گردد ولی مقدار بارندگی از روی باران‌های ۶ ساعته استخراج می‌گردد بطور کلی برای دستیابی به هیدروگراف طرح به ترتیب باید قدم‌های زیر برداشته شود.

(۱)- تعیین نوع سازه از نظر اهمیت

(۲)- تعیین دوره بازگشت و یا مشخص کردن روش محاسبه باران ۶ ساعته طرح

(۳)- تعیین زمان تمرکز حوضه و زمان رسیدن دبی به پیک (T_p,T_c)

(۴)- تعیین مقدار بارش ۶ ساعته حوضه با توجه به دوره برگشت مورد نظر (P_6,T_r)

(۵)- تعیین الگوی توزیع بارش ۶ ساعته در طول ۶ ساعت بارش

(۶)- تعیین مدت رگبار طرح با توجه به زمان تمرکز و زمان رسیدن به دبی پیک (ΔT) به نحوی که ΔT مضربی از ۶ باشد.

(۷)- تعیین توزیع مقدار بارش ۶ ساعته در هر کدام از دوره‌های ΔT

(۸)- تعیین شماره منحنی حوضه (CN) برای محاسبه رواناب در هر دوره

(۹)- تعیین بارش مازاد (رواناب) در هر دوره ΔT

(۱۰)- تعیین دبی پیک برای هر دوره ΔT

(۱۱)- تعیین ابعاد هیدروگراف واحد SCS با توجه به دبی پیک q_p هر دوره و زمان رسیدن به پیک (T_p) که برای تمام دوره‌ها یکسان است.

(۱۲)- تعیین هیدروگراف حاصله از هر دوره‌های بارندگی ΔT ساعته با ضرب کردن مقدار بارش مازاد هر دوره در ابعاد هیدروگراف واحد

(۱۳)- جمع کردن هیدروگراف حاصله از دوره‌های ΔT ساعته
(۱۴)- بدست آوردن هیدروگراف سیل

۲۰-۴-۱ تعیین نوع سازه

سازه‌های آبی بطور کلی در ۳ کلاس طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از:

الف - سازه‌های کلاس A: این سازه‌ها کم اهمیت بوده و اگر سیل باعث خرابی آنها شود خسارات حاصله جانی نخواهد بود و تنها مزارع، جاده‌ها و برخی ساختمانهای کم اهمیت را تخریب می‌کند. طراحی این سازه‌ها معمولاً با رگباری که دوره برگشت آن ۱۰۰ سال باشد (P_{100}) صورت می‌گیرد. بنابراین برای این سازه‌ها در روش هیدروگراف SCS باید باران ۶ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال در نظر گرفته شود.

ب - سازه‌های کلاس B: سازه هائی هستند که از اهمیت اقتصادی بیشتری برخوردارند و اگر سیل باعث خرابی آنها شود زیان‌های نسبتاً زیادی به مناطق مسکونی و تأسیسات عمومی وارد می‌شود. برای طراحی این سازه‌ها در روش SCS جهت محاسبه باران ۶ ساعته طرح (P) از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$P = P_{100} + 0.12\,(PMP - P_{100}) \qquad (۲۴-۲۰)$$

که P_{100} و PMP به ترتیب باران ۶ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال و حداکثر بارش محتمل ۶ ساعته می‌باشد.

ج - سازه‌های کلاس C: این سازه‌ها دارای اهمیت زیاد بوده و خراب شدن آنها نه تنها باعث خسارات مالی فراوان بلکه خسارات جانی نیز دربرخواهد داشت. در روش SCS برای محاسبه باران ۶ ساعته طرح (P) از فرمول زیر استفاده می‌شود.

$$P = P_{100} + 0.26\,(PMP - P_{100}) \qquad (۲۵-۲۰)$$

که P_{100} باران ۶ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال و PMP حداکثر بارش محتمل ۶ ساعته است.

۲۰-۴-۲ تعیین زمان تمرکز

در روش SCS علاوه بر مساحت حوضه A (بر حسب کیلومتر مربع) و طول آبراهه اصلی L (بر حسب کیلومتر) قطر دایره معادل حوضه (D) نیز از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$D = 1.128\sqrt{A} \qquad (۲۶-۲۰)$$

علاوه بر این شیب متوسط حوضه از فرمول زیر تعیین شده و اختلاف بین بلندترین (H_{max}) و پائین‌ترین (H_{min}) نقاط ارتفاعی حوضه در امتداد آبراهه اصلی (Δh) تعیین می‌گردد.

$$S = \frac{EL}{A} \qquad (۲۷-۲۰)$$

$$\Delta h = H_{max} - H_{min} \qquad (۲۸-۲۰)$$

در این فرمول E فاصله خطوط تراز که نقشه توپوگرافی حوضه با آن تهیه شده است. (کیلومتر)،

L طول خطوط تراز میزان در محدوده داخلی نقشه حوضه (کیلومتر) و A مساحت حوضه (کیلومتر مربع)، H_{min} و H_{max} و Δh برحسب متر می‌باشند. پس از تعیین عناصر فوق زمان تمرکز حوضه با یکی از دو فرمول تجربی زیر محاسبه می‌شود.

الف - برای حوضه‌های کوچک:

$$T_c = \left(\frac{0.871L^3}{\Delta h}\right)^{0.385} \qquad (۲۰-۲۹)$$

ب - برای حوضه‌های بزرگ :

$$T_c = 0.683 \frac{L}{D}\left(\frac{A^2}{S}\right)^{0.2} \qquad (۲۰-۳۰)$$

در این فرمول‌ها A برحسب کیلومتر مربع، L و D برحسب کیلومتر، Δh برحسب متر ، S برحسب درصد و T_c برحسب ساعت می‌باشد.

۲۰-۴-۳ تعیین مدت و مقدار باران طرح

همانطور که گفته شد در روش SCS هیدروگراف طرح بر اساس باران‌های ۶ ساعته استخراج می‌شود. البته این به شرطی است که زمان تمرکز حوضه از ۶ ساعت کمتر باشد ولی اگر زمان تمرکز حوضه بیش از ۶ ساعت باشد (مثلاً ۹ ساعت) در این صورت اساس استخراج هیدروگراف باران‌های با تداوم برابر زمان تمرکز (مثلاً همان ۹ ساعت) خواهد بود. چون روش SCS اصولاً برای حوضه‌های کوچک که زمان تمرکز آنها از ۶ ساعت کمتر است بکار می‌رود می‌توان چنین فرض کرد که استخراج هیدروگراف در این روش صرف نظر از اینکه زمان تمرکز چقدر باشد بر مبنای حداکثر بارش ۶ ساعته در سال است. حداکثر بارش ۶ ساعته با دوره برگشت موردنظر $P_{6,T}$ را می‌توان از روی حداکثر بارش ۲۴ ساعته با همان دوره برگشت ($P_{24,T}$) از فرمول زیر بدست آورد.

$$P_{6,T} = \frac{P_{24,T}}{1.48} \qquad (۲۰-۳۱)$$

مثلاً اگر حداکثر باران ۲۴ ساعته برای حوضه‌ای با دوره برگشت ۱۰۰ ساله ۷۵ میلی متر باشد حداکثر باران ۶ ساعته با همان دوره برگشت ۵۰/۶ میلی متر خواهد بود. در بعضی شرایط حداکثر باران ۶ ساعته که با فرمول فوق بدست می‌آید نسبت به سطح حوضه اصلاح می‌شود زیرا چنین تصور می‌شود که مقدار فوق باران نقطه‌ای است و میانگین آن در سطح حوضه رقمی حدود ۸۵ درصد آن است ولی توصیه می‌شود بمنظور بالا بردن درجه اطمینان از عدد محاسبه شده این تصحیح صورت نگیرد.

۲۰-۴-۴ انتخاب الگوی توزیع زمان رگبار

پس از بدست آوردن مقدار بارش ۶ ساعته (که معمولاً ۰/۶ تا ۰/۷ حداکثر بارش ۲۴ ساعته در نظر گرفته می‌شود) سوال این است که این بارش چگونه نازل می‌شود آیا شدت آن در طول ۶

ساعت یکنواخت است یا خیر. برای بدست آوردن الگوی توزیع زمانی رگبار از روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا که بر مبنای پیشنهاد سازمان جهانی هواشناسی (WMO) است استفاده می‌شود. توزیع بارش در این روش مطابق جدول ۲۰-۳ است. در این جدول ستون اول زمان از صفر تا ۶ ساعت، ستون دوم زمان بارش از ابتدا تا پایان بر حسب درصد و ستون ۳ درصد بارش نازل شده نسبت به کل بارش ۶ ساعته تا آن لحظه از زمان است. مثلاً مطابق این جدول اگر کل بارش در مدت ۶ ساعت ۱۰۰ میلی‌متر باشد در ۰/۵ ساعت اول که ۸ درصد زمان ۶ ساعته می‌باشد ۲ درصد بارندگی نازل می‌شود و یا در ۲ ساعت اول که ۳۳ درصد زمان است ۲۲ درصد یا پس از ۳ ساعت که ۵۰ درصد ۶ ساعت می‌باشد ۷۰ درصد بارندگی نازل شده است. بدیت ترتیب می‌توان درصد و یا مقدار بارندگی را در دوره زمانی از این ۶ ساعت بدست آورد .ارقام این جدول می‌تواند در تهیه هایتوگراف بارندگی مورد استفاده قرار گیرد. زیرا اگر بخواهیم بدانیم که بین ساعت مثلاً ۳ تا ۳/۵ چقدر باران باریده است کافی است مقادیر ۷۸ و ۷۰ را از یکدیگر کسر کنیم که ۸ درصد خواهد بود و اگر کل بارش ۶ ساعته مثلاً ۵۰/۶ میلی‌متر باشد ۸ درصد آن (۴ میلی متر) در این ۰/۵ ساعت بوده است.

جدول ۲۰-۳ توزیع بارندگی ۶ ساعته در طول بارندگی

زمان		
ساعت‌ازشروع (1)	درصدازشروع (2)	درصدریزش باران (3)
0	0	0
0.5	8	2
1	16	8
1.5	18	15
2	33	22
2.5	42	60
3	50	70
3.5	58	78
4	66	84
4.5	75	88
5	83	92
5.5	91	96
6	100	100

۲۰-۴-۵ محاسبه هایتوگراف رگبار طراحی

پس از تعیین الگوی توزیع زمانی رگبار به ترتیب زیر اقدام به محاسبه و رسم هایتوگراف

رگبار طراحی می‌کنیم.

الف - یک دوره زمانی (Δt) برای هایتوگراف انتخاب می‌شود. طبق پیشنهاد SCS این دوره زمانی نباید از $0.25\ T_p$ بیشتر باشد و رقم پیشنهادی آن سازمان $0.133\ T_c$ است. Δt باید مضربی از ۶ ساعت باشد.

ب - با توجه به ارقام الگوی توزیع بارندگی در طول بارش که در جدول ۲۰-۳ آمده است برای هر دوره زمانی Δt مقدار بارش را محاسبه می‌کنیم.

ج - پس از بدست آوردن مقدار بارش در هر دوره هایتوگراف رگبار بدست می‌آید. هایتوگراف بارندگی به ما خواهد گفت که در هر Δt چقدر باران وجود دارد.

۲۰-۴-۶ محاسبه هایتوگراف بارش مازاد

بارش مازاد مقدار آبی است که بصورت رواناب و سیل جاری می‌شود. پس از برآورد هایتوگراف بارندگی باید شماره منحنی CN حوضه را تخمین زده مقدار بارش مازاد در هر دوره Δt را بدست آورد. با محاسبه بارش مازاد در هر دوره هایتوگراف بارش مازاد بدست می‌آید.

$$Q_d = \frac{(P - 0.2\ S)^2}{P + 0.8S} \qquad (۳۲-۲۰)$$

$$S = (\frac{1000}{CN} - 10)\ 25.4 \qquad (۳۳-۲۰)$$

در این فرمول‌ها P مقدار بارش در هر دوره Δt برحسب میلی متر، CN شماره منحنی و Q_d مقدار بارش مازاد در هر دوره (میلی متر) می‌باشد.

۲۰-۴-۷ محاسبه هیدروگراف واحد حوضه و هیدروگراف سیل

در روش SCS ابتدا ابعاد هیدروگراف واحد بی‌بعد محاسبه می‌شود. هیدروگراف واحد بی‌بعد SCS هیدروگرافی است که محور طولی آن به T/T_p و محور عمودی آن به q/q_p اختصاص دارد. مقادیر بی‌بعد T/T_p و q/q_p در ستونهای ۲ و ۳ جدول ۲۰-۵ ارائه شده است . حال اگر مقادیر q_p و T_p را برای هر دوره Δt داشته باشیم و آنها را به ترتیب در ارقام ستون‌های ۲ و ۳ جدول ۲۰-۵ ضرب کنیم ابعاد هیدروگراف آن دوره بدست می‌آید. در روش SCS مقدار T_p از روی زمان تمرکز حوضه (T_c) بدست می‌آید که عبارت است از:

$$T_p = 0.7\ T_c \qquad (۳۴-۲۰)$$

بنابراین اگر زمان تمرکز حوضه‌ای مثلاً ۴ ساعت باشد زمان رسیدن به پیک برای آن ۲/۸ ساعت در نظر گرفته می‌شود و باید اعداد ستون اول جدول موجود در شکل را در ۲/۸ ضرب کنیم تا T بدست آید. در اینجا مشاهده می‌شود که آخرین رقم در ستون اول هیدروگراف واحد ۵ است که اگر آن را در ۲/۸ ضرب کنیم ۱۴ خواهد بود یعنی ارقام محور افقی هیدروگراف واحد که همان

زمان پایه هیدروگراف است می‌تواند تا ۱۴ ساعت ادامه یابد بنا به پیشنهاد SCS زمان پایه هیدروگراف (T_b) برابر است با:

$$T_b = 2.67\ T_p \qquad (۳۵-۲۰)$$

و لذا در این مثال ۷/۴ ساعت خواهد بود که لازم نخواهد بود T_b را تا ۱۴ ساعت ادامه دهیم.

برای بدست آوردن اعداد ستون عمودی هیدروگراف لازم است ارقام ستون سوم جدول ۲۰-۵ را در q_p ضرب شود. مقدار q_p که حداکثر دبی حاصله از بارش مازاد در هر دوره است از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$q_p = 2.08\ \frac{\Delta Q}{T_p} \qquad (۳۶-۲۰)$$

در این فرمول ΔQ مقدار بارش مازاد در هر دوره Δt بر حسب میلی متر است که در نتیجه آن q_p یا دبی پیک ویژه آن دوره بر حسب لیتر در ثانیه در هر هکتار حوضه بدست می‌آید. بنابراین مشاهده می‌شود که محور افقی یا زمان ثابت بوده ولی برای هر دوره زمانی باید با داشتن بارش مازاد آن دوره (ΔQ) و زمان رسیدن به دبی پیک (T_p) که برای تمام دوره‌ها ثابت می‌باشد ابعاد هیدروگراف حاصله از بارش مازاد آن دوره زمانی محاسبه شود. البته واضح است که هر دوره نسبت به دوره قبل به اندازه Δt تاخیر دارد که هیدروگرافی نیز با همان دوره تاخیری محاسبه می‌شود.

۲۰-۴-۸ برآورد هیدروگراف سیل طراحی

با استفاده از هیدروگراف واحد بی بعد SCS و هایتوگراف بارش مازاد مطابق روشی که در مثال زیر آورده شده است هیدروگراف سیل طرح بدست می‌آید.

● مثال ۲۰-۵

می‌خواهیم هیدروگراف سیل طرح را برای حوضه‌ای که وسعت آن ۸ کیلومتر مربع است با مشخصات زیر به روش SCS بدست آوریم. سازه در کلاس C قرار می‌گیرد.

زمان تمرکز حوضه	$T_c = 2.8$ hr
حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال	$P(24,100) = 80$ mm
حداکثر بارش ۲۴ ساعته محتمل	$PMP(24) = 114$
شماره منحنی	$CN = 87$
وسعت حوضه	$A = 8\ Km^2 = 800$ ha

حل

چون زمان تمرکز حوضه از ۶ ساعت کمتر است لذا هیدروگراف طرح را بر اساس مقدار باران ۶ ساعته بدست می‌آوریم.

۱- محاسبه باران ۲۴ ساعته طرح ($P_{24,T}$)

بر اساس نوع کلاس سازه C ابتدا باران ۲۴ ساعته و سپس باران ۶ ساعته را حساب می‌کنیم:

$$P_{24,T} = P_{100} + 0.26\,(PMP - P_{100})$$

$$P_{24,T} = 80 + 0.26\,(114-80)$$

$$P_{24,T} = 88.8 \text{ mm}$$

۲- محاسبه مقدار باران ۶ ساعته طرح از روی باران ۲۴ ساعته برابر است با:

$$P_{6,T} = \frac{P_{24,T}}{1.48} = \frac{88.8}{1.48} = 60 \text{ mm}$$

۳- انتخاب دوره زمانی (Δt) برای توزیع بارندگی.

چون زمان رسیدن دبی به پیک حدود ۲ ساعت است [$T_p=0.7T_c = 0.7(2.8)=2$] و ΔT نباید از $0.25\ T_p$ بیشتر باشد بنابراین مقدار Δt را برابر ۰/۵ ساعت در نظر می‌گیریم. اگر برای تعیین ΔT معیار $0.133T_c$ را در نظر بگیریم Δt برابر ۰/۳۸ ساعت خواهد بود. لذا ۰/۵ ساعت برای Δt معقول می‌باشد.

۴- توزیع مقدار بارندگی (۶۰ میلی متر) با توجه به جدول ۲۰-۳ در طول دوره بارش (۶ ساعت) به ازاء $\Delta T = 0.5$ مطابق جدول ۲۰-۴ می‌باشد.

در این جدول :

ارقام ستون ۱ زمان از شروع تا ۶ ساعت با دوره افزایشی ۰/۵ ساعته

ارقام ستون ۲ مستخرج از جدول ۲۰-۳ که الگوی توزیع بارش است می‌باشد.

ارقام ستون ۳ بارش تجمعی است که از حاصلضرب ارقام ستون ۲ در ۶۰ میلی متر بدست آمده است.

۵- محاسبه بارش مازاد (Q_d)

ابتدا با توجه به CN=87 مقدار S را محاسبه می‌کنیم.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = \frac{25400}{87} - 254 = 37.95 \text{ mm}$$

با داشتن S بارش مازاد (Q_d) از فرمول زیر محاسبه می‌شود (بر حسب میلی متر)

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

مثلاً اگر مقدار بارندگی را که تا ساعت ۲/۵ برابر ۳۶ میلی متر است در نظر بگیریم بارش مازاد تا این زمان ۱۲ میلی متر خواهد بود زیرا:

$$Q_d = \frac{[(36-0.2(37.95)]^2}{36+0.8(37.95)} = 12$$

ارقام ستون ۴ جدول ۲۰-۴ مقدار بارش مازاد تجمعی از شروع بارش و ارقام ستون ۵ مقدار بارش مازاد در هر دوره زمانی Δt می‌باشد.

جدول ۲۰-۴

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
T،زمان hr	درصدبارش	بارش تجمعی (P)	بارش مازاد تجمعی (Q_d)	بارش مازاددر هردوره (ΔQ)
0	0	0	0	0
0.5	0.02	1.0	0	0
1.0	0.08	5.0	0	0
1.5	0.15	9	0	0
2.0	0.22	13	1	1
2.5	0.60	36	12	11
3.0	0.70	42	17	5
3.5	0.78	47	20	3
4.0	0.84	50	22	2
4.5	0.88	53	24	2
5.0	0.92	55	26	2
5.5	0.96	58	28	2
6.0	100	60	30	2

۶- محاسبه دبی پیک در هر دوره زمانی Δt

مقدار q_p بر حسب لیتر در ثانیه در هکتار از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$q_p = 2.08 \frac{\Delta Q}{T_p}$$

در این فرمول ΔQ بارش مازاد در هر دوره (بر حسب میلی متر) است. چون T_p در این مثال ۲ ساعت است لذا q_p برابر است با $q_p=1.04\Delta Q$ مقادیر ΔQ برای دوره Δt در ستون ۵ جدول ۲۰-۴ محاسبه شده است.

۷- محاسبه ابعاد هیدروگراف واحد

با توجه به ابعاد هیدروگراف واحد بی بعد SCS برای ۶ ساعت تداوم بارندگی مقادیر T/T_p و q/q_p را از آن استخراج می‌کنیم که این ارقام در ستون اول و دوم جدول ۲۰-۵ نوشته شده است.

۸- محاسبه ابعاد هیدروگراف برای هر دوره زمانی

بطوری که از جدول ۲۰-۵ مشاهده می‌شود در ۴ دوره اول هیچ گونه بارش مازادکه رواناب ایجادکند وجود ندارد ولی از زمانی که بارش مازاد وجود دارد (ستون ۴ جدول) با ضرب کردن ارقام ستون ۳ جدول ۲۰-۴ در مقدار بارش مازاد همان دوره ابعاد هیدروگراف آن دوره زمانی بدست می‌آید.

مثلاً در دوره زمانی ساعت ۱/۵ تا ۲ بارش مازاد ۱ میلی متر و دبی ویژه (q_p) برابر ۱/۰۴ لیتر در ثانیه در هکتار بوده است. حال اگر ارقام ستون ۳ جدول در ۱/۰۴ ضرب شوند و اعداد بدست آمده هر کدام در مقابل زمان مربوط به خود نوشته شوند ارقام ستون ۴ بدست می‌آید.

جدول ۲۰-۵ محاسبات تهیه هیدروگراف به روش SCS

	Design storm													
(1)	T (hours)	0	0·5	1·0	1·5	2·0	2·5	3·0	3·5	4·0	4·5	5·0	5·5	6·0
(2)	R_c (mm)	0	1	5	9	13	36	42	47	50	53	55	58	60
	Runoff													
(3)	Q_c (mm)	0	0	0	0	1	12	17	20	22	24	26	28	30
(4)	ΔQ (mm)					1	11	5	3	2	2	2	2	2
(5)	q_p ($l.sec^{-1}.ha^{-1}$)					1·04	11·44	5·20	3·12	2·08	2·08	2·08	2·08	2·08

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
		Dimensionless T/T_p	hydrograph q/q_p	Hydrographs per time unit (q in $l.sec^{-1}.ha^{-1}$)									Hydrograph of the design storm
(6)	T = 0 hrs	0	0										q = 0·00 $l.sec^{-1}.ha^{-1}$
(7)	0·5	0·25	0·12										0·00
(8)	1·0	0·50	0·43										0·00
(9)	1·5	0·75	0·83										0·00
(10)	2·0	1·00	1·00	1·04									1·04
(11)	2·5	1·25	0·88	·45	11·44								11·89
(12)	3·0	1·50	0·66	·86	4·92	5·20							10·98
(13)	3·5	1·75	0·45	1·04	9·50	2·24	·37						13·15
(14)	4·0	2·00	0·32	·92	11·44	4·32	1·34	·25					18·27
(15)	4·5	2·25	0·22	·69	10·07	5·20	2·59	·89	·25				19·69
(16)	5·0	2·50	0·15	·47	7·55	4·58	3·12	1·73	·89	·25			18·59
(17)	5·5	2·75	0·11	·33	5·15	3·43	2·75	2·08	1·73	·89	·25		16·51
(18)	6·0	3·00	0·08	·23	3·66	2·34	2·06	1·83	2·08	1·73	·89	·25	15·07
(19)	6·5	3·25	0·05	·16	2·52	1·66	1·40	1·37	1·83	2·08	1·73	·89	13·64
(20)	7·0	3·50	0·04	·11	1·72	1·14	1·00	·94	1·37	1·83	2·08	1·73	11·92
(21)	7·5	3·75	0·03	·08	1·26	·78	·69	·67	·94	1·37	1·83	2·08	9·70
(22)	8·0	4·00	0·02	·05	·92	·57	·47	·46	·67	·94	1·37	1·83	7·21
(23)	8·5	4·25	0·01	·04	·57	·42	·34	·31	·46	·67	·94	1·37	5·12
(24)	9·0	4·50	0·01	·03	·45	·26	·25	·23	·31	·46	·67	·94	3·60
(25)	9·5	4·75	0·01	·02	·34	·21	·16	·17	·23	·31	·46	·67	2·57
(26)	10·0	5·00	0·00	·01	·23	·16	·12	·10	·17	·23	·31	·46	1·79
(27)	10·5	5·25		·01	·11	·10	·09	·08	·10	·17	·23	·31	1·20
(28)	11·0	5·50		·01	·11	·05	·06	·06	·08	·10	·17	·23	0·87
(29)	11·5	5·75			·11	·05	·03	·04	·06	·08	·10	·17	0·64
(30)	12·0	6·00				·05	·03	·02	·04	·06	·08	·10	0·38
(31)							·03	·02	·02	·04	·06	·08	0·25
(32)								·02	·02	·02	·04	·06	0·16
(33)									·02	·02	·02	·04	0·10
(34)										·02	·02	·02	0·06
(35)											·02	·02	0·04
(36)												·02	0·02
(37)													0·00

اعداد این ستون در واقع هیدروگراف بارش مازاد در دوره زمانی بین ساعت ۱/۵ تا ۲ می‌باشد. این هیدروگراف خود دارای یک دبی پیک است که مقدار آن همان ۱/۰۴ می‌باشد که در ساعت ۳/۵ یا ۲ ساعت پس از شروع بارش مازاد رخ خواهد داد. بهمین ترتیب ارقام ستون ۵ از ضرب کردن اعداد ستون ۳ در ۱۱/۴۴ و ارقام ستون ۶ از ضرب کردن اعداد ستون ۳ در ۵/۲۰ والخ بدست آمده‌اند.

پس از کامل کردن ستون‌ها از جمع افقی اعداد ستون‌های ۴ تا ۱۲ اعداد ستون ۱۳ بدست می‌آید که هیدروگراف طرح خواهد بود که واحد آن لیتر در ثانیه در هکتار است. چون وسعت حوضه ۸۰۰ هکتار می‌باشد اگر بخواهیم ابعاد هیدروگراف را بر حسب متر مکعب در ثانیه بدست آوریم لازم است ارقام ستون ۱۳ در ۸۰۰ ضرب و بر ۱۰۰۰ تقسیم شوند.

سازمان حفاظت خاک امریکا برای محاسبات دبی و هیدروگراف طرح نرم‌افزارهای TR-20 و TR-55 را ارائه داده است که می‌توانند در حوضه‌های کوچک بخوبی از آن استفاده کرد. علاقمندان برای کسب اطلاع می‌توانند با ناشر و یا مولف کتاب تماس حاصل نمایند.

۲۰-۵ دبی سیل در حوضه‌های دارای آمار

در حوضه‌هائی که دارای آمار اندازه‌گیری سیل می‌باشند بر اساس موجودیت و نوع داده‌ها دوروش مختلف برای بدست آوردن حداکثر دبی لحظه‌ای سیل بکارگرفته می‌شود که عبارتند از:

- روش اول برای زمانیکه فقط داده‌های حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه در اختیار می‌باشد.
- روش دوم برای زمانی که داده‌های هیدروگراف سیل همراه با داده‌های بارندگی در اختیار است.

در روش اول از تحلیل فراوانی سیل و در روش دوم از هیدروگراف واحد استفاده می‌شود که هر دوی این روش‌ها به تفصیل در فصول قبل بحث شده و در اینجا به تشریح تحلیل فراوانی برای بدست آوردن سیل طرح که دوره برگشت بر آن مترتب است می‌پردازیم. برای روشن شدن مطلب با ذکر یک مثال مقادیر سیل طرح به روش‌های مختلف محاسبه شده‌اند.

● **مثال ۲۰-۶**

در یک رودخانه از سال ۱۹۷۰ الی ۱۹۹۰ مقادیر حداکثر سالانه دبی سیل به شرح زیر در اختیارمی‌باشد.مقادیرسیل‌بادوره‌برگشت ۱۰۰ و ۱۰۰۰ سال را با توزیع‌های مختلف‌برآورد کنید.

سال	سیل m^3/Sec	سال	سیل m^3/Sec
1970	1065	1981	910
1971	645	1982	750
1972	1005	1983	930
1973	1350	1984	750
1974	860	1985	1070
1975	150	1986	830
1976	2260	1987	1095
1977	650	1988	384
1978	2840	1989	2230
1979	990	1990	3210
1980	870		

حل

تمام روش‌های تحلیل فراوانی بر اساس پارامترهای آماری داده‌ها می‌باشد. چنانچه این پارامترها را با فرمول‌های آماری که قبلاً ارائه گردید محاسبه کنیم نتایج به شرح زیر می‌باشد.

$\bar{x}$ = میانگین = 1183

S = انحراف از معیار = 786.2

C_v = ضریب تغییرات = 0.665

C_s = ضریب چولگی = 1.478

معادله کلی محاسبه سیل با استفاده از ضریب فراوانی که در فصل ۱۷ بحث شد (معادله ۱۷-۱۵) به صورت زیر است.

$$x = \bar{x} + KS$$

که $\bar{x}$ میانگین، k ضریب فراوانی و x سیل مورد نظر با توجه به دوره برگشت می‌باشد.

الف - روش گامبل:

$$x_{100} = \bar{x} + K_{100}(S)$$

$$x_{1000} = \bar{x} + K_{1000}(S)$$

ضرایب فراوانی K_{100} و K_{1000} در روش گامبل برای ۲۱ سال آمار از جدول ۱۷-۱۵ به ترتیب برابر است با:

$K_{100} = 3.815$

$K_{1000} = 5.96$

لذا خواهیم داشت:

$x_{100} = 1183 + 3.815\ (786.2) = 4182\ m^3/S$

$x_{1000} = 1183 + 5.960\ (786.2) = 5869\ m^3/S$

ب - روش پیرسون تیپ ۳

با توجه به مقدار C_s از روی جدول ۱۷-۱۶ مقادیر K_{100} و K_{1000} برابر است با:

$K_{100} = 3.32$

$K_{1000} = 5.26$

لذا مقادیر سیل برابر است با:

$x_{100} = 1183 + 3.32\ (786.2) = 3793\ m^3/S$

$x_{1000} = 1183 + 5.26\ (786.2) = 3793\ m^3/S$

ج - روش لگاریتم پیرسون تیپ ۳

در این روش ابتدا از داده‌ها لگاریتم گرفته می‌شود سپس مقادیر $\bar{x}$ و S و C_s و C_v محاسبه می‌شود. با انجام این عمل نتیجه عبارت خواهد بود از:

$\bar{x} = 2.987626$

$S = 0.2913$

$C_s = -0.613$

$C_v = 0.665$

با در نظر داشتن C_s از جدول ۱۷-۱۶ مقادیر K_{100} و K_{1000} برابر است با:

$K_{100} = 1.8704$

$K_{1000} = 2.2587$

که در نتیجه مقادیر سیل عبارت خواهد بود از:

$y_{100} = 2.987626 + 1.8704\ (0.2913) = 3.5324735$

$y_{1000} = 2.987626 + 2.2587\ (0.2913) = 3.6455853$

حال اگر از مقادیر فوق آنتی لگاریتم گرفته شود سیل ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله بدست می‌آید.

$x_{100} = \text{antilog}\ (3.5324735) = 3408\ m^3/s$

$x_{1000} = \text{antilog}\ (3.6455853) = 4422\ m^3/s$

د - روش لگاریتم نرمال

روش لگاریتم نرمال مشابه پیرسون تیپ ۳ می‌باشد که در آن چولگی صفر در نظر گرفته می‌شود ولی با توجه به این که داده‌ها واقعاً دارای چولگی هستند نمی‌توان برای C_s مقدار 0.613- را استفاده کرد بلکه باید مقدار آن را از فرمول زیر (فرمول ۱۷-۲۶) محاسبه کرد.

$C_s = 3\ C_v = C_v^3$

$C_s = 3\ (0.665) + (0.665)^3$

$C_s = 2.29$

حال از جدول ۱۷-۱۴ به ازاء $C_s = 2.29$ مقادیر K_{100} و K_{1000} را تخمین می‌زنیم که برابر خواهند بود با:

$K_{100} = 3.62$

$K_{1000} = 6.64$

$x_{100} = 1183 + 3.62\ (786.2) = 4028.3\ m^3/s$

$x_{1000} = 1183 + 6.64\ (786.2) = 6402\ m^3/s$

روش دیگری برای محاسبه حداکثر دبی سیل با اعمال دوره برگشت بکار گرفته می‌شود که بنام **روش تصادفی** (stochastic method) نام دارد. دراین روش اگر برای N سال آمار حداکثر دبی سالانه را در اختیار داشته باشیم بطوریکه برای هر سال فقط یک عدد وجود داشته باشد و بخواهیم با دوره برگشت T سال مقدار حداکثر دبی سیل را تخمین بزنیم از فرمول زیر استفاده

می‌شود.

$$Q_t = Q_{min} + 2.303\ (Q_{av} - Q_{min}) \log \frac{nT}{N} \qquad (۳۷-۲۰)$$

که در آن:

Q_t = حداکثر دبی سیل با دوره برگشت T سال

Q_{min} = حداقل دبی در مجموعه داده‌ها

Q_{av} = متوسط دبی در مجموعه داده‌ها

n = تعداد داده‌ها با توجه به این که از داده‌های مشابه فقط یکی را نگهداریم. مثلاً اگر برای ۱۰ سال آمارداشته باشیم که در آنها داده‌های ۳ سال مشابه باشد در این صورت N = 10 و n = 8 خواهد بود. و یا در مثال ۲۰-۵ که ۲۱ سال آمار داریم N = 21 است و چون سیل ۷۵۰ دوبار تکرارشده است (سالهای ۱۹۸۲ و ۱۹۸۴) لذا در این صورت n = 19 خواهد بود.

● مثال ۲۰-۷

با توجه به داده‌های مثال ۲۰-۶ حداکثر لحظه‌ای سیل ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله به روش احتمال (stochastic) حساب کنید.

حل

با در نظر گرفتن سیل‌های اندازه‌گیری شده در مثال ۲۰-۵ چنانچه بخواهیم سیلی داشته باشیم که هر ۱۰۰ سال یکبار اتفاق افتد و یا هر ۱۰۰۰ سال یکبار رخ دهد، خواهیم داشت.

$Q_{min} = 150\ m^3/s$

$Q_{av} = 1183\ m^3/s$

$n = 20$

$N = 21$

$T = 100\ ,\ 1000$

$$Q_{100} = 150 + 2.303\ (1183 - 150) \log \frac{(20)(100)}{(21)} = 4857\ m^3/s$$

$$Q_{1000} = 150 + 2.303\ (1183 - 150) \log \frac{(20)(1000)}{(21)} = 7237\ m^3/s$$

مسائل

۲۰-۱ هیدروگراف سیل طراحی رودخانه‌ای با مشخصات زیر را با استفاده از روش SCS برآورد نمائید. هدف از این محاسبات احداث سدی بر روی این رودخانه می‌باشد که با توجه به شرایط محلی این سد در تقسیم بندی SCS در کلاس B قرار می‌گیرد.

- مساحت حوضه ۱۳۰ کیلومتر مربع و شماره منحنی حوضه ۸۰ می‌باشد.
- زمان تمرکز حوضه ۶ ساعت
- حداکثر باران ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۱۰۰ سال ۸۰ میلی متر
- حداکثر بارش محتمل در ۲۴ ساعت ۱۹۰ میلی متر

۲۰-۲ بر اساس یک تحلیل منطقه‌ای حداکثر دبی مشاهده شده در حوضه‌های با وسعت مختلف به شرح زیر بوده است. ضرایب c و n را در معادله $Q = cA^n$ بدست آورید.

وسعت (km^2)	20	35	75	110	156	220	250	315
دبی (m^3/sec)	310	450	530	600	700	760	805	850

۲۰-۳ میانگین و انحراف از معیار حداکثر دبی سالانه در یک حوضه آبریز که دارای ۸۰ سال آمار می‌باشد به ترتیب ۴۱۰۰ و ۱۶۰۰ متر مکعب در ثانیه است. با استفاده از روش گامبل دوره برگشت مربوط به سیل ۹۱۰۰ متر مکعب در ثانیه چقدر است.

۲۰-۴ در یک دوره آماری ۳۰ ساله در بیش از ۶۰ بار حداکثر دبی سالانه بیش از ۱۰۰۰ متر مکعب در ثانیه بوده است حال آنکه طی این مدت تنها دوبار دبی ماکزیمم از ۳۵۰۰ متر مکعب در ثانیه بیشتر بوده است. دوره برگشت و احتمال وقوع آنها را محاسبه کنید.

۲۰-۵ در یک حوضه آبریز با ۵۰ سال آمار سیل ۱۰ ساله ۲۰۲۰۰ و سیل ۱۰۰ ساله ۳۸۵۰۰ متر مکعب در ثانیه محاسبه شده است. مقدار سیل ۲۰۰ ساله این حوضه چقدر است. احتمال اینکه ۵۰ ساله این حوضه در طی ۱۰ سال آینده رخ دهد چقدر است.

منابع برای مطالعه بیشتر

1- Soil Conservation Services; (1973). *A method for estimation volume and rate of runoff in small watersheds,* SCS- TP- 149.

2- Wandle, S. W., (1983). *Estimating peak discharges of small, rural streams.* Water supply paper 2214, U.S.G.S. Washington, D.C

3- World Meteorological Organization, (1969). *Estimation of maximum floods.* Technical note 98, WMO, Geneva.