

فصل نهم: رواناب سطحی

۹-۱- کلیات

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیشتر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می‌ماند. این آب پس از پر کردن گودیهای سطح زمین (که به آن چالاب گفته می‌شود) در امتداد شیب زمین جریان پیدا کرده و از طریق شبکه آبراهه ها و سپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می‌گردد. به این بخش از بارندگی (که می‌توان مقدار آن را در رودخانه‌ها اندازه‌گیری کرد) رواناب سطحی^۱ می‌گویند. با توجه به اینکه خصوصیات حوضه نسبتاً ثابت است قاعداً بین بارندگی و رواناب می‌توان یک رابطه مستقیم انتظار داشت. بطوری‌که اگر برای چند سال متوالی بارندگی سالانه حوضه و روانابی را که از آن خارج شده است اندازه‌گیری کرده باشیم می‌توان مختصات نقاط مربوط را نسبت به هم در یک دستگاه محور مختصات رسم کرده و برای آنها یک خط یا منحنی را برازش داد. مثلاً در شکل (۹-۱) رابطه بین بارندگی سالانه (سانتی‌متر) و رواناب سالانه (سانتی‌متر) برای یک حوضه آزمایشی بر اساس داده‌هایی که در سال‌های مختلف جمع‌آوری 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 بارندگی‌ها و یا تغییرات سطح حوضه داشته است. از روی شیب خط مذکور که در این شکل ۰/۵۷ می‌باشد می‌توان رابطه ریاضی بین بارندگی P 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. رابطه رواناب و بارندگی بر اساس نموداری که در شکل ۹-۱ الف رسم شده است از نظر ریاضی بصورت زیر می‌باشد.

¹ Surface run-off

$$R = \frac{1}{S'}(P - P_a) \quad (۱-۹)$$

در این معادله:

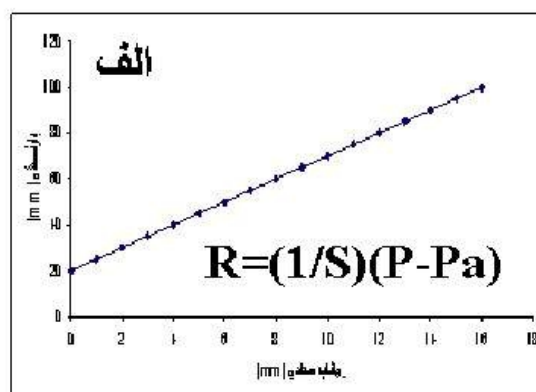
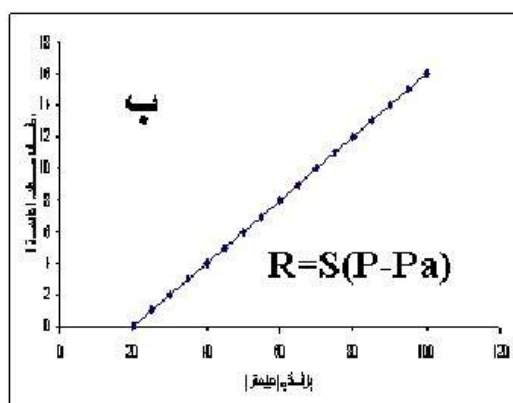
R = ارتفاع سالانه رواناب بر حسب سانتی متر

S' = شیب خط

P = بارندگی سالانه بر حسب سانتی متر

P_a = عرض از مبدأ

در شکل ۹-۱ ب معادله خط را به صورت $R=0.57(P-24)$ نیز می توان نوشت. مثلاً اگر مقدار باران متوسط در یک سال ۲۴ سانتی متر باشد، مقدار رواناب از روی این معادله $۵/۷$ سانتی متر تخمین زده می شود. استخراج چنین رابطه هایی برای حوضه ها در هیدرولوژی با اهمیت بوده و می تواند از نظر تخمین برآورد سالانه رودخانه ها مفید باشد. اما بدست آوردن این نوع رابطه تنها در صورتی امکان پذیر است که داده های اندازه گیری شده بارندگی و رواناب در حوضه وجود داشته باشد.



شکل ۹-۱- رابطه بین بارندگی و رواناب سطحی

۹-۲- ارتفاع رواناب

رواناب حاصله از بارندگی را می توان بر حسب ارتفاع یا حجم توصیف کرده و آن را به روش های مختلف برآورد نمود که به پاری 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:

$$R = C . P \quad (۹-۲)$$

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 می توان از جدول (۹-۱) و یا (۹-۲) تخمین زد.

جدول ۹-۱- 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	۱۰	۳۰		۰-۵	۱۰	۳۰
اراضی شهری پا:				اراضی مرتعی پا			
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 پا				اراضی جنگلی پا			
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

استرانگ^۱ با استفاده از داده های موجود در ایالت ماهرشتر در هند جدولی را بر اساس نسبت بین باران و رواناب در شرایط مختلف رطوبتی حوضه مطابق جدول ۹-۳ ارائه نموده است. در مواردی که اطلاعاتی در دست نباشد از این جدول برای تخمینی از حدود ارتفاع رواناب بر اساس بارش روزانه می توان استفاده کرد.

¹ Strange

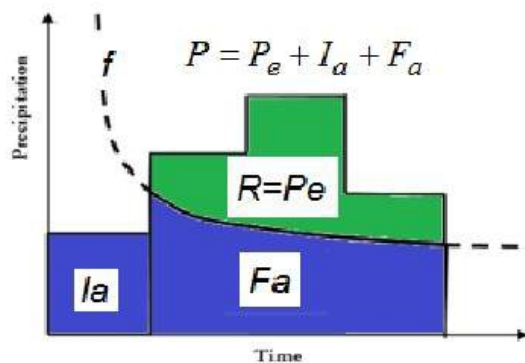
جدول (۳-۹) جدول استراندگ برای برآورد ارتفاع رواناب روزانه (Mutregya, 1990)

درصد و مقدار رواناب شرایط رطوبتی مرطوب		درصد و مقدار رواناب شرایط رطوبتی نیم مرطوب		درصد و مقدار رواناب در شرایط رطوبتی خشک		باران روزانه mm
ارتفاع رواناب mm	درصد	ارتفاع رواناب mm	درصد	ارتفاع رواناب mm	درصد	
۰.۳۵	7	۰.۲۰	4	-	-	۵
۱.۰۰	10	۰.۵۰	5	۰.۱۰	1	۱۰
۳.۰۰	15	۱.۸۰	9	۰.۴۰	2	۲۰
۴.۵۰	18	۲.۷۵	11	۰.۷۵	3	۲۵
۶.۰۰	20	۳.۹۰	13	۱.۲۰	4	۳۰
۱۱.۲۰	۲۸	۷.۲۰	۱۸	۲.۸۰	۷	۴۰
۱۷.۰۰	۳۴	۱۱.۰۰	۲۲	۵.۰۰	۱۰	۵۰
۲۴.۶۰	۴۱	۱۶.۸۰	۲۸	۸.۴۰	۱۴	۶۰
۳۳.۶۰	۴۸	۲۳.۱۰	۳۳	۱۲.۶۰	۱۸	۷۰
۳۹.۰۰	۵۲	۲۷.۷۵	۳۷	۱۵.۰۰	۲۰	۷۵
۴۴.۰۰	۵۵	۳۱.۲۰	۳۹	۱۷.۶۰	۲۲	۸۰
۵۵.۸۰	۶۲	۳۹.۶۰	۴۴	۲۲.۵۰	۲۵	۹۰
۷۰.۰۰	۷۰	۵۰.۰۰	۵۰	۳۰.۰۰	۳۰	۱۰۰

توضیح: با توجه به شرایط مطلوب و یا نامطلوب حوضه از نظر زمین شناسی می توان تا ۲۵ در صد از این مقدار را اضافه و یا کم کرد.

۹-۲-۲ روش حفاظت منابع طبیعی آمریکا

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



$$P_e \leq P$$

$$F_a \leq S$$

$$P - I_a$$

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a}$$

$$I_a = 0.2S$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

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 $I_a = 0.2S$ مقدار P_e یا R به صورت زیر محاسبه می شود:

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

که در آن:

P_e 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:

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

در این معادله CN شماره منحنی مربوط به مقدار نفوذ آب در حوضه می باشد. شماره منحنی (CN) برای وضعیت های مختلف حوضه های 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 ویژگی های 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 دانه بندی 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 می شوند.

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	۷/۵ تا ۳/۸
C	۲/۸ تا ۱/۳
D	۱/۳ تا ۰

مقدار CN برای هر گروه هیدرولوژیکی با توجه به کاربری اراضی مطابق جدول (۵-۹) تعیین می گردد. 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 متوسط گیری می شود. جدول (۵-۹) برای حالت متوسط از نظر شرایط رطوبت پیشین می باشد. 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 (۶-۹) ارایه شده است. برای تبدیل CN از شرایط متوسط به شرایط مرطوب و خشک از روابط زیر استفاده می شود.

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

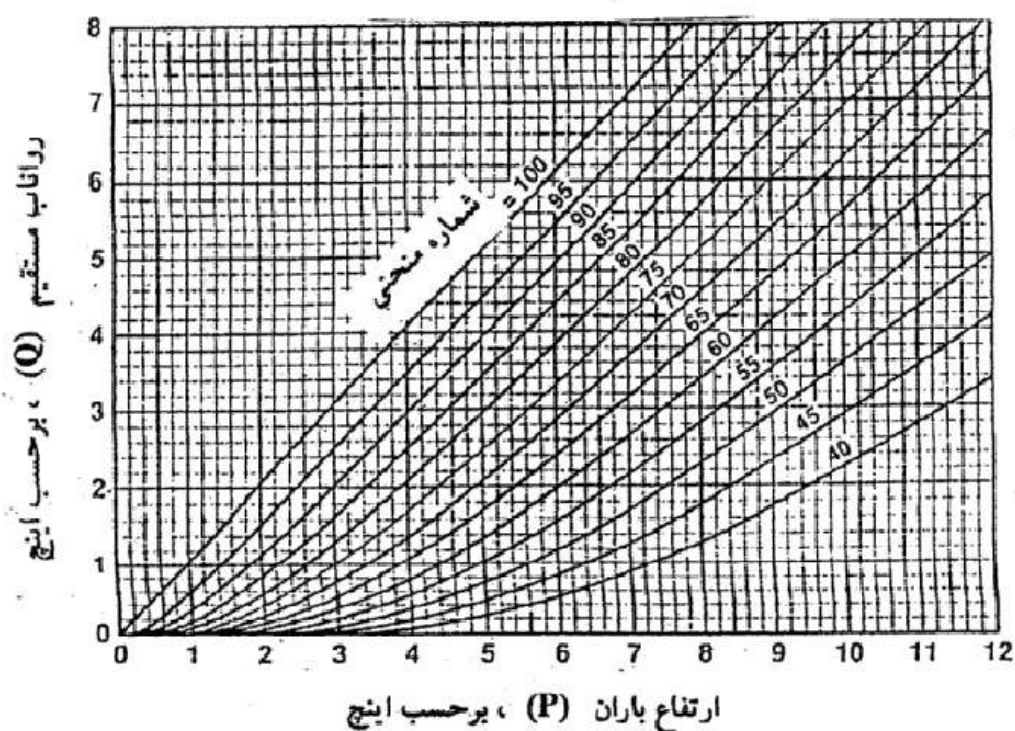
$$CN_{(III)} = \frac{23 \times CN_{(II)}}{10 + 0.13 \times CN_{(II)}} \quad (۶-۹)$$

روش CN در اصل یک روش قطعی^۱ است که می توان از آن به صورت احتمالی هم استفاده کرد. یعنی اگر بجای P ارتفاع بارانی با دوره بازگشت T قرار گیرد، ارتفاع رواناب هم با همان دوره بازگشت برآورد می شود. 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 می گذرد، اما برای حوضه هایی که در آن ها نگهداشت سطحی زیاد است اولاً این رابطه بصورت یک منحنی نمایی است، ثانياً با افزایش شاخص S منحنی از مرکز مختصات نیز فاصله گرفته و بخش زیادی از بارندگی بدون آنکه جاری شود در سطح حوضه نگهداشته می شود. در صورتی که در فرمول (۳-۹) مقدار P بر حسب میلی متر باشد و بخواهیم R نیز بر حسب میلی متر محاسبه شود در آن صورت لازم است که S نیز بر حسب میلی متر باشد در این صورت مقدار S برابر خواهد بود با:

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

¹ Deterministic

برای سادگی و سرعت در برآورد ارتفاع رواناب، منحنی‌هایی مطابق شکل (۳-۹) برای این روش ارائه شده است.



شکل (۳-۹) رابطه بین بارش تجمعی و روان آب تجمعی برای مقادیر مختلف CN

جدول (۵-۹) شماره منحنی برای حوضه‌های شهری (SCS, ۱۹۸۶)

شماره منحنی برای گروه های هیدرولوژیکی خاک				نوع پوشش	
D	C	B	A	نوع پوشش و شرایط هیدرولوژیکی	
مناطق شهری کاملاً توسعه یافته (فضای سبز ایجاد شده است).					
مناطق باز (فضای سبز، پارکها، زمینهای گلف) قبرستان ها و غیره					
۸۹	۸۶	۷۹	۶۸	شرایط بد (پوشش علفی $> 50\%$)	
۸۴	۷۹	۶۹	۴۹	شرایط متوسط (پوشش علفی 50% تا 75%)	
۸۰	۷۴	۶۱	۳۹	شرایط خوب (پوشش علفی $< 75\%$)	
سطوح نفوذناپذیر					
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	پیاده رویهای پارکینگ، پشت بامها، جاده ها و غیره (به استثنای حاشیه)	
جاده ها و خیابان ها					
۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	پیاده رویها آسفالت یا آبراهه های دفع رواناب (به استثنای حاشیه)	
۹۳	۹۲	۸۹	۸۳	پیاده روی یا آبراهه های رویان (شامل حاشیه)	
۹۱	۸۹	۸۵	۷۶	جاده شوسه (شامل حاشیه)	
۸۹	۸۷	۸۲	۷۲	جاده خاکی (شامل حاشیه)	
مناطق بدون پوشش شهری					
۸۸	۸۵	۷۷	۶۳	مناطق بدون پوشش طبیعی (فقط مناطق نفوذپذیر)	
۹۶	۹۶	۹۶	۹۶	مناطق بدون پوشش مصنوعی (مناطق بیابانی نفوذناپذیر، مناطق شهری با پوشش ۱ تا ۲ اینچ شن و یا ماسه)	
				متوسط درصد سطح غیر قابل نفوذ	محدوده های شهری
۹۵	۹۴	۹۲	۸۹	۸۵	مناطق تجاری
۹۳	۹۱	۸۸	۸۱	۷۲	مناطق صنعتی
مناطق مسکونی یا متوسط قطعات (بر حسب مترمربع)					
۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	۶۵	۵۰۰ یا کمتر (خانه های ویلایی نوساز)
۸۷	۸۳	۷۵	۶۱	۳۸	۱۰۰۰
۸۶	۸۱	۷۲	۵۷	۳۰	۱۳۵۰
۸۵	۸۰	۷۰	۵۴	۲۵	۲۰۰۰
۸۴	۷۹	۶۸	۵۱	۲۰	۴۰۰۰
۸۲	۷۷	۶۵	۴۶	۱۲	۸۰۰۰
مناطق شهری توسعه یافته					
۹۴	۹۱	۸۶	۷۷	مناطق جدید تسطیح شده (مناطق نفوذپذیر بدون پوشش علفی)	

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 میلی‌متر	بر حسب اینچ
				بر حسب میلی‌متر	بر حسب اینچ
خشک I				کمتر از ۰/۵	کمتر از ۱/۴
متوسط II				۱/۱ - ۰/۵	۲/۱ - ۱/۴
مرطوب III				بیش از ۱/۱	بیش از ۲/۱

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:

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

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

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

مقدار ارتفاع رواناب 0.4845 اینچ (12.3 میلی متر) یا 24 درصد بارندگی است. حجم رواناب برای سطح ۴ هکتار برابر است با:

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

مقدار 0.24 در این مثال را ضریب رواناب^۱ می گویند که از تقسیم ارتفاع رواناب بر ارتفاع بارندگی بدست می آید.

مثال ۹-۲: مقدار CN در یک حوضه برابر ۶۹ می‌باشد. چنانچه بارندگی ۷۵ میلی متر باشد ارتفاع رواناب را محاسبه کنید. اگر سطح حوضه ۲۰ کیلومتر مربع باشد حجم رواناب چقدر است؟

حل مسئله:

$$CN = 69$$

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

¹ Run-off coefficient

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

$$R = \frac{(3 - 0.2 \times 4.46)^2}{(3 + 0.8 \times 4.49)}$$

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

$$Q = 20 \times 10^6 \times \frac{17}{1000} = 340000 \text{ m}^3$$

۵۰ mm = ۲ in مساحت باریک که بعضی برای چمن در سوره هیدرولیک B قرار دارد و خاک به دلیل بارزگی ها از قبل مرطوب است.

سما و منحنی CN = جدول ۵-۹ می ۱/۵۰ جدول ۵-۹ فضای سبز گره B شماره خوب پوشش علفی < ۷۵٪ تقریباً شماره منحنی ۴۰ ای ۴۱ حالا حل کف ۶۰ و چون لایه خاک مرطوب است پس شماره منحنی با فرمول (۴-۹) مبتنی بر شرایط مرطوب عوض خواهد شد.

$$CN_{II} = \frac{23 \times 4}{1.0 + 0.13 \times 4} = \frac{92}{1.52} = 60.5$$

$$S = \frac{1000}{60.5} - 1.0 = 16.36 \text{ in}$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 1.0$$

$$R = \frac{(P - 0.5S)^2}{(P + 0.5S)} = \frac{(2 - 0.5 \times 16.36)^2}{(2 + 0.5 \times 16.36)} = 0.4845 \text{ in}$$

$$R = 0.4845 \text{ in} \times 25.4 = 12.3 \text{ mm}$$

مقدار ارتفاع رواناب ۰/۴۸۴۵ اینچ (۱۲/۳) میلی متر است حجم رواناب برای سطح عهله

$$Q = 12.3 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} \times 40000 \text{ m} = 192 \text{ m}^3$$

حجم رواناب

$$C = \frac{R}{P} = \frac{12.3}{2} = 0.615$$

ضریب رواناب

CN = 49 و بارزگی ۷۵ میلی متر ارتفاع رواناب آنز سطح حوزه ۲۰ کیلومتر مربع باشد حجم رواناب حقدراست؟

$$CN = 49$$

$$P = 75 \text{ mm} \div 25.4 \approx 2.95 \text{ in}$$

$$S = \frac{1000}{49} - 1.0 = 20.41 - 1.0 = 19.41$$

$$R = \frac{(P - 0.5S)^2}{(P + 0.5S)} = \frac{(2.95 - 0.5 \times 19.41)^2}{(2.95 + 0.5 \times 19.41)} = 0.47 \text{ in}$$

$$0.47 \times 25.4 = 11.94 \text{ mm}$$

$$Q = 2.0 \text{ km}^2 \times \frac{10^6 \text{ m}^2}{1 \text{ km}^2} \times 11.94 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} = 23880 \text{ m}^3$$

حجم رواناب

باید توجه داشت که استفاده از فرمول‌های ۳-۹ تا ۵-۹ فقط مربوط به یک بارش مجزاست و نمی‌توان آن را فرضاً برای کل بارندگی سالانه، که در آن بارندگی‌ها به دفعات صورت می‌گیرد، بکار برد. با این وجود از آنجایی که در مناطق خشک بارش‌ها عمدتاً زمستانه و فقط در یک دوره کوتاه زمستانه صورت می‌گیرد. بعضی از کارشناسان فرمول‌های فوق را برای بارندگی سالانه نیز بکار برده‌اند.

۴-۹- 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 پروژه‌ها 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 مدل‌ها وجود نداشته باشد می‌توان از روش‌های ساده تجربی زیر به عنوان الگو استفاده کرد.

۱-۴-۹ تخمین آبدهی با فرمول خوسلا^۲

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

$$R = P - \frac{T}{3.74} \quad (8-9)$$

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 داده‌های محلی واسنجی شود.

$$R_m = P_m - L_m \quad (9-9)$$

$$\text{if } \Rightarrow T_m > 4.5^{\circ}C \Rightarrow \text{then } \Rightarrow L_m = 5T_m \quad (10-9)$$

$$\text{if } \Rightarrow T_m < 4.5^{\circ}C \Rightarrow \text{then } \Rightarrow L_m \Rightarrow \text{from Table}(6-9) \quad (11-9)$$

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

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

¹ Water yeild

² Khola

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 حوضه‌ها استوار است. در این روش ابتدا در منطقه مورد مطالعه یک حوضه آبریز را، که دارای آمار اندازه‌گیری آب است، انتخاب و مشخصات آن که به شرح زیر است تعیین می‌شود.

مساحت حوضه، A (کیلومتر مربع)

حداکثر ارتفاع حوضه، H_{max} (کیلومتر)

حداقل ارتفاع حوضه، H_{min} (کیلومتر)

آبدهی سالانه، W (میلیون متر مکعب)

متوسط بارش سالانه در حوضه، P (سانتی متر)

متوسط دمای سالانه هوا، T (سانتی گراد)

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

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

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

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

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

مثال ۹-۴: آبدهی سالانه حوضه ای را در منطقه بیرجند با مشخصات فیزیکی به شرح زیر برآورد کنید.

- مساحت حوضه $A=3230 \text{ km}^2$
 - حداکثر ارتفاع از سطح دریا $H_{max}=2787 \text{ m}$
 - حداقل ارتفاع از سطح دریا $H_{min}=1100 \text{ m}$
 - متوسط بارش سالانه $P=166 \text{ mm}$
 - دمای متوسط سالانه حوضه $T=12.2^\circ \text{C}$
- در یک حوضه دیگر به نام حوضه رودخانه سالار واقع در همین منطقه مشخصه‌های فیزیکی و آبدهی سالانه آن به شرح زیر معلوم می‌باشد:
- مساحت حوضه رودخانه سالار $A=2070 \text{ km}^2$
 - حداکثر ارتفاع حوضه رودخانه سالار $H_{max}=2700 \text{ m}$

¹ Justin

- حداقل ارتفاع حوضه رودخانه سالار $H_{min}=1230 \text{ m}$
- آبدهی سالانه رودخانه سالار بر اساس اندازه گیری های موجود ۴۰ میلیون متر مکعب
- متوسط بارش سالانه در حوضه سالار $P=250\text{mm}$
- متوسط دمای سالانه $T=13.7^{\circ}\text{C}$

حل مسئله:

ابتدا ضریب K را برای حوضه رودخانه سالار با استفاده از فرمول های زیر محاسبه می شود و آنرا به رودخانه مورد نظر تعمیم می دهیم.

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

$$S = 0.03231$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$W = A.R$$

$$W = (3230 \times 10^6)(0.88 \times 10^6) = 27.32 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$W = 27.32 \text{ Mm}^3$$

بنابراین مقدار آورد سالانه این حوضه ۲۷/۳۲ میلیون متر مکعب در سال تخمین زده می شود.

در صورت عدم دسترسی به داده های اندازه گیری برای تعیین ضریب K در منطقه لازم است که برحسب وضعیت حوضه رقمی را برای آن تخمین زد.