دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

هیدرولوژی

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

نفوذ

آبی که به صورت بارش به زمین می‌رسد مقداری از آن در زمین نفوذ می‌کند و مقداری که باقی مانده به صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود. فوائد نفوذ آب در زمین عبارتند از:

- کاهش میزان سیل
- کاهش میزان شسته شدن خاک
- فراهم کردن آب برای ریشه گیاهان
- تغذیه منابع آب زیرزمینی
- کمک به تامین جریان آب مورد نیاز برای دوره‌های خشک

در فصول گذشته چگونگی تخمین میزان بارش عنوان شد. اکنون اگر بتوان مقداری را که آب در زمین نفوذ می‌کند به دست آورد با کم کردن این مقدار، میزان آبی که در دسترس است به دست می‌آید. توجه شود که نفوذ آب به معنای از دست رفتن آب نیست، بلکه آب هنگامی که در زمین نفوذ می‌کند فقط از دسترس خارج می‌شود.

عوامل موثر بر نفوذ: عوامل زیادی سرعت نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهند. وضعیت سطح خاک و پوشش گیاهی آن، مشخصه های خاک نظیر تخلخل و قابلیت هدایت هیدرولیکی و رطوبت خاک از جمله ی آنها می باشند. در طبیعت معمولا لایه های مختلفی از خاکها با ویژگی های مکانیکی متفاوت، بر روی یکدیگر قرار می گیرند و این مسئله، سرعت نفوذ را تحت تاثیر قرار می دهد.

سرعت نفوذ، f، نرخ ورود آب به خاک در سطح زمین است. در صورتی که شدت بارش بیشتر از نرخ نفوذ باشد، آب بر روی سطح زمین باقی می ماند و نرخ نفوذ، به مقدار پتانسیلی خود میرسد. بیشتر معادله های نفوذ، نرخ نفوذ پتانسیلی را بیان می کنند. نفوذ تجمعی، F ، برابر عمق نفوذ آب در یک بازه ی زمانی مشخص است که با انتگرال‌گیری از نرخ نفوذ به دست می آید:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau)\, d\tau$$

خصوصیات نفوذ

۱- اگر شدت بارندگی بیش از ظرفیت اولیه نفوذ (f_0) باشد رواناب خواهیم داشت.

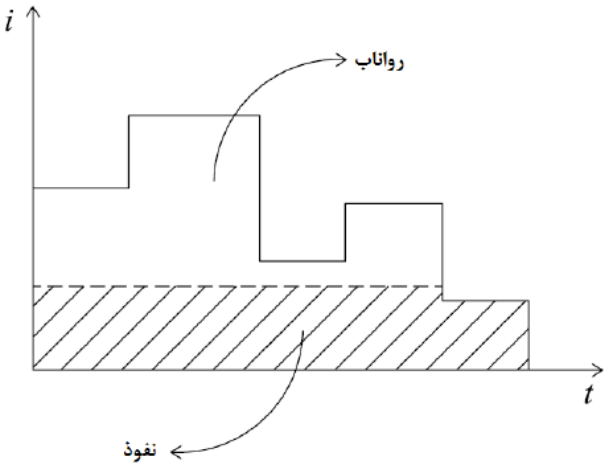
۲- میزان نفوذ آب به شدت و مدت بارندگی بستگی دارد.

۳- شرایط سطح زمین (پوشش) در نفوذ مؤثر است.

برای محاسبه‌ی مقدار نفوذ آب می‌توان از چهار روش استفاده کرد:

- **روش اندیس فی ϕ**
- **روش هورتون**
- **روش فیلیپ**
- **روش *SCS***

اکنون هر یک از این روشها را مورد بررسی قرارمی‌دهیم.



روش اندیس فی ϕ

فرض می کنیم نمودار شدت بارش برحسب زمان به صورت مقابل داده شده باشد. در این روش خطی افقی را مرز بین نفوذ و رواناب فرض می‌کنیم. مساحت زیرخط به عنوان عمق نفوذ و مساحت بالای خط به عنوان عمق رواناب بیان می‌شود.

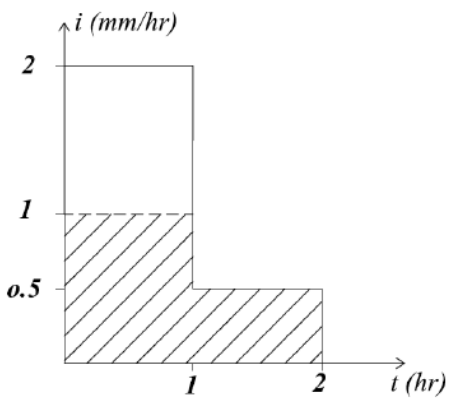
مثال: نمودار بارش به صورت مقابل مفروض است. برای $\phi = 1\frac{mm}{hr}$ مقدار نفوذ را تعیین کنید.

عمق نفوذ $F = 1(1)+0.5(1)=1.5mm$

عمق بارش $P =$ مساحت کل $= 2.5mm$

بارش موثر $P_e = 2.5\text{-}1.5 = 1\ mm$

ϕ را شدت نفوذ می‌نامند.



مثال: بارانی به مدت ٦ ساعت باریده و مقادیر شدت آن در ساعات مختلف به ترتیب ۰/۵ ، ۱/۵ ، ۱/۲ ، ۰/۳، ۱/۰ ، ۰/۵ سانتی متر در ساعت بوده است. مقدار رواناب مستقیم ۲ سانتی متر تخمین زده می شود، با صرف نظر از تبخیر و تعرق، اندیس فی را بیابید؟

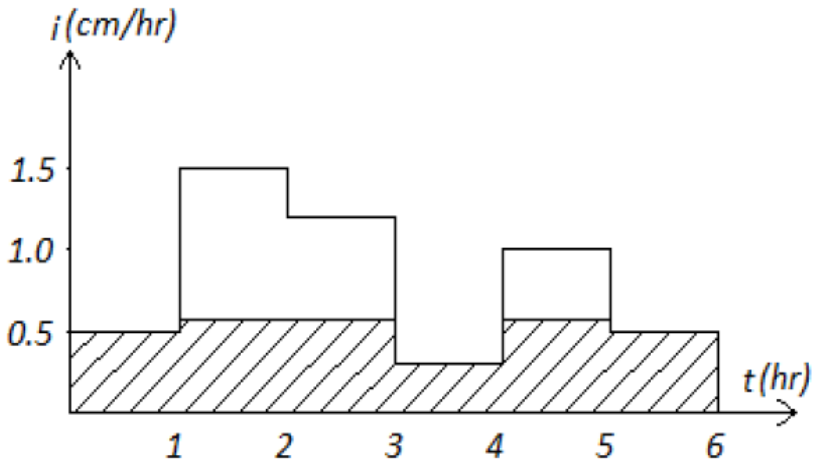
مقدار رواناب، Q ، برابر ۲ سانتی متر است، مقدار بارش نیز برابر

$$P = 0.5 + 1.5 + 1.2 + 0.3 + 1.0 + 0.5 = 5\ cm$$

با صرف نظر از تبخیر و تعرق، می توان گفت $I = P - Q = 3cm$ (نفوذ)

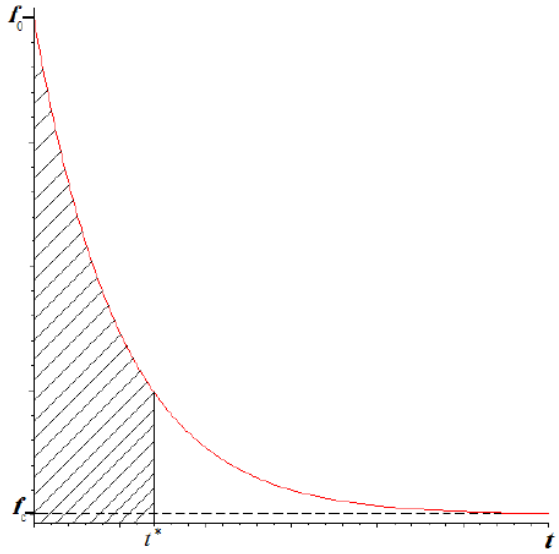
$$\phi = {}^{I}/_{t} = 0.5\ {}^{cm}/_{h}$$

به نظر می رسد که مقدار فی حساب شده باشد، اما با کمی دقت و محاسبه ی رواناب با در نظر گرفتن $\emptyset = 0.5$ مشاهده می شود که $Q = 2.2\ cm$ می شود. علت این مسئله نیز نکته ی بالا می باشد. پس باید مقدار نفوذ بیشتر باشد، یعنی اندیس $\emptyset$ بزرگتر باشد تا مقدار رواناب کوچکتر شود. با سعی و خطا کردن، در میابیم که مقدار $\emptyset = 0.567\ {}^{cm}/_{h}$ درست است و با این مقدار است که رواناب برابر ۲ سانتی متر می شود.



روش هورتون

نظر هورتون این بود که چون در ساعت‌های اولیه زمین تشنه است نرخ نفوذ اولیه زیاد است و با گذشت زمان این نرخ نفوذ به صورت نمایی کاهش می‌یابد. اگر f_0 شدت نفوذ اولیه و f_c شدت نفوذ نهایی باشد آنگاه خواهیم داشت:



$$f = f_c + (f_0 - f_c)\, e^{-kt}$$

در رابطه‌ی بالا f پتانسیل شدت نفوذ یعنی مقداری که زمین نیاز به نفوذ آب دارد. حال اگر مقدار بارش از میزان پتانسیل شدت نفوذ کمتر بود همه‌ی بارش جذب زمین می‌شود. k نیز پارامتری است ثابت که بستگی به نوع خاک هر منطقه دارد و با آزمایش مقدار آن مشخص می‌شود. حال اگر از پتانسیل شدت نفوذ انتگرال‌گیری کنیم عمق نفوذ به دست می‌آید:

$$\text{عمق نفوذ} = F = \int f.dt = f_c t + \frac{f_0 - f_c}{k}(1 - e^{-k.t})$$

اگر این انتگرال از صفر تا t^* گرفته شود عمق نفوذ تا زمان t^* به دست می‌آید.

البته، با کمی تغییر در معادله ی هورتون و لگاریتم (ln) گرفتن از طرفین می توانیم به رابطه زیر برسیم، که اثبات آن به عنوان تمرین، رها می شود.

$$t = \frac{1}{k} ln(f_0 - f_c) - \frac{1}{k}\, ln(f/f_c)$$

اهمیت رابطه ی فوق در تشابه آن با معادله ی خط راست $y = C + mx$ است.

روش فیلیپ

در این روش پتانسیل شدت نفوذ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$i(t) = ½\ St^{-1/2} + K$$

که در این رابطه t زمان و S مکش خاک می‌باشد.

با انتگرال گیری از این عبارت می‌توان عمق نفوذ را به دست آورد.

$$F = \int f\ dt = \int (k + \frac{1}{2} St^{-\frac{1}{2}}) dt$$

$$= St^{\frac{1}{2}} + kt$$

$$\rightarrow F = St^{\frac{1}{2}} + kt$$

به این ترتیب می‌توان عمق نفوذ را تعیین کرد.

مثال: استوانه‌ای با مساحت مقطع آن $A = 40cm^2$ از خاک پرشده است. اگر بعد از گذشت ۱۵ دقیقه مقدار $100cm^3$ آب به این خاک صرفا به صورت مکشی وارد شود. بعد از ۳۰ دقیقه چه مقدار آب در آن نفوذ می‌کند؟ فرض کنید ضریب نفوذپذیری خاک $k = 0.4 \frac{cm}{hr}$ باشد. در بخش اول یعنی زمانی که مقدار $100cm^3$ آب به داخل خاک تزریق می‌شود بخاطر عدم وجود هیدرولیک آب در خاک عبارت دوم حذف می‌شود.

$$F = \frac{100cm^3}{40cm^2} = 2.5cm$$

$$F = St^{\frac{1}{2}} + kt$$

$$\rightarrow 2.5 = S(0.25)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rightarrow S = 5 \quad cmh^{-\frac{1}{2}}$$

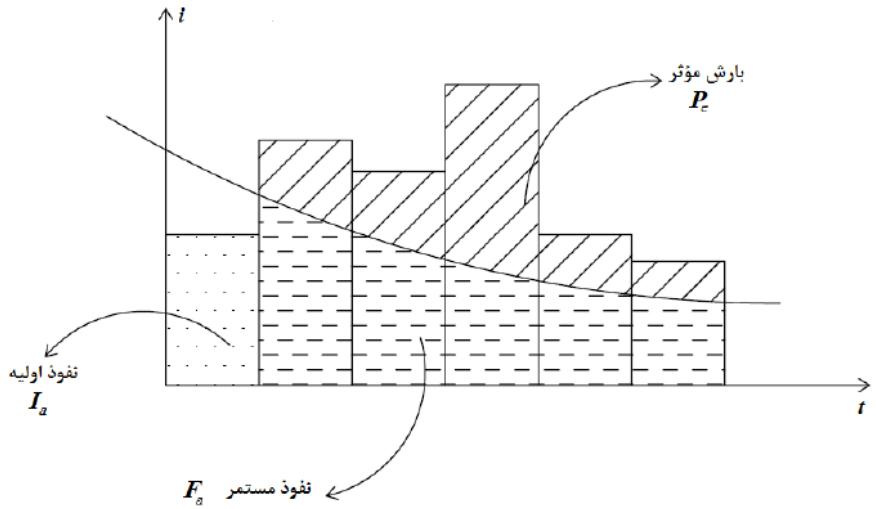
حال با داشتن مقدار مکش می‌توان عمق نفوذ را تعیین کرد.

$$F = 5(0.5)^{\frac{1}{2}} + (0.4)(0.5) = 3.7cm$$

روش *SCS* [1]

این روش از پر استفاده ترین شیوه‌ها برای محاسبات تلفات بارش و به دست آوردن بارش موثر است. به بارش موثر[2] ،بارش اضافه[3] نیز گفته می‌شود. باید دقت داشت که تلفات را چندین پارامتر تشکیل می‌دهد: تبخیر، چالاب، برگاب، نفوذ مستقیم در زمین.

اکنون به بررسی روش *SCS* می‌پردازیم. در این روش با داشتن هیتوگراف بارش و به دست آوردن منحنی نمایی که براساس خصوصیات حوضه تعریف می‌شود می‌توان تلفات بارش را به دست آورد. در این روش تلفات بارش شامل تلفات اولیه[4] (I_a) و تلفات مستمر[5] (F_a) می‌باشد.



نکته ای که باید به آن دقت نمود آن است که نفوذ اولیه قبل از تشکیل حوضچه‌ها در سطح زمین اتفاق می‌افتد. زمان تشکیل حوضچه‌ها را زمان پوندینگ می‌نامند که بعد از این زمان و تشکیل حوضچه‌ها آب در سطح زمین جاری می‌شود.

با توجه به آنچه در نمودار دیده می‌شود می‌توان نوشت:

کل بارش = بارش موثر + نفوذ اولیه + نفوذ مستمر

$$P = P_e + I_a + F_a \qquad (1)$$

با فرض رابطه‌ی روبه رو:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \qquad (2)$$

S: حداکثر ظرفیت نگهداشت[1]. به کمک رابطه های ۱ و ۲ در این صورت می‌توان نوشت:

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

اگر مساحت منطقه مورد بررسی زیر ۲۰۰ هکتار برقرار باشد (I_a=0.2*S) خواهد بود. در صورت وجود مساحت بزرگتر و یا تغییر شدید کاربری عدد ۰/۲ کمتر خواهد شد.

در نهایت رابطه‌ی بالا به صورت زیر خلاصه می‌شود:

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

در این رابطه تنها کافیست S را به دست آوریم تا بارش موثر به دست آید. مقدار S براساس نوع خاک و کاربری زمین مورد نظر مشخص می‌شود.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

مقدار S بر حسب in است. مقدار CN[1] را می‌توان از روی جدول‌های موجود مشخص کرد.

Land Use Description		**Hydrologic Soil Group**			
		A	**B**	**C**	**D**
Cultivated land[1]: without conservation treatment		72	81	88	91
with conservation treatment		62	71	78	81
Pasture or range land: poor condition		68	79	86	89
good condition		39	61	74	80
Meadow: good condition		30	58	71	78
Wood or forest land: thin stand, poor cover, no mulch		45	66	77	83
good cover[2]		25	55	70	77
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
good condition: grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84
Commercial and business areas (85% impervious)		89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)		81	88	91	93
Residential[3]:					
Average lot size	Average % impervious[4]				
1/8 acre or less	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84

باید به این نکته توجه کرد که این جدول برای شرایط رطوبت اولیه‌ی خاک در وضعیت طبیعی تنظیم شده است. در صورتی که خاک از حالت طبیعی خارج باشد (خشک یا خیلی مرطوب باشد) مقدار CN به صورت ضریبی از مقدار داده شده در جدول محاسبه می شود. اگر فرض کنیم:

شرایط طبیعی AMC^2 (II)

شرایط خشک AMC (I)

شرایط مرطوب AMC (III)

در این صورت خواهیم داشت:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

مثال: رواناب حاصل از یک بارش ۵ اینچی در یک حوضه ی ۸۰ هکتاری که ۵۰٪ خاک آن از گروه B و ۵۰٪ آن از گروه C است را بیابید. در صورتی که:

۴۰٪ مساحت، مسکونی با ۳۰٪ نفوذناپذیری؛ ۱۲٪ مسکونی با ٦۵٪ نفوذناپذیری؛ ۱۸٪ جاده سنگفرش شده با جدول فاضلاب؛ ۱٦٪ زمین باز که نیمی از آن دارای پوشش گیاهی ضعیف و نیم دیگر دارای پوشش گیاهی خوب است؛ ۱٤٪ پارکینگ و دیگر زمین های نفوذناپذیر.

کاربری زمین	گروه هیدرولوژیکی خاک					
	B			C		
	٪	CN	ضرب	٪	CN	ضرب
مسکونی (۳۰٪ نفوذ ناپذیری)	۲۰	۷۲	۱٤٤۰	۲۰	۸۱	۱٦۲۰
مسکونی (٦۵٪ نفوذ ناپذیری)	٦	۸۵	۵۱۰	٦	۹۰	۵٤۰
جاده	۹	۹۸	۸۸۲	۹	۹۸	۸۸۲
زمین باز : پوشش خوب	٤	٦۱	۲٤٤	٤	۷٤	۲۹٦
زمین باز : پوشش ضعیف	٤	٦۹	۲۷٦	٤	۷۹	۳۱٦
پارکینگ و ...	۷	۹۸	٦۸٦	۷	۹۸	٦۸٦
جمع	۵۰		٤۰۳۸	۵۰		٤۳٤۰

ابتدا با تنظیم جدولی مشابه بالا، اقدام به محاسبه ی CN معادل می کنیم:

$$\overline{CN} = \frac{4038 + 4340}{100} = 83.8 \quad \Rightarrow \quad S = \frac{1000}{\overline{CN}} - 10 = 1.93\ inch$$

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} = 3.25\ inch$$