هیدرولوژی مهندسی

Engineering Hydrology

مدرس: سمیه جنت رستمی

rostami.somaye@gmail.com

مراجع:

۱- اصول هیدرولوژی کاربردی، تألیف دکتر امین علیزاده (استاد دانشگاه فردوسی مشهد)، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)

۲- هیدرولوژی کاربردی (جلد دوم)، تألیف دکتر محمد مهدوی (استاد دانشگاه تهران)، انتشارات دانشگاه تهران

۳- هیدرولوژی مهندسی (جلد دوم)، تألیف دکتر محمد نجمایی (استاد دانشگاه علم و صنعت ایران)، انتشارات سارا

۴- هیدرولوژی مهندسی، تألیف دکتر حمیدرضا صفوی (استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان)، انتشارات ارکان

1- Applied Hydrology, by V.T. Chow, D. Maidment, and L. Mays

سرفصل درس

- رواناب سطحی (هیدروگراف سیلاب، هیدروگراف واحد طبیعی و مصنوعی)
- رژیم رودخانه
- روندیابی سیلاب (رودخانه و مخزن)
- آمار و احتمالات در هیدرولوژی
- برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی در مناطق فاقد آمار
- هیدرولوژی رسوبات، اندازه گیری رسوب، منحنی های سنجش رسوب، رسوبگذاری در مخازن سدها

ارزیابی

عملی: ۶/۵ نمره

امتحان پایانترم: ۱۳ نمره

حضور و غیاب: ۱ نمره

جلسه اول

تحلیل هیدروگراف

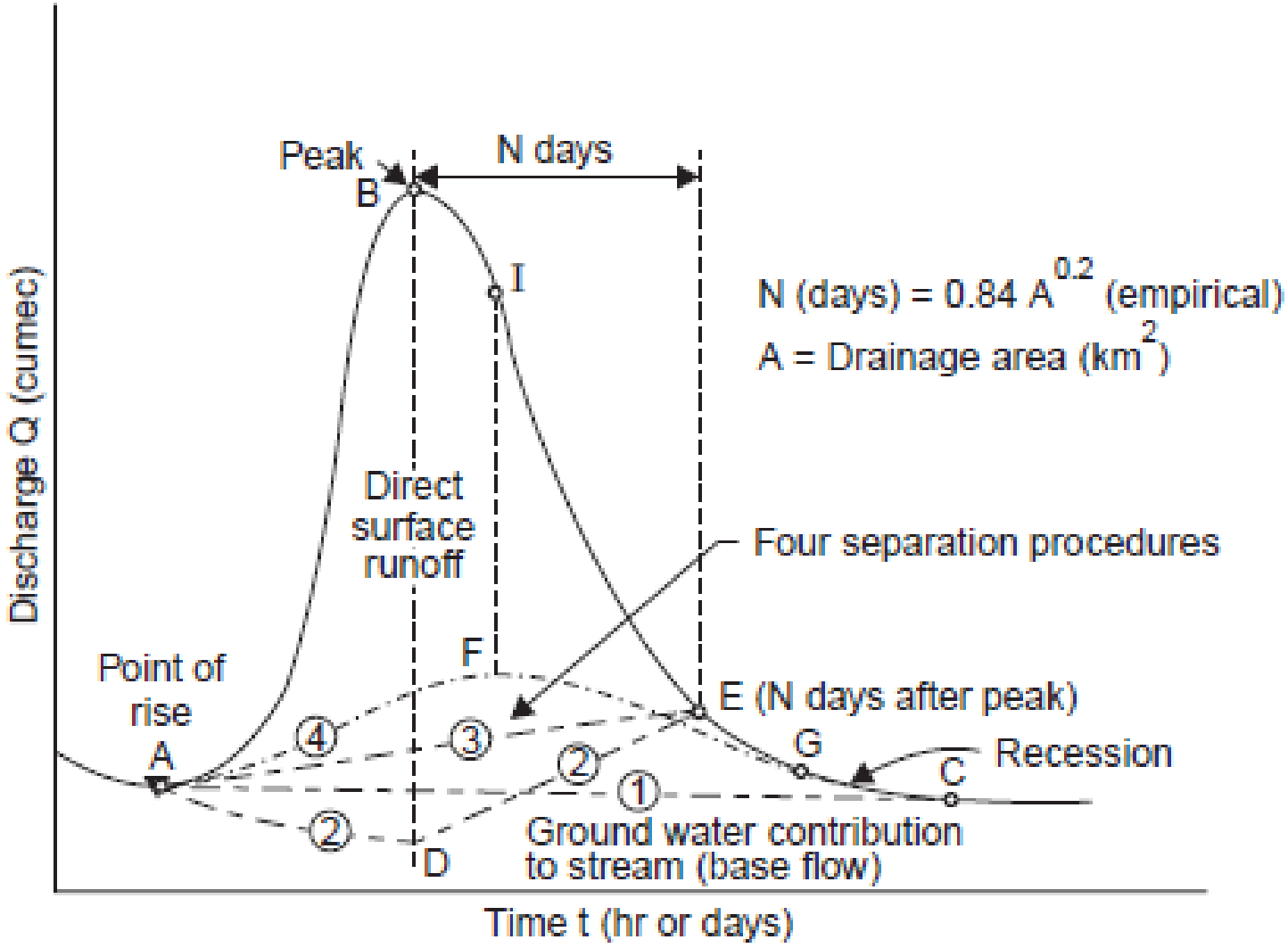
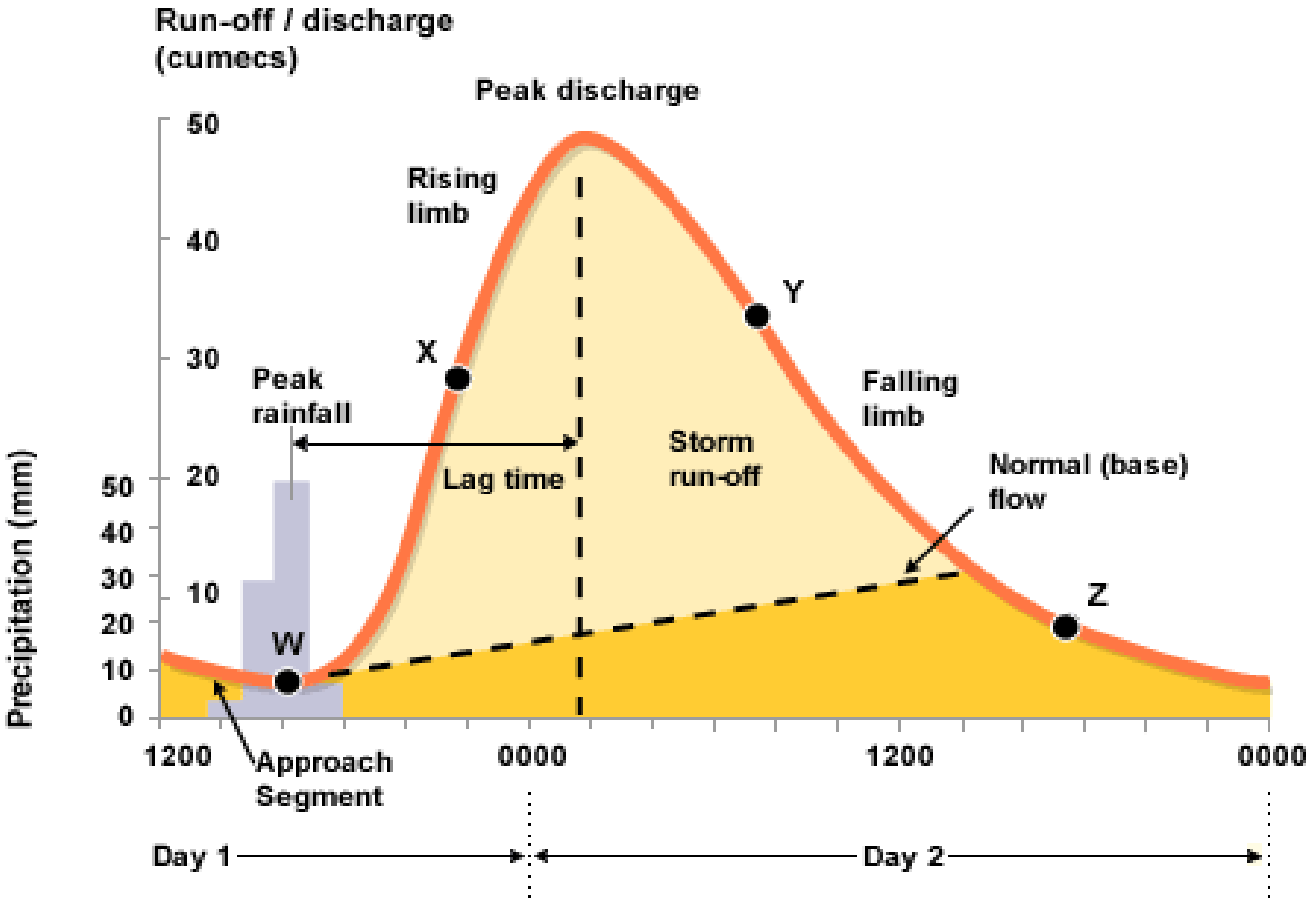


Fig. 5.6 Hydrograph separation

هیدروگراف


Run-off / discharge
(cumecs)
Peak discharge
Rising
limb
Falling
limb
Peak
rainfall
Lag time
Storm
run-off
Normal (base)
flow
X
Y
Z
W
Approach
Segment
Precipitation (mm)
50
40
30
20
10
0
50
40
30
20
10
1200
0000
1200
0000
Day 1
Day 2

برآورد رواناب سطحی

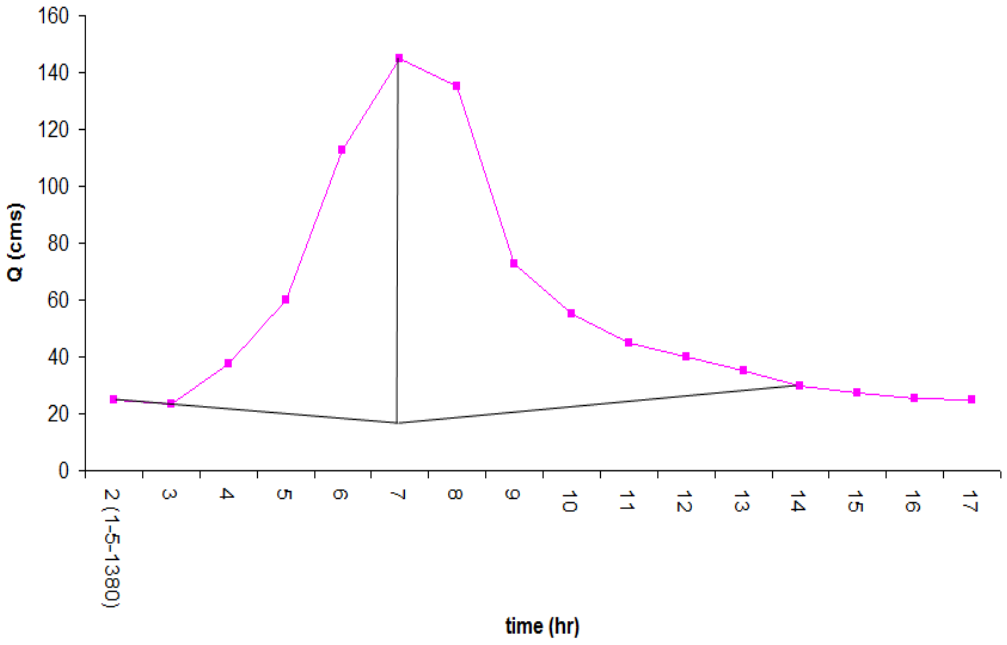
هیدروگراف واحد D ساعتهٔ حوضه

الف- برآورد هیدروگراف واحد D ساعتهٔ حوضه

time (hr)	Q (cms)	base flow (cms)	Q (cms)
2	25	25	0
3	23.5	23.5	0
4	37.5	22.5	15
5	60	20.5	39.5
6	112.5	19.5	93
7	145	17.5	127.5
8	135	20	115
9	72.5	20.5	52
10	55	22.5	32.5
11	45	25	20
12	40	25.5	14.5
13	35	27.5	7.5
14	30	30	0
15	27.5	27.5	0
16	25.5	25.5	0
17	25	25	0

هیدروگراف رواناب حاصل از یک بارندگی ۳ ساعته بر روی حوضه‌ای به مساحت ۱۰۰ کیلومتر مربع در جدول زیر داده شده است. هیدورگراف واحد ۳ ساعتهٔ حوضه را به دست آورید.

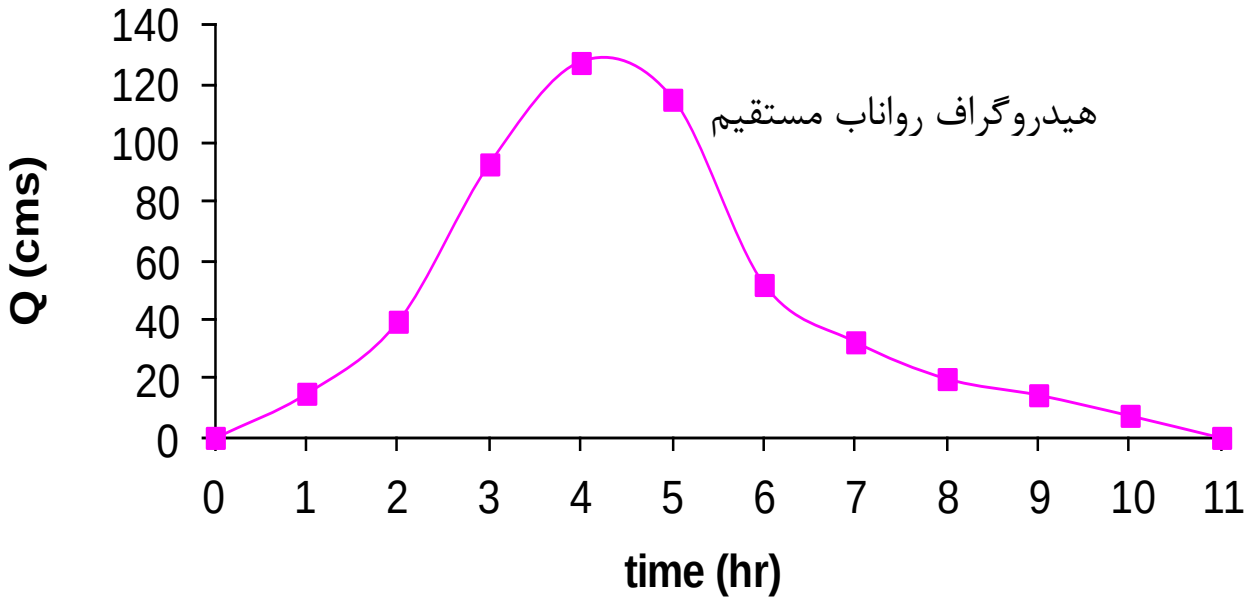
مراحل حل: ۱- جدا کردن دبی پایه و محاسبهٔ رواناب مستقیم



۲- محاسبهٔ حجم رواناب مستقیم و ارتفاع رواناب

time (hr)	Q (cms)
0	0
1	15
2	39.5
3	93
4	127.5
5	115
6	52
7	32.5
8	20
9	14.5
10	7.5
11	0

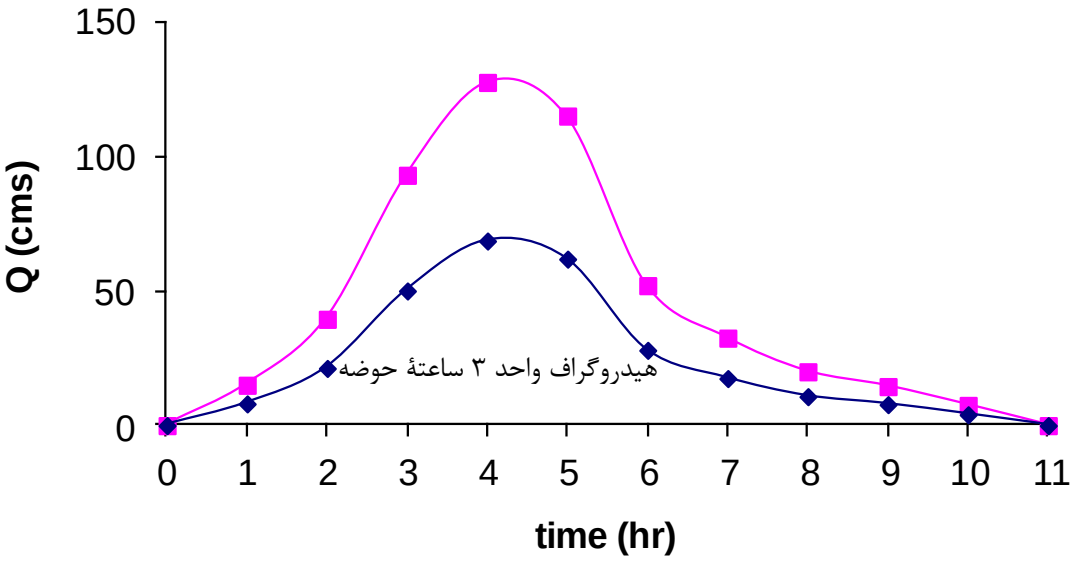
V (m^3)	1859400
R (cm)	1.86



۳- تقسیم ابعاد هیدروگراف رواناب مستقیم بر ارتفاع رواناب

time (hr)	Q (cms)	3 hours UH (cms)
0	0	0.0
1	15	8.1
2	39.5	21.2
3	93	50.0
4	127.5	68.6
5	115	61.8
6	52	28.0
7	32.5	17.5
8	20	10.8
9	14.5	7.8
10	7.5	4.0
11	0	0.0

V (m^3)	1859400	1000000
R (cm)	1.86	1.0



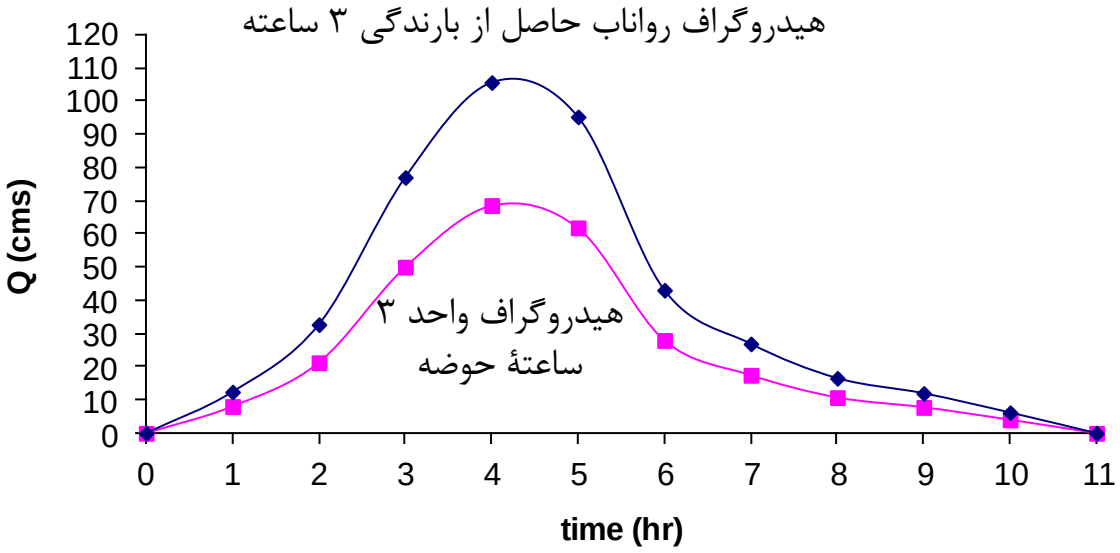
ب- کاربرد هیدروگراف واحد D ساعتهٔ حوضه

مثال ۱: در صورتی که یک بارندگی ۳ ساعته با شدت ثابت ۸ میلی‌متر بر ساعت بر روی حوضهٔ مثال قبل ببارد و ضریب رواناب حوضه برابر با ۰/۶۴ باشد، هیدروگراف رواناب حاصل از این بارندگی را برآورد کنید.

مراحل حل: ۱- برآورد ارتفاع رواناب حاصل از این بارندگی ۳ ساعته
۲- ضرب ابعاد هیدورگراف واحد ۳ ساعتهٔ حوضه در ارتفاع رواناب

$$R = CP = 0.64 \times (3 \times 8) = 15.4\,mm = 1.54\,cm$$

time (hr)	3 hours UH (cms)	Q (cms)
0	0.0	0.0
1	8.1	12.4
2	21.2	32.7
3	50.0	77.0
4	68.6	105.6
5	61.8	95.2
6	28.0	43.1
7	17.5	26.9
8	10.8	16.6
9	7.8	12.0
10	4.0	6.2
11	0.0	0.0

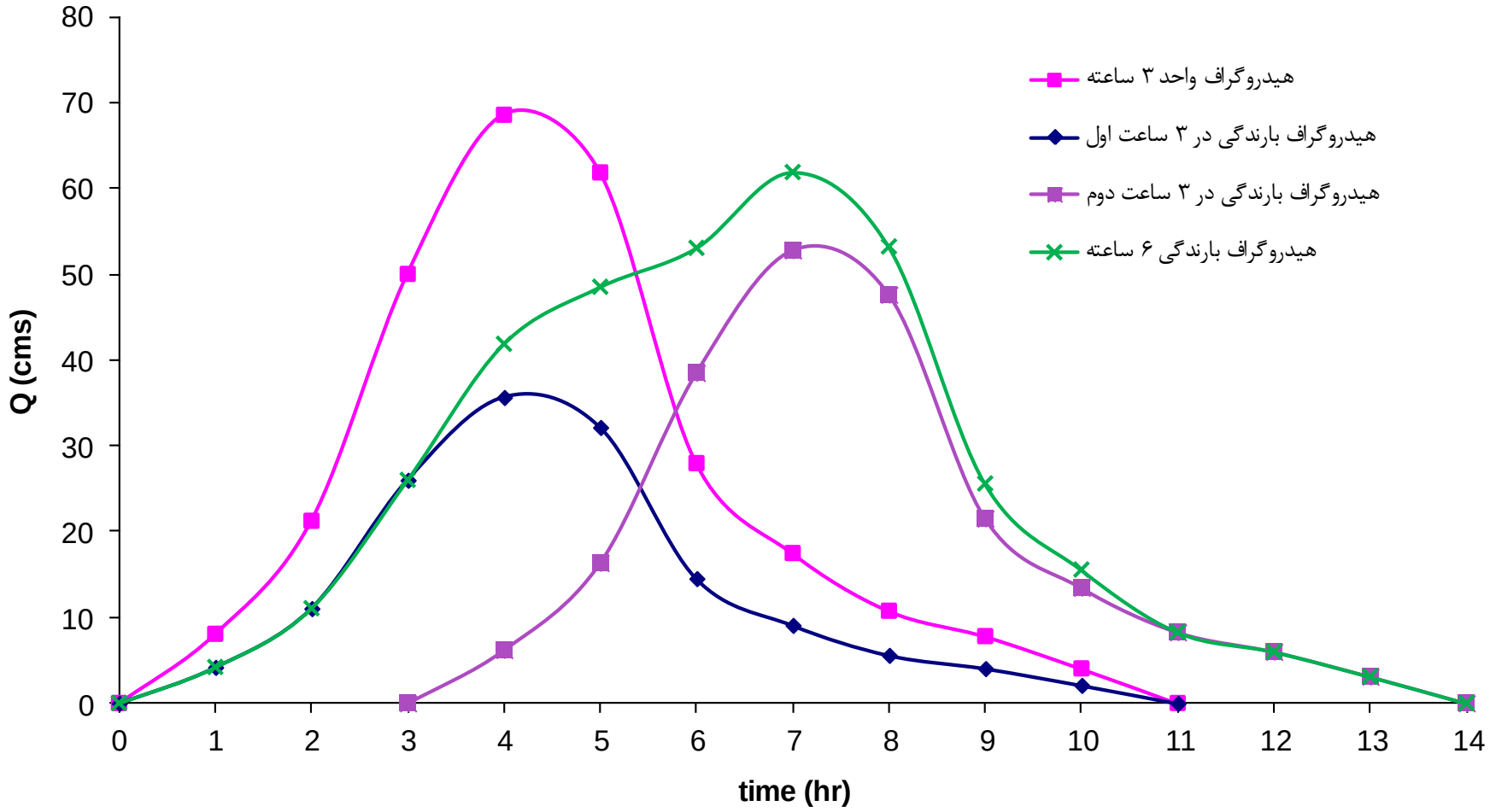


مثال ۲: در صورتی که یک بارندگی ۶ ساعته که در سه ساعت اول دارای شدت ۲/۷ میلی‌متر بر ساعت و در سه ساعت دوم دارای شدت ۴ میلی‌متر بر ساعت است بر روی حوضهٔ مثال قبل ببارد، هیدروگراف رواناب حاصل از این بارندگی را برآورد کنید (ضریب رواناب برابر با ۰/۶۴ است).

$$R_1 = CP_1 = 0.64 \times (3 \times 2.7) = 5.2mm = 0.52cm$$

$$R_2 = CP_2 = 0.64 \times (3 \times 4) = 7.7mm = 0.77cm$$

time (hr)	3 hours UH (cms)	Q (cms)		
0	0.0	0.0	---	0.0
1	8.1	4.2	---	4.2
2	21.2	11.0	---	11.0
3	50.0	26.0	0.0	26.0
4	68.6	35.7	6.2	41.9
5	61.8	32.2	16.4	48.5
6	28.0	14.5	38.5	53.1
7	17.5	9.1	52.8	61.9
8	10.8	5.6	47.6	53.2
9	7.8	4.1	21.5	25.6
10	4.0	2.1	13.5	15.6
11	0.0	0.0	8.3	8.3
12	---	---	6.0	6.0
13	---	---	3.1	3.1
14	---	---	0.0	0.0

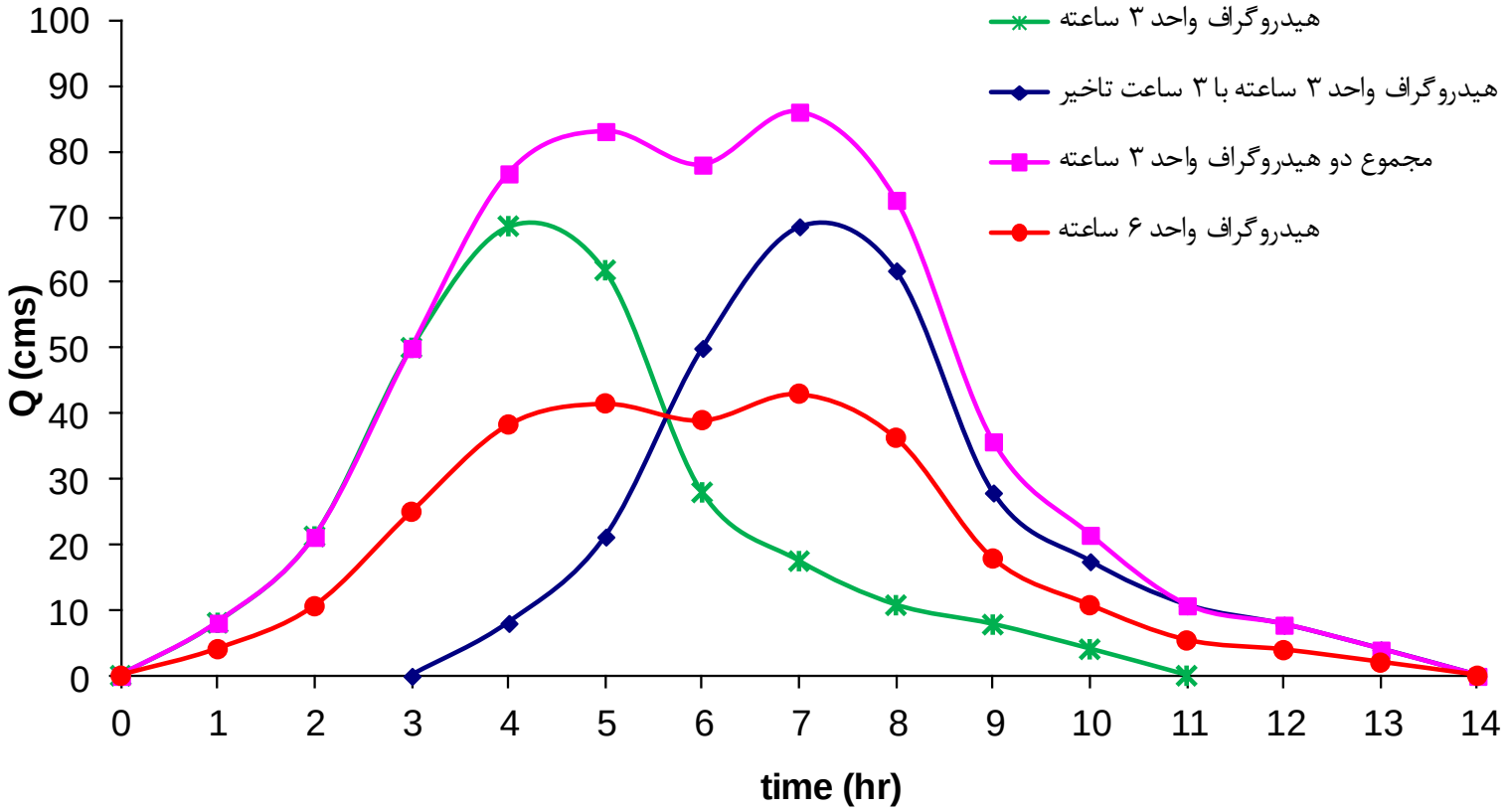

هیدروگراف واحد ۳ ساعته
هیدروگراف بارندگی در ۳ ساعت اول
هیدروگراف بارندگی در ۳ ساعت دوم
هیدروگراف بارندگی ۶ ساعته
Q (cms)
time (hr)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

ج- تبدیل زمان هیدروگرافهای واحد

مثال ۱: در صورتی که یک بارندگی ۶ ساعته با شدت ثابت ۵ میلی‌متر بر ساعت بر روی حوضهٔ مثال قبل ببارد، هیدروگراف رواناب حاصل از این بارندگی را برآورد کنید (ضریب رواناب برابر با ۰/۶۴ است).

روش حل: محاسبهٔ هیدروگراف واحد ۶ ساعته از هیدروگراف واحد ۳ ساعته

time (hr)	3 hours UH (cms)	3 hours UH (3 hours delay)	Sum of two UHs	6 hours UH (cms)
0	0.0	---	0.0	0.0
1	8.1	---	8.1	4.1
2	21.2	---	21.2	10.6
3	50.0	0.0	50.0	25.0
4	68.6	8.1	76.6	38.3
5	61.8	21.2	83.1	41.5
6	28.0	50.0	78.0	39.0
7	17.5	68.6	86.0	43.0
8	10.8	61.8	72.6	36.3
9	7.8	28.0	35.8	17.9
10	4.0	17.5	21.5	10.8
11	0.0	10.8	10.8	5.4
12	---	7.8	7.8	3.9
13	---	4.0	4.0	2.0
14	---	0.0	0.0	0.0
	1000000	1000000	2000000	1000000
	1.0	1.0	2.0	1.0


هیدروگراف واحد ۳ ساعته
هیدروگراف واحد ۳ ساعته با ۳ ساعت تاخیر
مجموع دو هیدروگراف واحد ۳ ساعته
هیدروگراف واحد ۶ ساعته
Q (cms)
time (hr)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

$$R = CP = 0.64 \times (6 \times 5) = 19.2\,mm = 1.92\,cm$$

$$R_1 = CP_1 = 0.64 \times (3 \times 5) = 9.6mm = 0.96cm$$

$$R_2 = CP_2 = 0.64 \times (3 \times 5) = 9.6mm = 0.96cm$$

time (hr)	6 hours UH (cms)	Q (cms)
0	0.0	0.0
1	4.1	7.8
2	10.6	20.4
3	25.0	48.0
4	38.3	73.6
5	41.5	79.8
6	39.0	74.9
7	43.0	82.6
8	36.3	69.7
9	17.9	34.3
10	10.8	20.7
11	5.4	10.3
12	3.9	7.5
13	2.0	3.8
14	0.0	0.0

time (hr)	3 hours UH (cms)	Q (cms)		
0	0.0	0.0	---	0.0
1	8.1	7.7	---	7.7
2	21.2	20.4	---	20.4
3	50.0	48.0	0.0	48.0
4	68.6	65.8	7.7	73.6
5	61.8	59.4	20.4	79.8
6	28.0	26.8	48.0	74.9
7	17.5	16.8	65.8	82.6
8	10.8	10.3	59.4	69.7
9	7.8	7.5	26.8	34.3
10	4.0	3.9	16.8	20.7
11	0.0	0.0	10.3	10.3
12	---	---	7.5	7.5
13	---	---	3.9	3.9
14	---	---	0.0	0.0

مثال ۲: در صورتی که یک بارندگی ۴ ساعته با شدت ثابت ۲/۵ میلی‌متر بر ساعت بر روی حوضهٔ مثال قبل ببارد، هیدروگراف رواناب حاصل از این بارندگی را برآورد کنید (ضریب رواناب برابر با ۰/۶۴ است).

روش حل: محاسبهٔ هیدروگراف واحد ۴ ساعته از هیدروگراف واحد ۳ ساعته در طی مراحل زیر،

۱- محاسبهٔ S – curve (هیدروگرافی که از یک بارندگی طولانی مدت تشکیل شده و به ازای هر D ساعت بارندگی، یک واحد رواناب تولید میکند).

time (hr)	3 hours UH (cms)				S - curve
0	0.0				0.0
1	8.1				8.1
2	21.2				21.2
3	50.0	0.0			50.0
4	68.6	8.1			76.6
5	61.8	21.2			83.1
6	28.0	50.0	0.0		78.0
7	17.5	68.6	8.1		94.1
8	10.8	61.8	21.2		93.8
9	7.8	28.0	50.0	0.0	85.8
10	4.0	17.5	68.6	8.1	98.1
11	0.0	10.8	61.8	21.2	93.8

۲- محاسبهٔ منحنی تفاضل (هیدروگرافی که از یک بارندگی با مدت زمان D’ تشکیل شده و به ازای هر D ساعت بارندگی، یک واحد رواناب تولید میکند).

۳- محاسبهٔ هیدروگراف واحد ۴ ساعته از منحنی تفاضل

time (hr)	S - curve	S - curve (4 hours delay)	منحنی تفاضل	4 hours UH (cms)
0	0.0	---	0.0	0.0
1	8.1	---	8.1	6.1
2	21.2	---	21.2	15.9
3	50.0	---	50.0	37.5
4	76.6	0.0	76.6	57.5
5	83.1	8.1	75.0	56.3
6	78.0	21.2	56.7	42.6
7	94.1	50.0	44.1	33.1
8	94.1	76.6	17.5	13.1
9	94.1	83.1	11.0	8.3
10	94.1	78.0	16.1	12.1
11	94.1	94.1	0.0	0.0

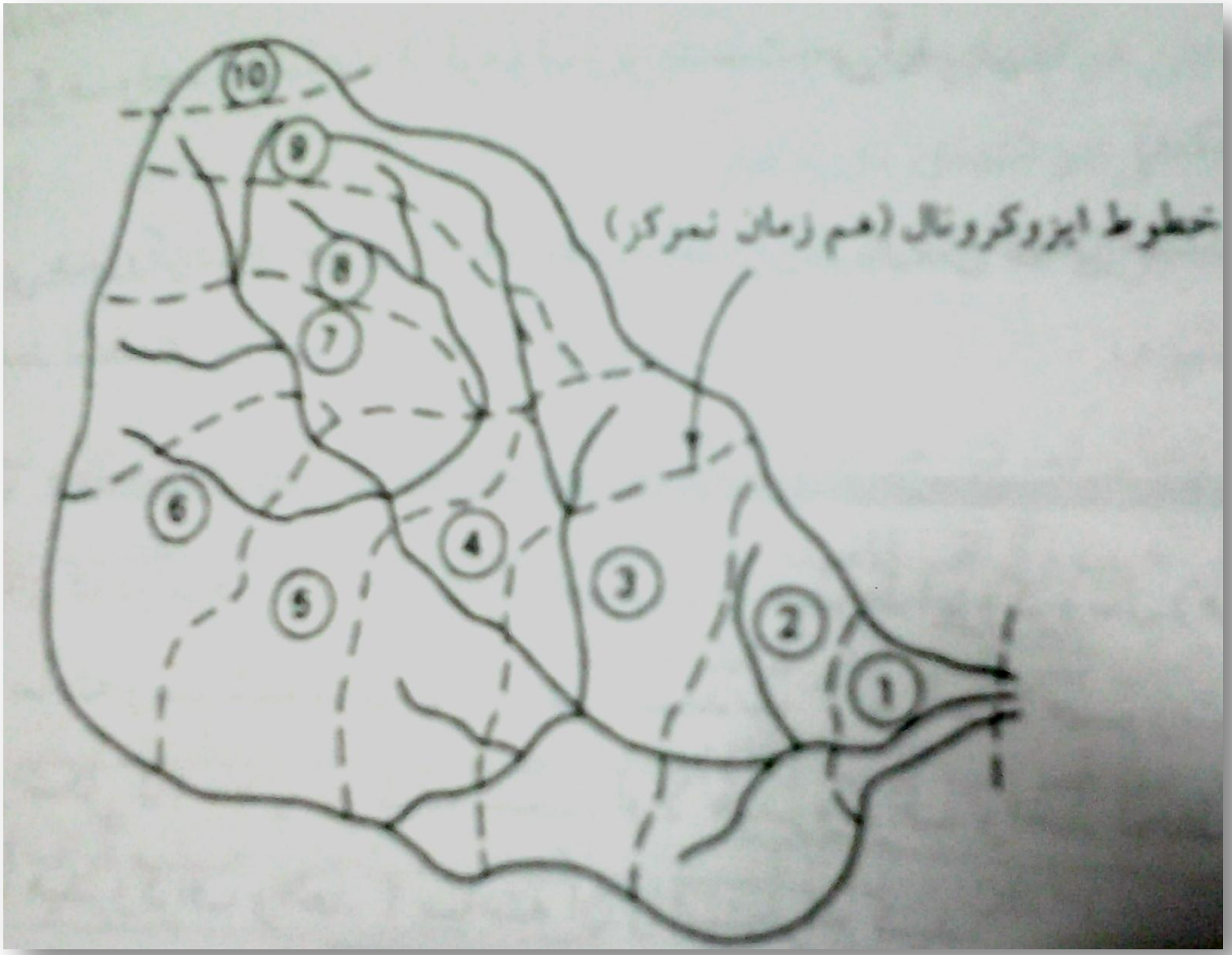
1017000
1.0

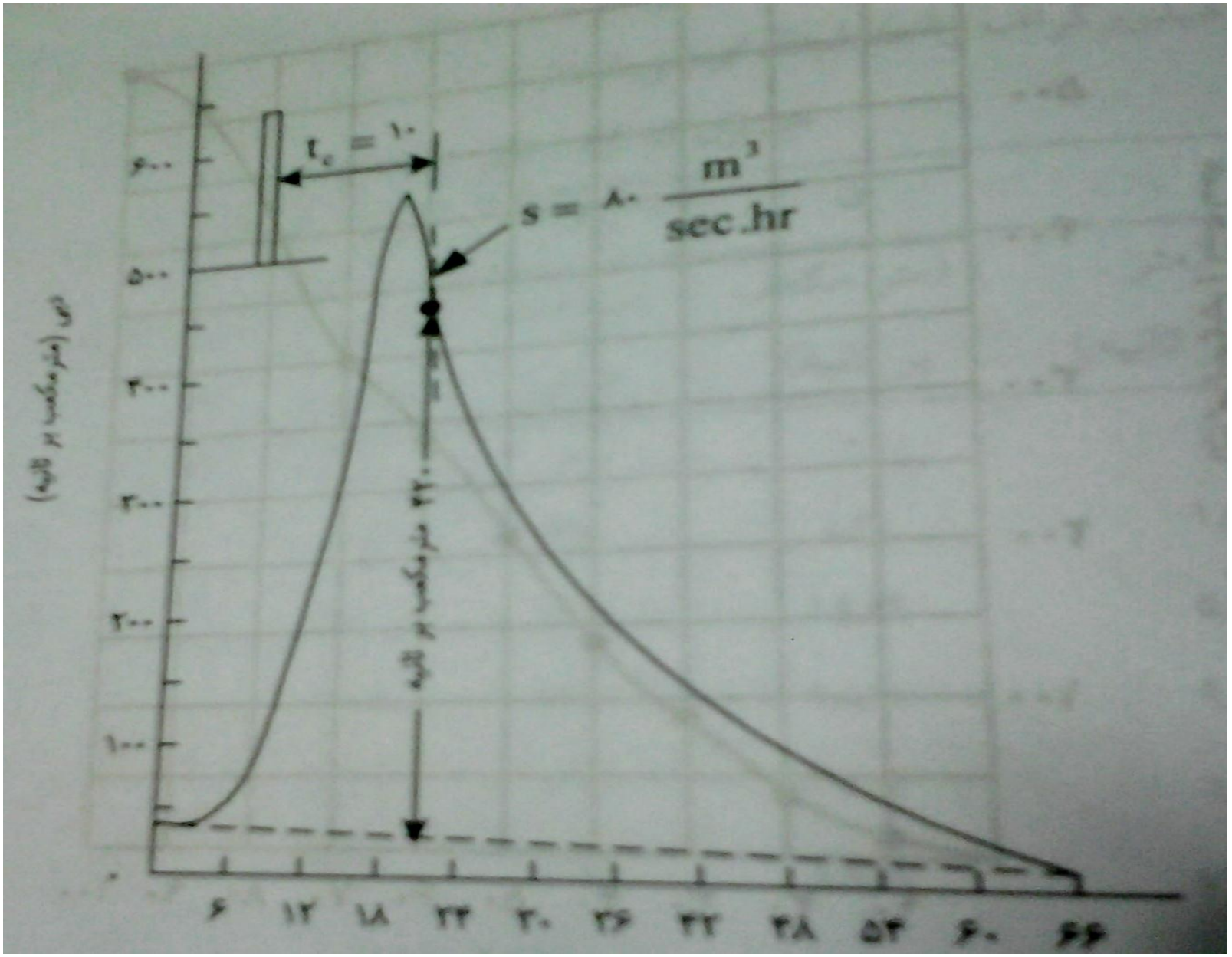
برآورد هیدروگراف بارندگی ۴ ساعته با استفاده از هیدروگراف واحد ۴ ساعتهٔ به دست آمده:

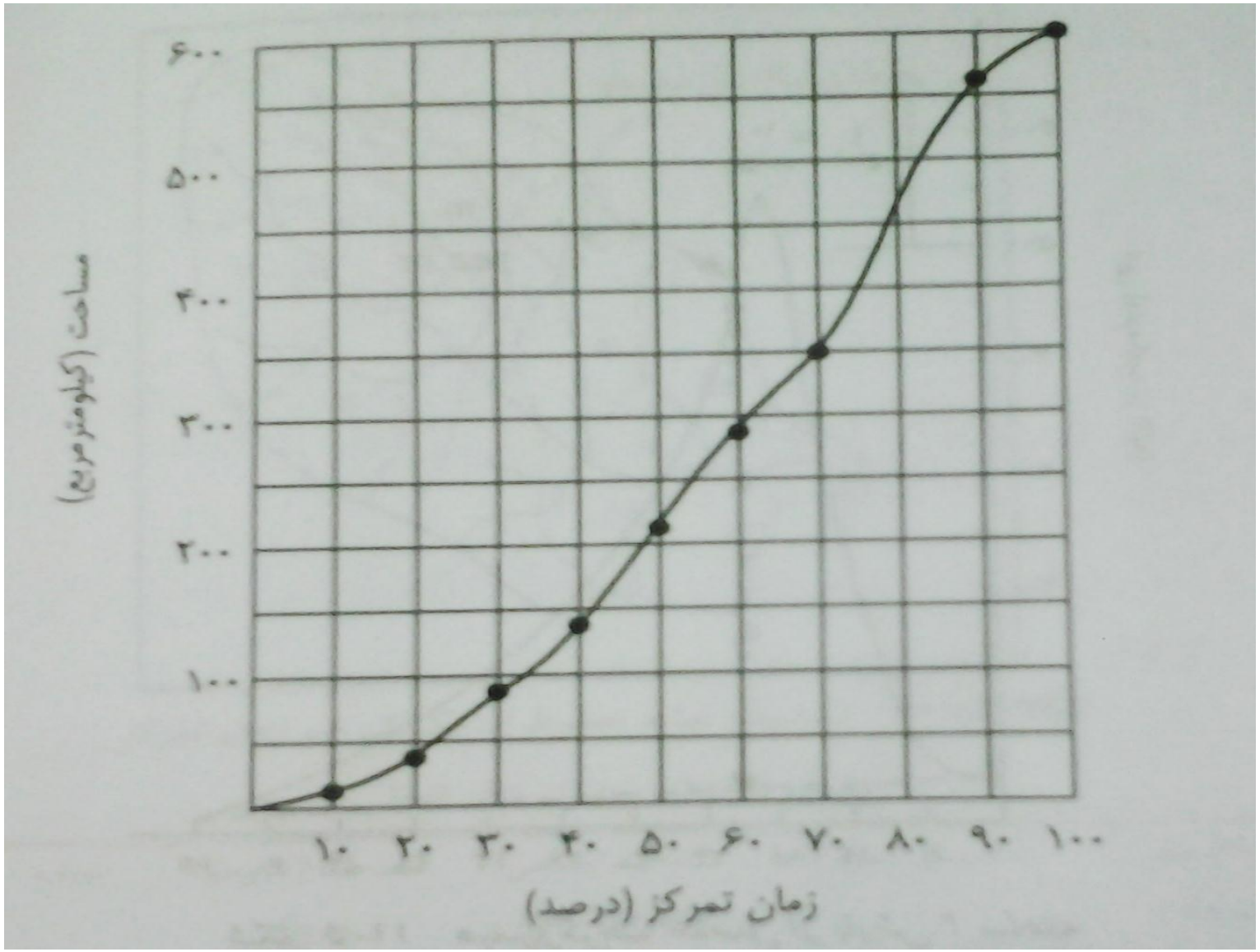
$$R = CP = 0.64 \times (4 \times 2.5) = 6.4\,mm = 0.64\,cm$$

time (hr)	4 hours UH (cms)	Q (cms)
0	0.0	0.0
1	6.1	3.9
2	15.9	10.2
3	37.5	24.0
4	57.5	36.8
5	56.3	36.0
6	42.6	27.2
7	33.1	21.2
8	13.1	8.4
9	8.3	5.3
10	12.1	7.7
11	0.0	0.0

هیدروگراف واحد لحظه ای




$t_c = ۱۰$
$s = ۸۰ \frac{m^3}{sec.hr}$
۴۲۰ متر مکعب بر ثانیه
دبی (متر مکعب بر ثانیه)
۶۰۰
۵۰۰
۴۰۰
۳۰۰
۲۰۰
۱۰۰
۰
۶
۱۲
۱۸
۲۴
۳۰
۳۶
۴۲
۴۸
۵۴
۶۰
۶۶


۶۰۰
۵۰۰
۴۰۰
۳۰۰
۲۰۰
۱۰۰
مساحت (کیلومترمربع)
۱۰ ۲۰ ۳۰ ۴۰ ۵۰ ۶۰ ۷۰ ۸۰ ۹۰ ۱۰۰
زمان تمرکز (درصد)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
شماره	زمان (ساعت)	مساحت تجمعی (کیلومترمربع)	مساحت هر دوره زمانی a_i (km^2)	I (m^3/sec)	IUH, O_i (m^3/sec)	هیدروگراف واحد ۲ ساعته O_i(m^3/sec)
1	0	0	0	0	0	0
2	2	35	35	4.9	1.57	0.79
3	4	140	105	14.6	5.74	3.66
4	6	275	135	18.8	9.92	7.83
5	8	460	185	25.7	15.00	12.46
6	10	595	135	18.8	16.22	15.61
7	12				11.03	13.63
8	14				7.50	9.27
9	16				5.10	6.30
10	18				3.47	4.29
11	20				2.36	2.92
12	22				1.60	1.98
13	24				1.09	1.35
14	26				0.74	0.92
15	28				0.50	0.62
16	30				0.34	0.42
17	32				0.23	0.29
18	34				0.16	0.20

هیدروگرافهای واحد مصنوعی

۱- هیدروگراف واحد مصنوعی اشنایدر

$$t_l = C_t (L \times L_{ca})^{0.3}$$

$$C_t = \frac{0.6}{\sqrt{S}}$$

$$t_D = \frac{t_l}{5.5}$$

$$t_{lR} = t_l + 0.25(D - t_D)$$

$$Q_p = C_p \frac{A}{t_l} \quad or \quad Q_p = C_p \frac{A}{t_{lR}}$$

$$t_b = 24(3 + \frac{t_l}{8}) \quad or \quad t_b = 24(3 + \frac{t_{lR}}{8})$$

$$t_p = \frac{t_D}{2} + t_l \quad or \quad t_p = \frac{D}{2} + t_{lR}$$

$$W_{75} = \frac{0.13A^{1.08}}{Q_p^{1.08}}$$

$$W_{50} = \frac{0.23A^{1.08}}{Q_p^{1.08}}$$

۲- هیدروگراف واحد (یک میلیمتری) مصنوعی SCS

$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p}$$

$$t_p = \frac{D}{2} + t_l \qquad or \qquad t_p = \frac{D}{2} + 0.6t_c$$

t/t_p	Q/Q_p
0	0
0.1	0.015
0.2	0.075
0.3	0.16
0.4	0.28
0.5	0.43
0.6	0.6
0.7	0.77
0.8	0.89
0.9	0.97
1	1
1.1	0.98
1.2	0.92
1.3	0.84

t/t_p	Q/Q_p
1.4	0.75
1.5	0.66
1.6	0.56
1.8	0.42
2	0.32
2.2	0.24
2.4	0.18
2.6	0.13
2.8	0.098
3	0.075
3.5	0.036
4	0.018
4.5	0.009
5	0.004

$$t_l = 8.38\,hr$$

$$t_p = \frac{D}{2} + t_l = \frac{4}{2} + 8.38 = 10.38 \approx 10.5\,hr$$

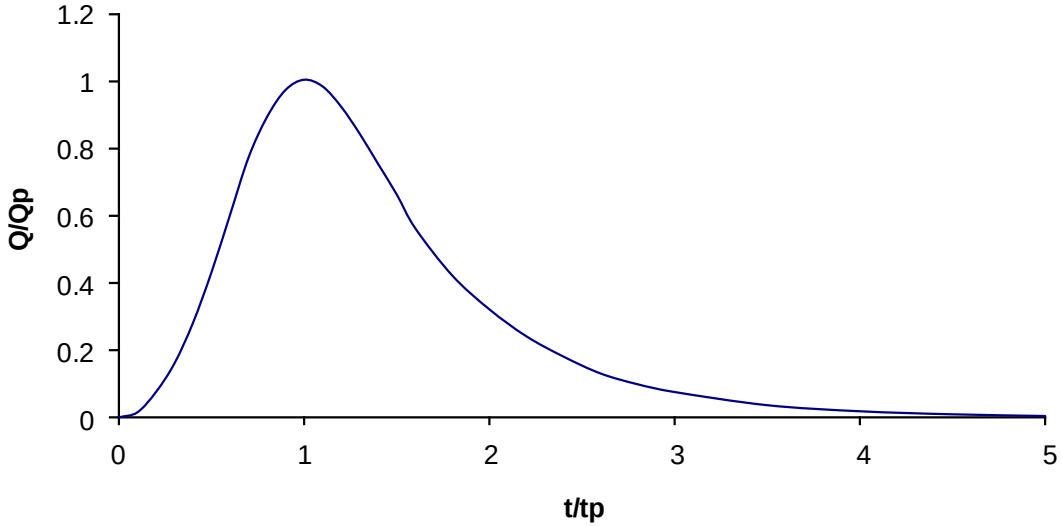
$$Q_p = \frac{0.208A}{t_p} = \frac{0.208 \times 500}{10.5} = 9.9\,cms$$

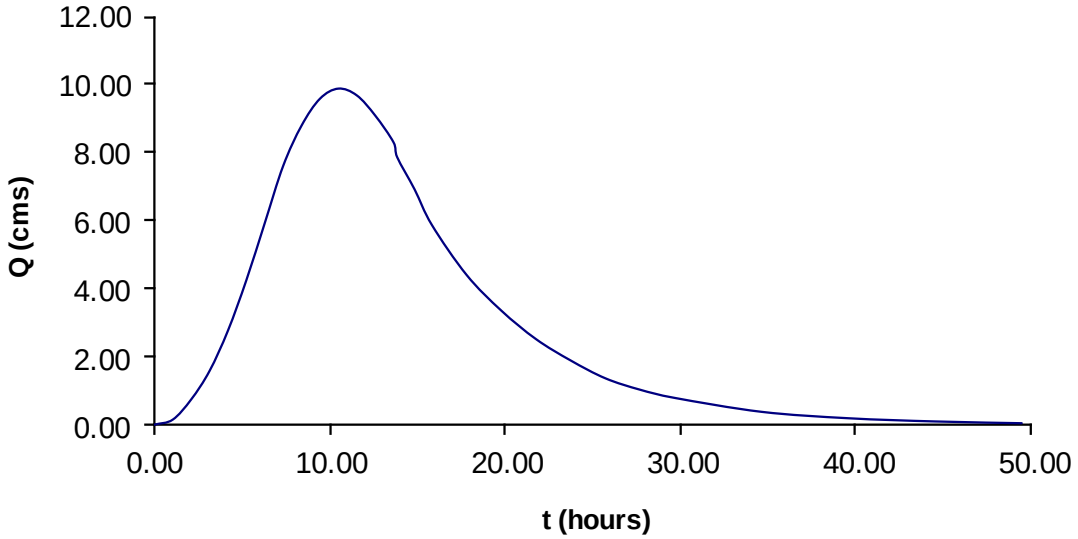
t/t_p	Q/Q_p
0	0
0.1	0.015
0.2	0.075
0.3	0.16
0.4	0.28
0.5	0.43
0.6	0.6
0.7	0.77
0.8	0.89
0.9	0.97
1	1
1.1	0.98
1.2	0.92
1.3	0.84

t/t_p	Q/Q_p
1.4	0.75
1.5	0.66
1.6	0.56
1.8	0.42
2	0.32
2.2	0.24
2.4	0.18
2.6	0.13
2.8	0.098
3	0.075
3.5	0.036
4	0.018
4.5	0.009
5	0.004

t (hours)	Q (cms)
0.00	0.00
1.05	0.15
2.10	0.74
3.15	1.58
4.20	2.77
5.25	4.26
6.30	5.94
7.35	7.62
8.40	8.81
9.45	9.60
10.50	9.90
11.55	9.70
12.60	9.11
13.65	8.32

t (hours)	Q (cms)
13.86	7.88
14.85	6.93
15.84	5.88
17.82	4.41
19.80	3.36
21.78	2.52
23.76	1.89
25.74	1.37
27.72	1.03
29.70	0.79
34.65	0.38
39.60	0.19
44.55	0.09
49.50	0.04


1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Q/Qp
0
1
2
3
4
5
t/tp


12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
Q (cms)
0.00
10.00
20.00
30.00
40.00
50.00
t (hours)

۳- هیدروگراف واحد مصنوعی مثلثی

$$\frac{(Q_p\left[m^3/s\right]\times(t_p\left[hr\right]+1.67t_p\left[hr\right])\times 3600)/2}{A\left[hr\right]\times 10^4}=1\left[mm\right]\times 10^{-3}$$

$$Q_p=0.0021\frac{A}{t_p}$$

$$Q_p=0.0021\frac{A}{(\frac{D}{2}+0.6t_c)}$$

برای یک بارندگی که ارتفاع رواناب آن برابر با R میلیمتر است، دبی پیک برابر خواهد بود با:

$$Q_p=0.0021R\frac{A}{t_p}$$

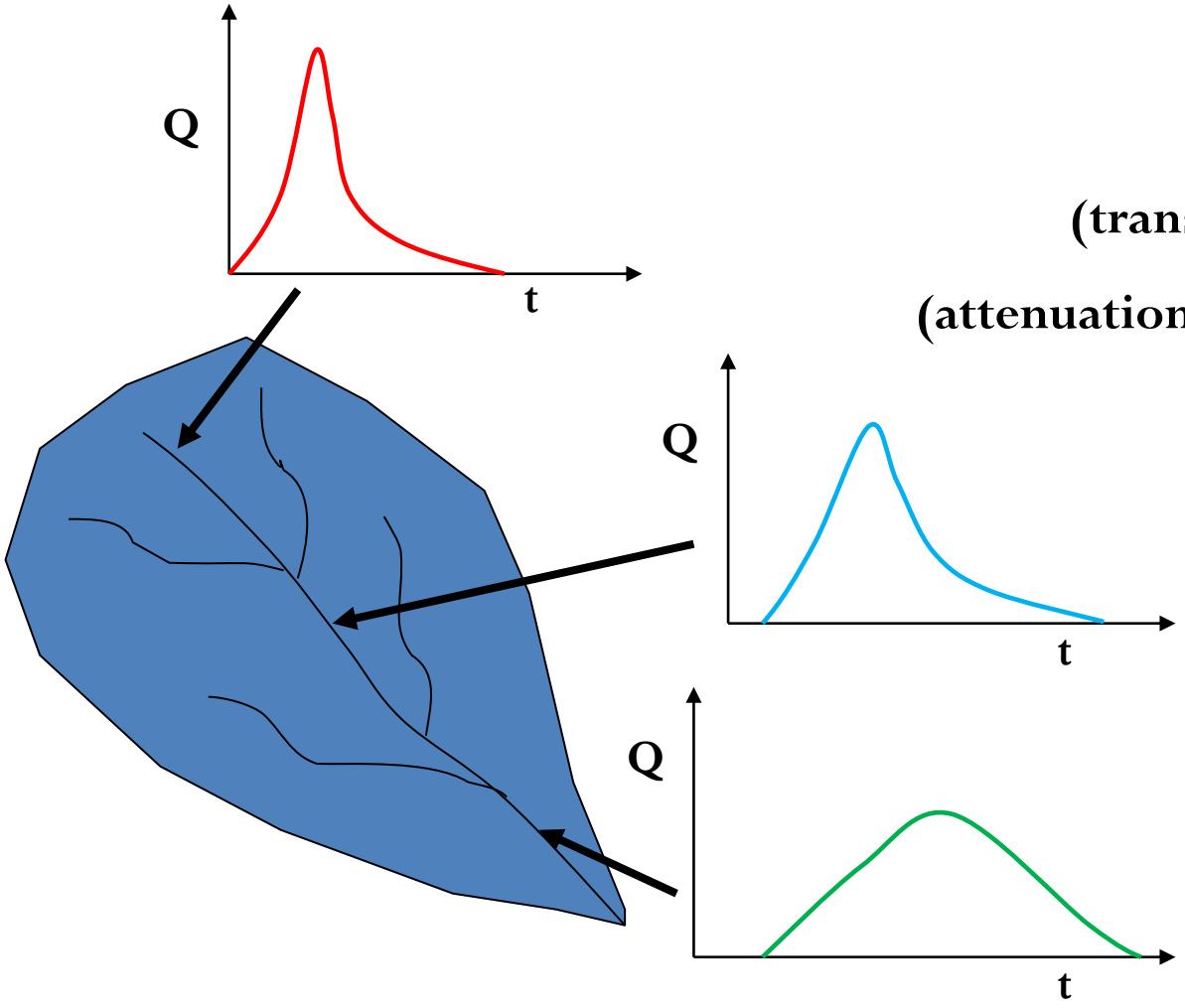
$$Q_p=0.0021R\frac{A}{(\frac{D}{2}+0.6t_c)}$$

روندیابی سیل

(فصل شانزدهم کتاب دکتر علیزاده)

مفهوم روندیابی سیل

- ✓جابجایی (translation)
- ✓فروکش دبی اوج (attenuation)



انواع روندیابی سیل

✓هیدرولوژیکی

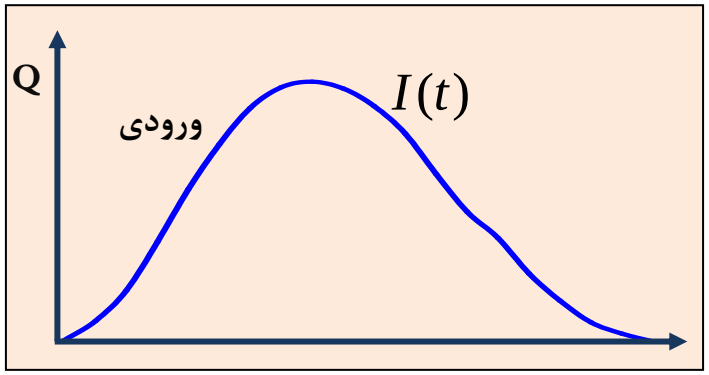
- معادله پیوستگی
- رابطه بین جریان و ذخیره

✓هیدرولیکی

- معادله پیوستگی
- معادله ممنتوم

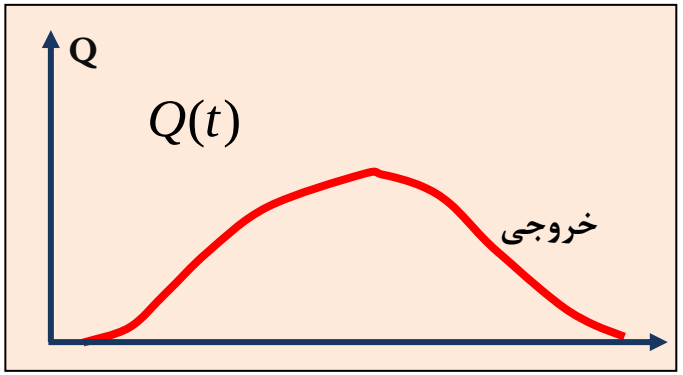
روندیابی هیدرولوژیکی

- روندیابی ساده
- روندیابی ذخیره ای



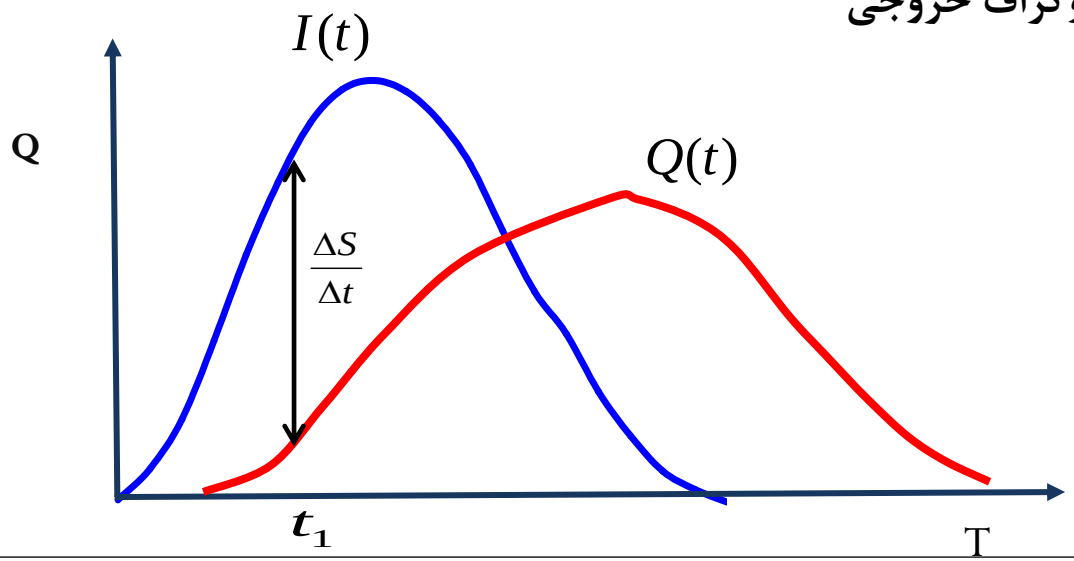
$I(t)=$ ورودی

هیدروگراف ورودی



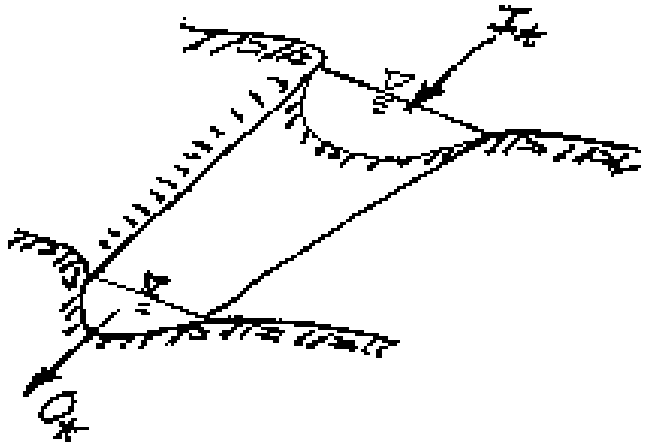
$Q(t)=$ خروجی

هیدروگراف خروجی



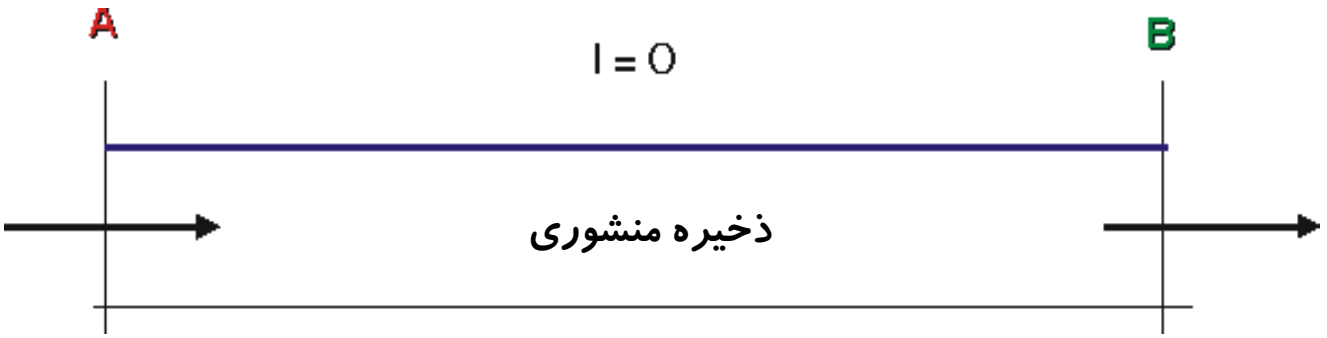
روندیابی در رودخانه

$$\frac{dS_t}{dt} = I_t - O_t$$

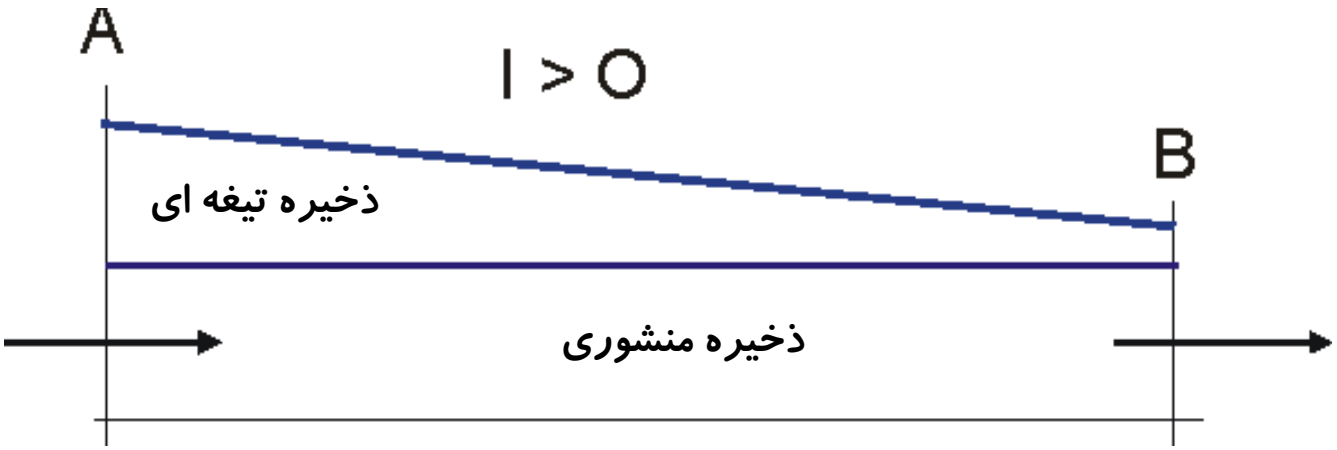


مفهوم ذخیره تیغه ای و منشوری

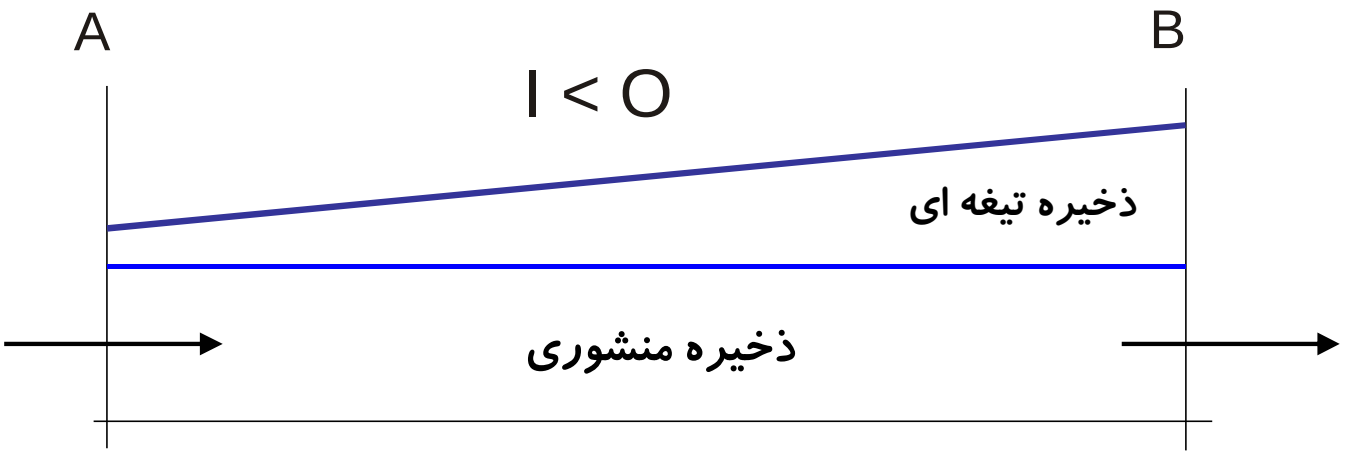
پروفیل طولی در طول یک بازه رودخانه

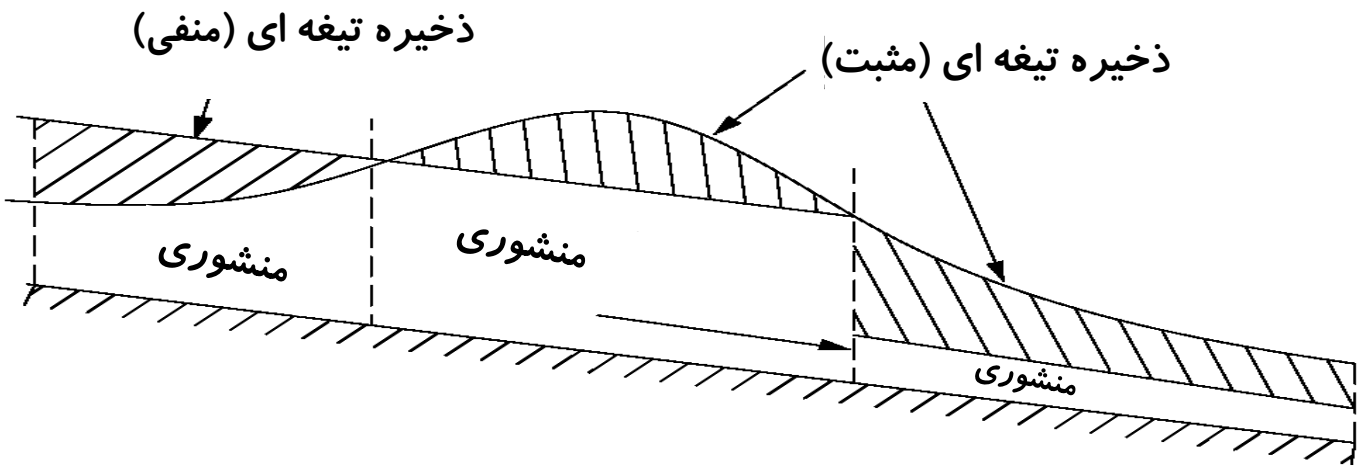


پروفیل طولی در حالت افزایش موج سیل

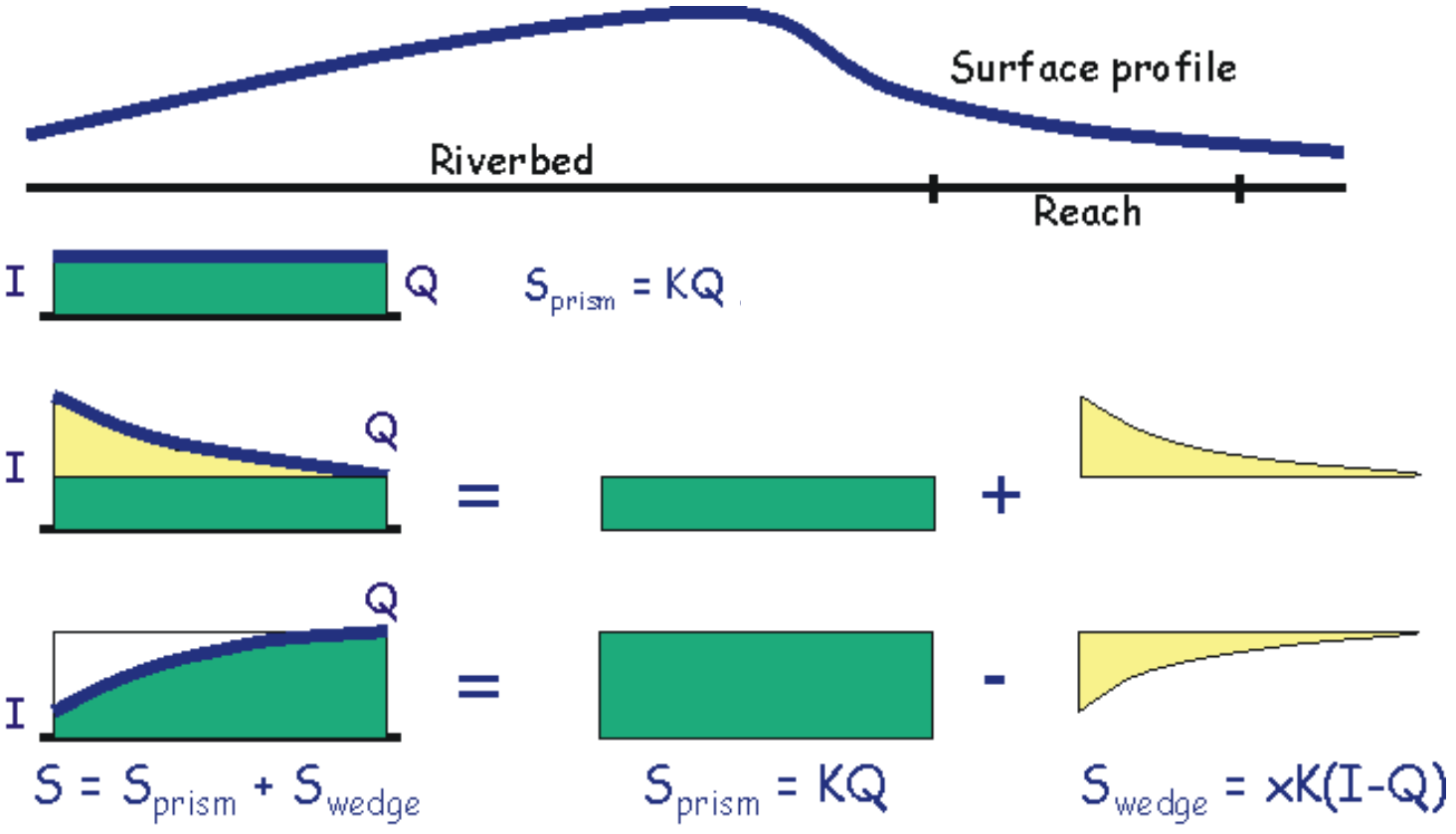


پروفیل طولی در حالت افزایش موج سیل



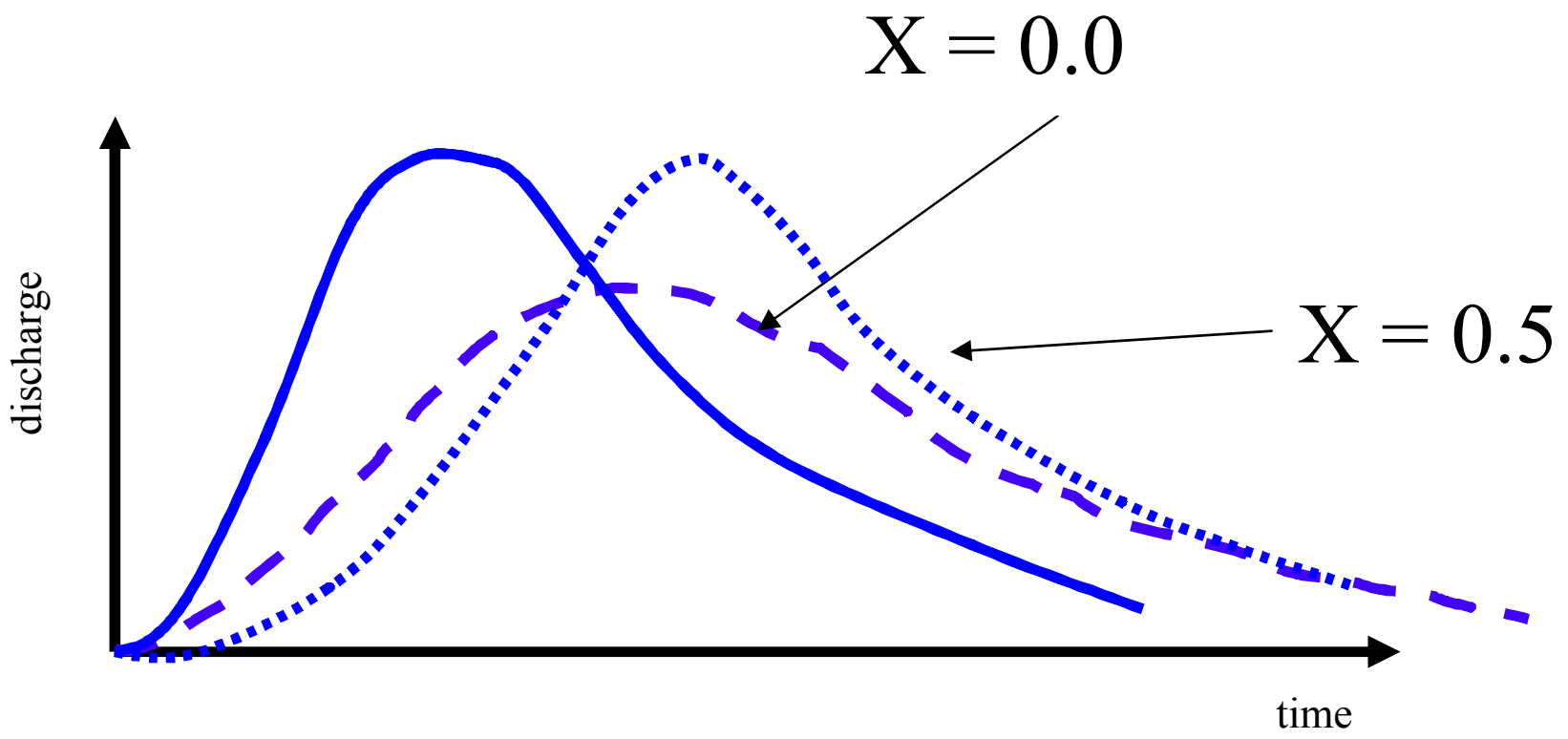


روش ماسکینگهام



$$S = K[xI + (1-x)Q]$$

مقدار x برای روندیابی



$$S_2 = k[xI_2 + (1-x)O_2]$$
$$S_1 = k[xI_1 + (1-x)O_1]$$

$$S_2 - S_1 = k[xI_2 + (1-x)O_2] - k[xI_1 + (1-x)O_1]$$
$$= k[x(I_2 - I_1) + (1-x)(O_2 - O_1)]$$

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} = \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2}$$
$$\frac{k[x(I_2 - I_1) + (1-x)(O_2 - O_1)]}{\Delta t} = \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2}$$

$$x(I_2 - I_1) + (1-x)(O_2 - O_1) = \frac{\Delta t}{2k}(I_1 + I_2) - \frac{\Delta t}{2k}(O_1 + O_2)$$

$$x(I_2 - I_1) + (1-x)O_2 - (1-x)O_1 = \frac{\Delta t}{2k}(I_1 + I_2) - \frac{\Delta t}{2k}O_1 - \frac{\Delta t}{2k}O_2$$

$$(1-x)O_2 + \frac{\Delta t}{2k}O_2 = \frac{\Delta t}{2k}(I_1 + I_2) - \frac{\Delta t}{2k}O_1 + (1-x)O_1 - x(I_2 - I_1)$$

$$(1-x+\frac{\Delta t}{2k})O_2 = \frac{\Delta t}{2k}(I_1 + I_2) - \frac{\Delta t}{2k}O_1 + (1-x)O_1 - x(I_2 - I_1)$$

$$(1-x+\frac{\Delta t}{2k})O_2 = \frac{\Delta t}{2k}I_1 + \frac{\Delta t}{2k}I_2 - O_1(\frac{\Delta t}{2k} + x - 1) - xI_2 + xI_1$$

$$(1-x+\frac{\Delta t}{2k})O_2 = I_1(\frac{\Delta t}{2k} + x) + I_2(\frac{\Delta t}{2k} - x) - O_1(\frac{\Delta t}{2k} + x - 1)$$

$$O_2 = I_1 \frac{\frac{\Delta t}{2k} + x}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}} + I_2 \frac{\frac{\Delta t}{2k} - x}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}} + O_1 \frac{1 - x - \frac{\Delta t}{2k}}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}}$$

$$C_0 = \frac{\frac{\Delta t}{2k} - x}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}} = \frac{0.5\Delta t - kx}{k - kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_1 = \frac{\frac{\Delta t}{2k} + x}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}} = \frac{0.5\Delta t + kx}{k - kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{1 - x - \frac{\Delta t}{2k}}{1 - x + \frac{\Delta t}{2k}} = \frac{k - kx - 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t}$$

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

$$C_0 + C_1 + C_2 = 1$$

$$\frac{0.5\Delta t - kx}{k - kx + 0.5\Delta t} + \frac{0.5\Delta t + kx}{k - kx + 0.5\Delta t} + \frac{k - kx - 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} = 1$$

$$\frac{0.5\Delta t - kx + 0.5\Delta t + kx + k - kx - 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} = 1$$

$$\frac{k - kx + 0.5\Delta t}{k - kx + 0.5\Delta t} = 1 \Rightarrow 1 = 1$$

Time (day)	Inflow (cfs)
1	4,000
2	7,000
3	11,000
4	17,000
5	22,000
6	27,000
7	30,000
8	28,000
9	25,000
10	23,000
11	20,000
12	17,000
13	14,000
14	11,000
15	8,000
16	5,000
17	4,000
18	4,000
19	4,000
20	4,000

مثال: پارامترهای زیر برای بازه داده شده به صورت زیر است.

$x = 0.2$

$K = 2$ days

$\Delta t = 1$ day

هیدروگراف مقابل را در بازه داده شده روندیابی کنید.

جواب:

$$D = k(1-x) + 0.5\Delta t = 2(1-0.2) + 0.5 = 2.1$$

$$C_0 = \frac{-kx + 0.5\Delta t}{D} = \frac{-2(0.2) + 0.5}{2.1} = 0.0476$$

$$C_1 = \frac{kx + 0.5\Delta t}{2.1} = \frac{2(0.2) + 0.5}{2.1} = 0.4286$$

$$C_2 = \frac{k(1-x) - 0.5\Delta t}{D} = \frac{2(1-0.2) - 0.5}{2.1} = 0.5238$$

Check:
$C_0+C_1+C_2=1$

$$O_n = C_0 I_n + C_1 I_{n-1} + C_2 O_{n-1}$$

$$O_n = 0.0476 I_n + 0.4286 I_{n-1} + 0.5238 O_{n-1}$$

جواب:

Time (day)	Inflow (cfs)
1	4,000
2	7,000
3	11,000
4	17,000

- t = 1 day

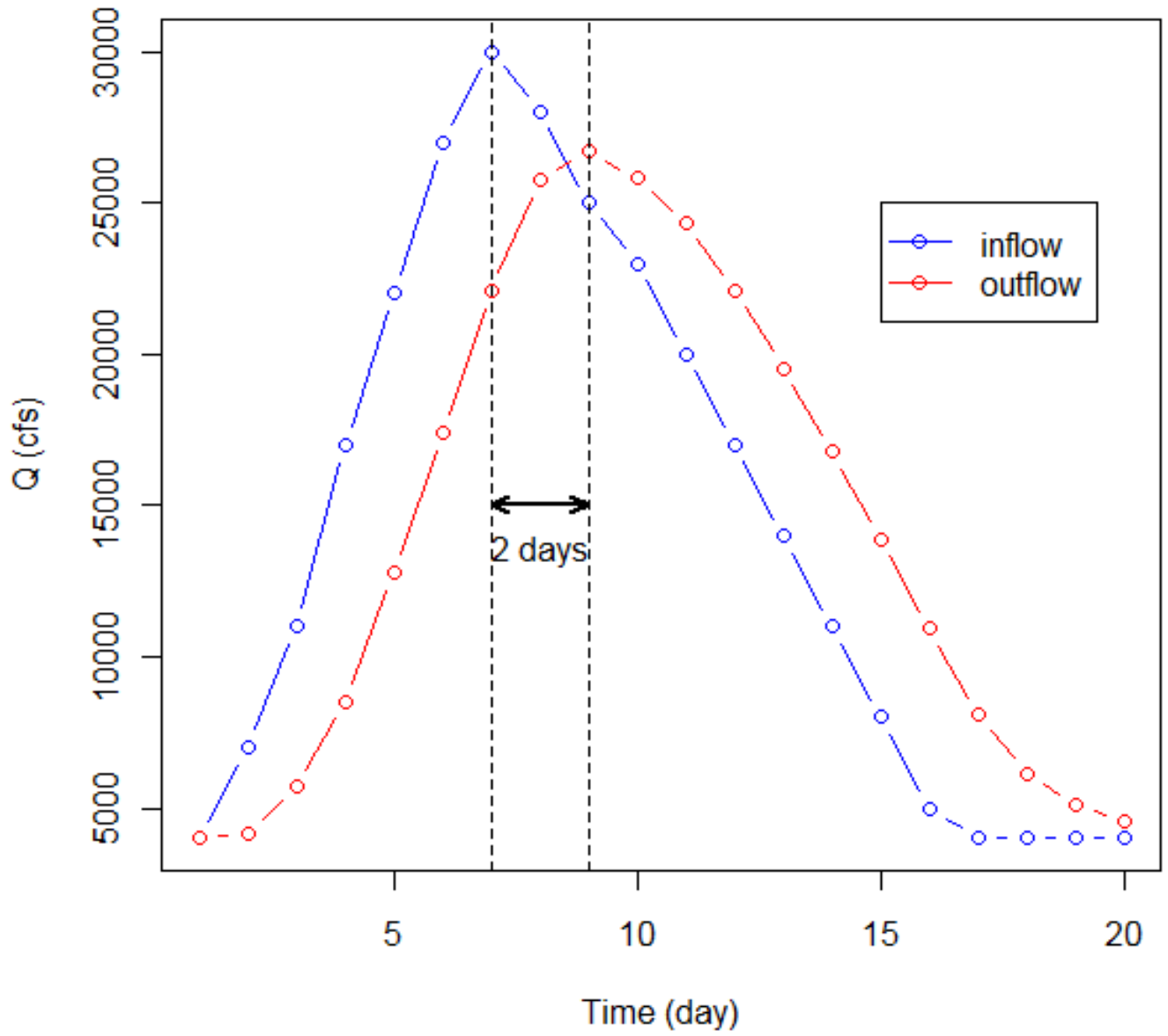
$$O_1 = I_1 = 4000\,\text{cfs}$$

- T = 2 days

$$O_2 = 0.0476 I_2 + 0.4286 I_1 + 0.5238 O_1$$
$$= 0.0476(7000) + 0.4286(4000) + 0.5238(4000)$$
$$= 4143\,\text{cfs}$$

- T = 3 days

$$O_3 = 0.0476 I_3 + 0.4286 I_2 + 0.5238 O_2$$
$$= 0.0476(11000) + 0.4286(7000) + 0.5238(4143)$$
$$= 5694\,\text{cfs}$$


Q (cfs)
5000
10000
15000
20000
25000
30000
5
10
15
20
Time (day)
inflow
outflow
2 days

روش‌های تعیین مقادیر x و k

روش اول:

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

$$S = k[xI + (1-x)O]$$

$$\frac{dS}{dt} = k\left[x\frac{dI}{dt} + (1-x)\frac{dO}{dt}\right]$$

$$I - O = k\left[x\frac{dI}{dt} + (1-x)\frac{dO}{dt}\right]$$

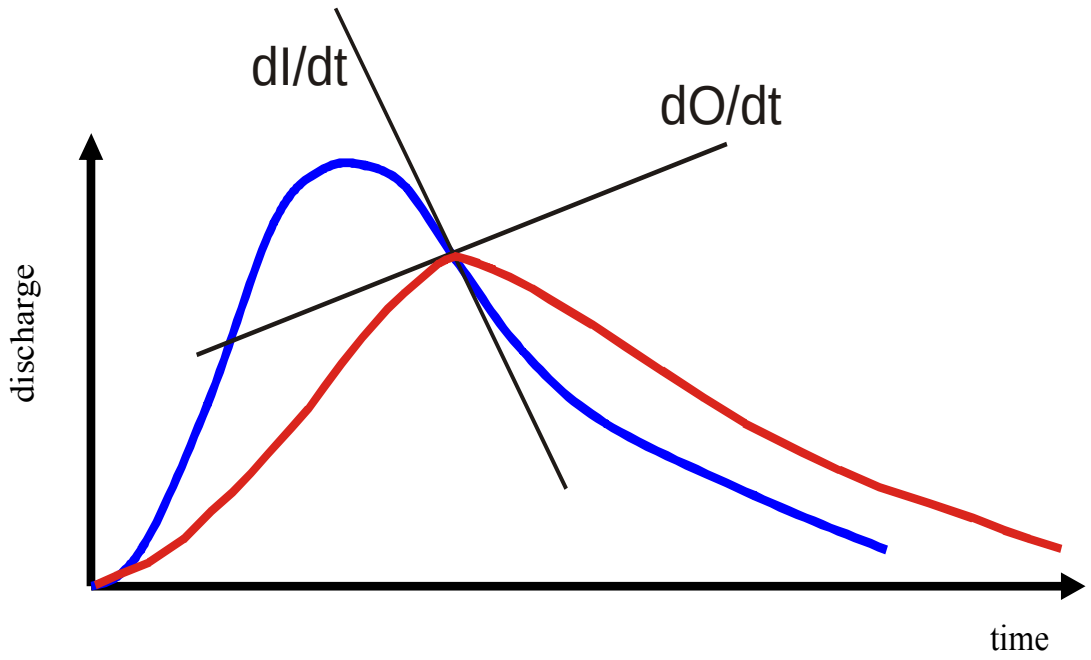
$$k\left[x\frac{dI}{dt} + (1-x)\frac{dO}{dt}\right] = 0$$

روش‌های تعیین مقادیر x و k

$$x\frac{dI}{dt}+\frac{dO}{dt}-x\frac{dO}{dt}=0$$

$$x\left(\frac{dI}{dt}-\frac{dO}{dt}\right)=-\frac{dO}{dt}$$

$$x=\frac{\frac{dO}{dt}}{\frac{dO}{dt}-\frac{dI}{dt}}$$



$$I-O=k\left[x\frac{dI}{dt}+(1-x)\frac{dO}{dt}\right]$$

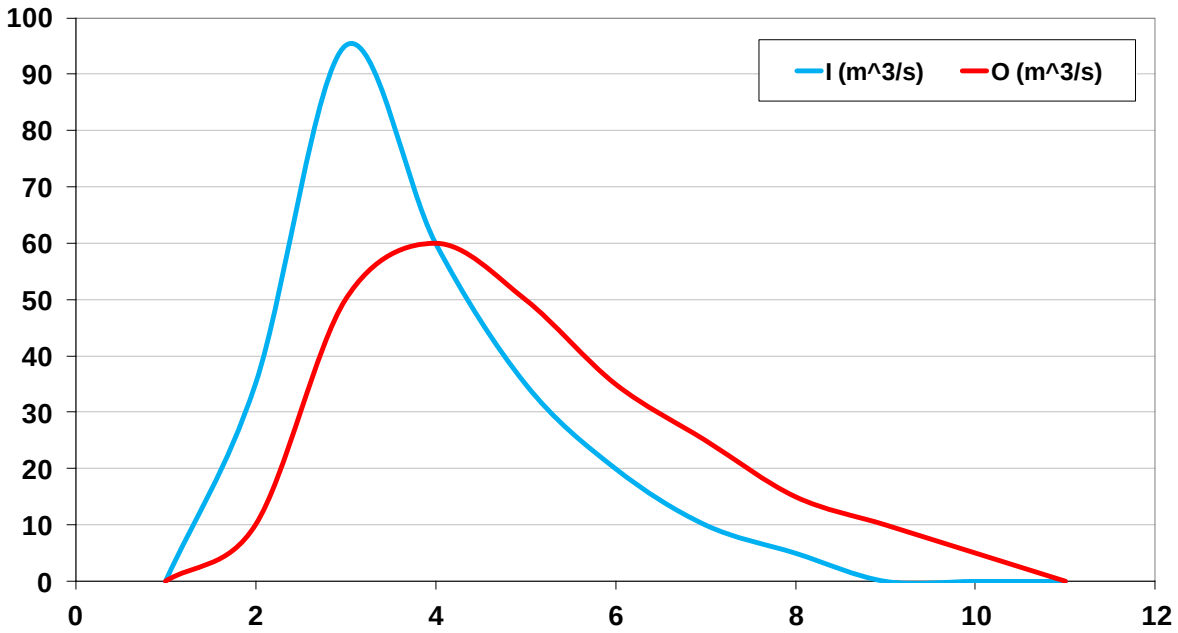
روش‌های تعیین مقادیر x و k

روش دوم:

$$K = \frac{\mathrm{D}\,S}{\mathrm{D}\,O}$$

$$\frac{S}{[xI + (1 - x)O]} = \frac{\mathrm{D}\,S}{\mathrm{D}\,O}$$

مثال: تعیین مقادیر x و k

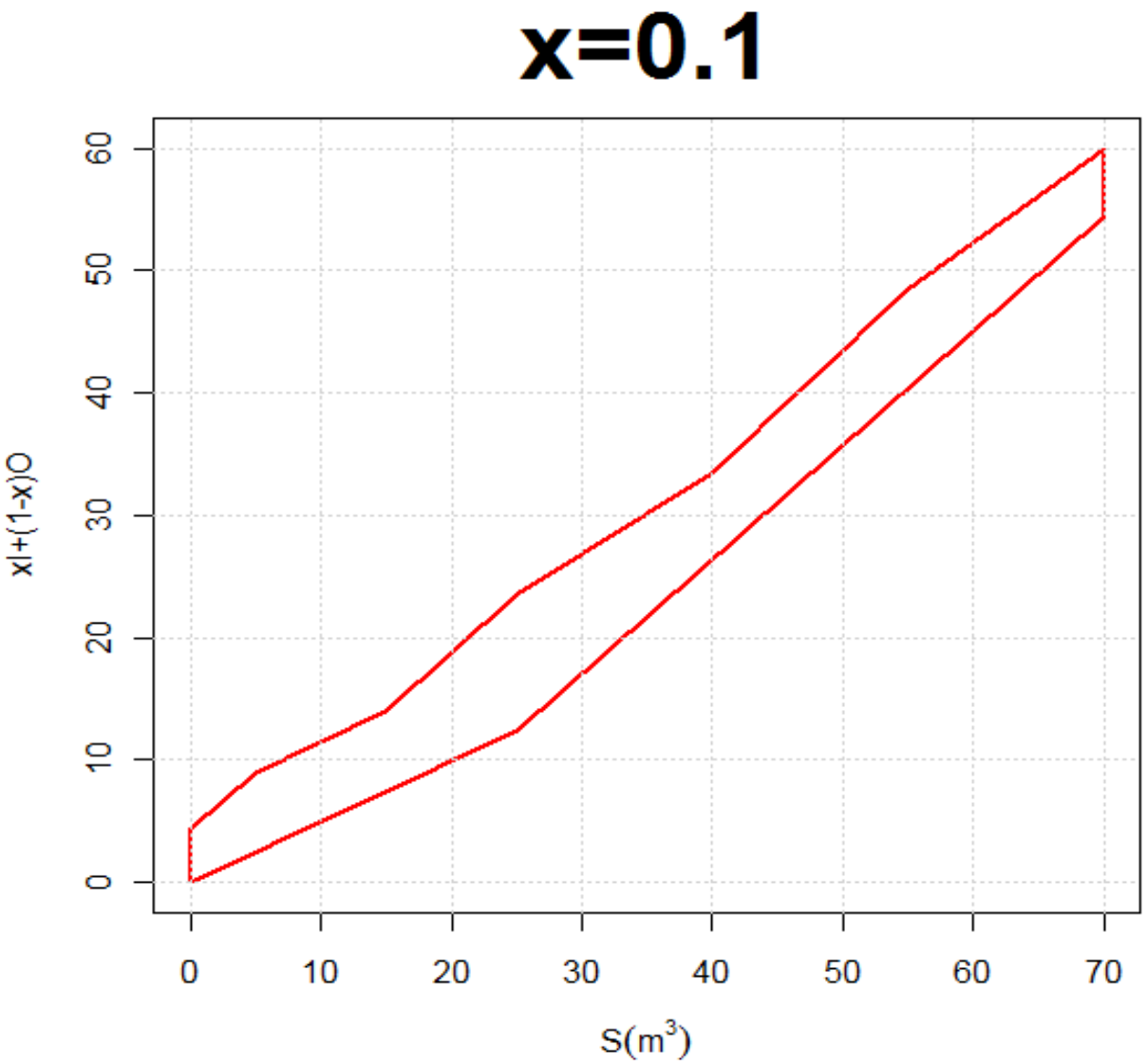


time (day)	I (m^3/s)	O (m^3/s)
1	0	0
2	35	10
3	95	50
4	60	60
5	35	50
6	20	35
7	10	25
8	5	15
9	0	10
10	0	5
11	0	0

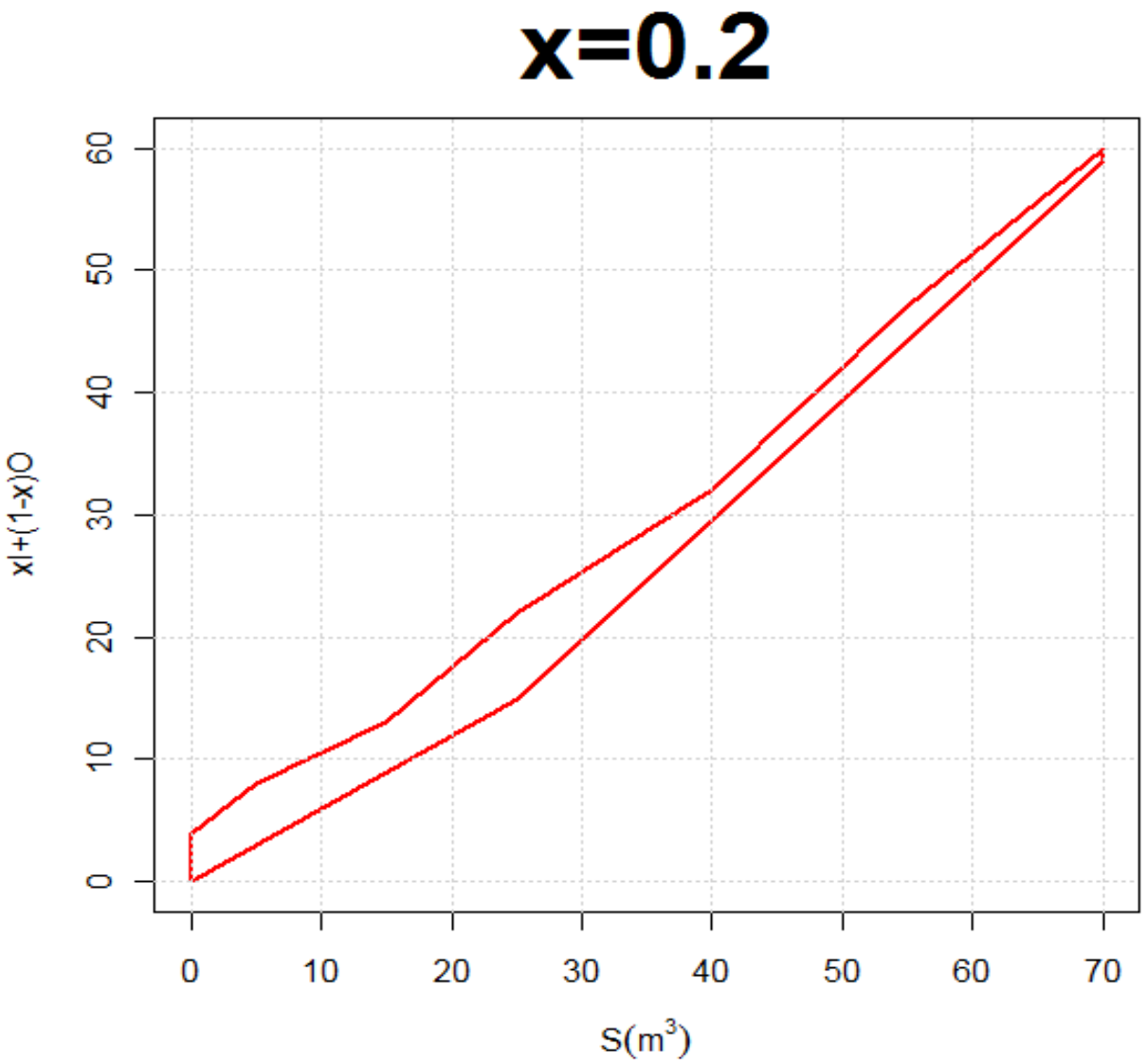
مثال: تعیین مقادیر x و k

time (day)	I (m^3/s)	O (m^3/s)	S m^3	xI-(1-x)O		
				x=0.1	x=0.2	x=0.3
1	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	35	10.0	25.0	12.5	15.0	17.5
3	95	50.0	70.0	54.5	59.0	63.5
4	60	60.0	70.0	60.0	60.0	60.0
5	35	50.0	55.0	48.5	47.0	45.5
6	20	35.0	40.0	33.5	32.0	30.5
7	10	25.0	25.0	23.5	22.0	20.5
8	5	15.0	15.0	14.0	13.0	12.0
9	0	10.0	5.0	9.0	8.0	7.0
10	0	5.0	0.0	4.5	4.0	3.5
11	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

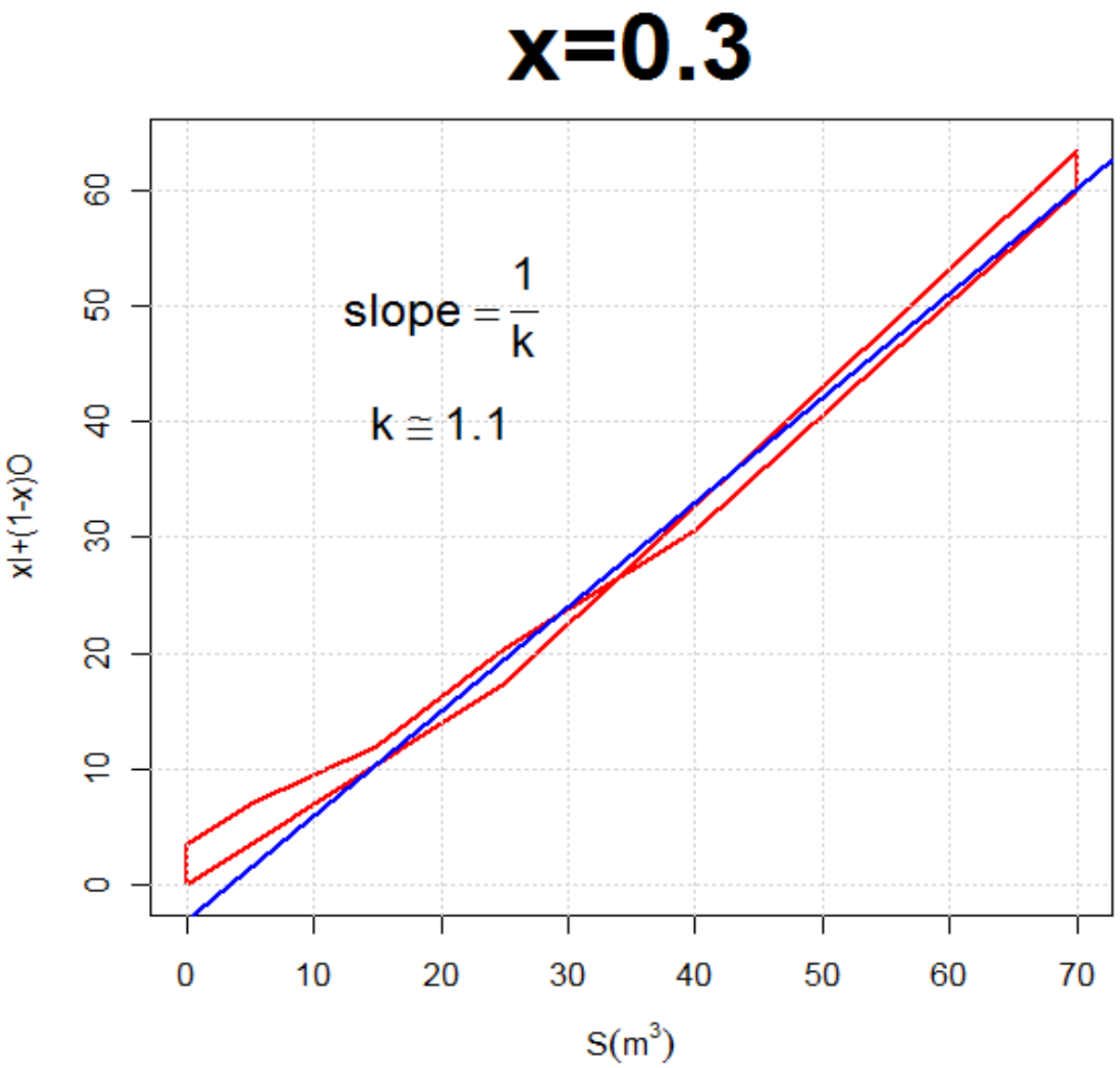
مثال: تعیین مقادیر x و k



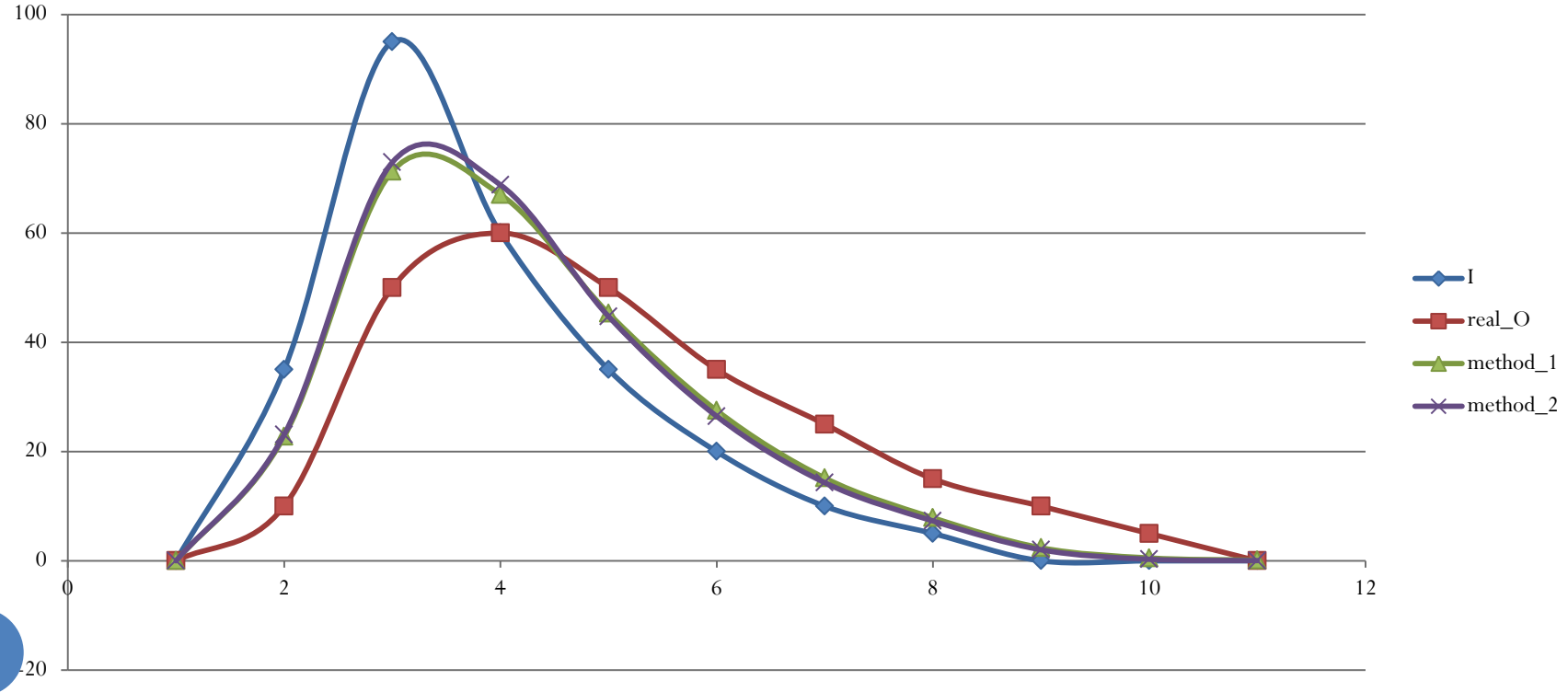
مثال: تعیین مقادیر x و k



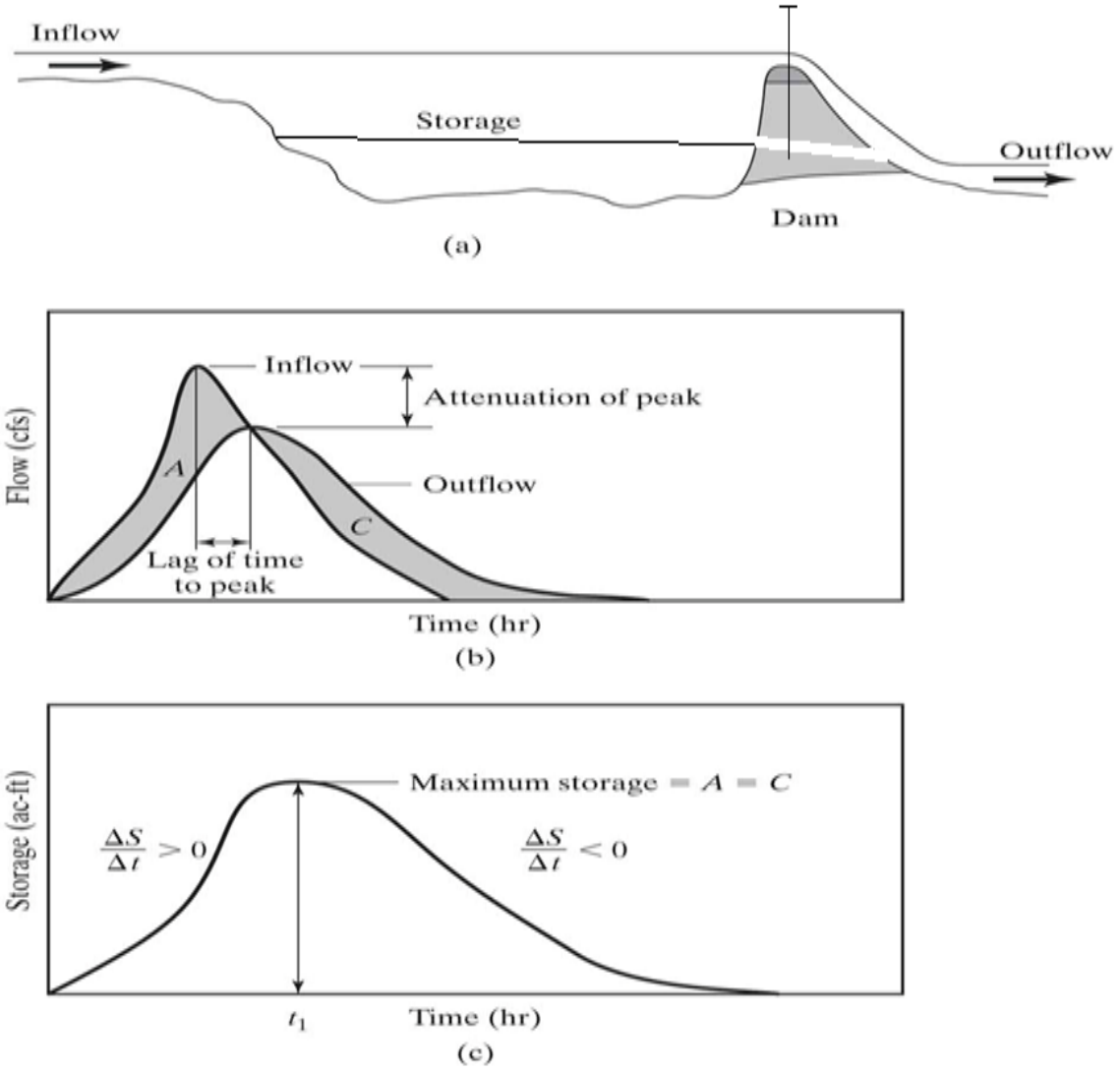
مثال: تعیین مقادیر x و k



time (day)	I (m^3/s)	O (m^3/s)	O(method_2) (m^3/s)	O(method_1) (m^3/s)
1	0	0	0	0
2	35	10	22.75	23.10
3	95	50	71.31	72.93
4	60	60	67.04	68.81
5	35	50	45.30	44.73
6	20	35	27.52	26.46
7	10	25	15.15	14.30
8	5	15	7.88	7.30
9	0	10	2.38	2.02
10	0	5	0.52	0.28
11	0	0	0.12	0.04



روندیابی در مخزن



روابط مورد استفاده در روندیابی مخازن (روش پالس)

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

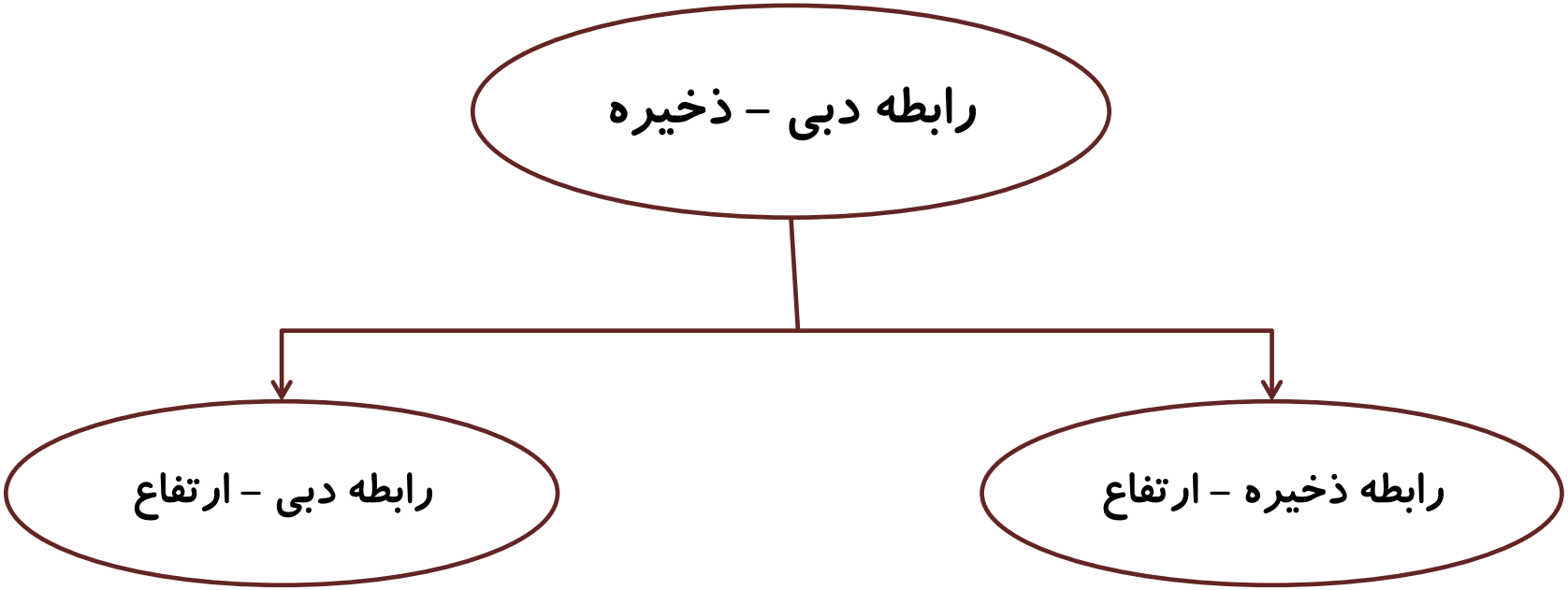
$$I\Delta t - O\Delta t = \Delta S$$

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta t - \frac{1}{2}(O_1 + O_2)\Delta t = S_2 - S_1$$

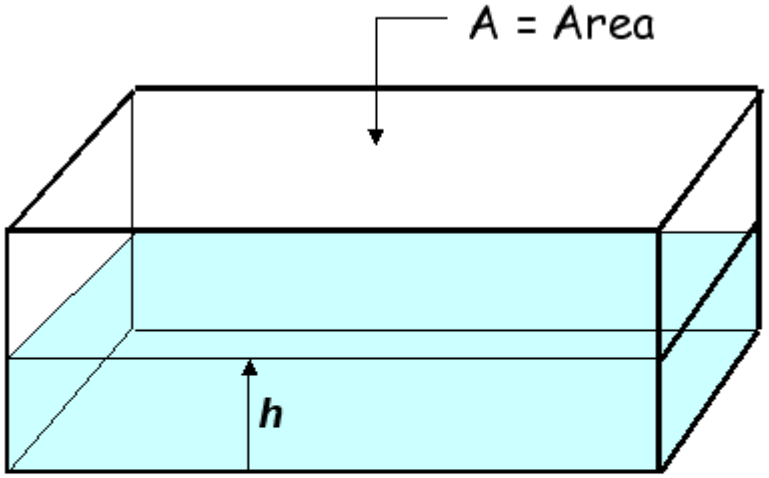
$$(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2}) = (\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_1}{2}) + \frac{I_1 + I_2}{2} - O_1$$

$$G_2 = G_1 + I_m - O_1$$

روابط بین دبی-ذخیره-ارتفاع

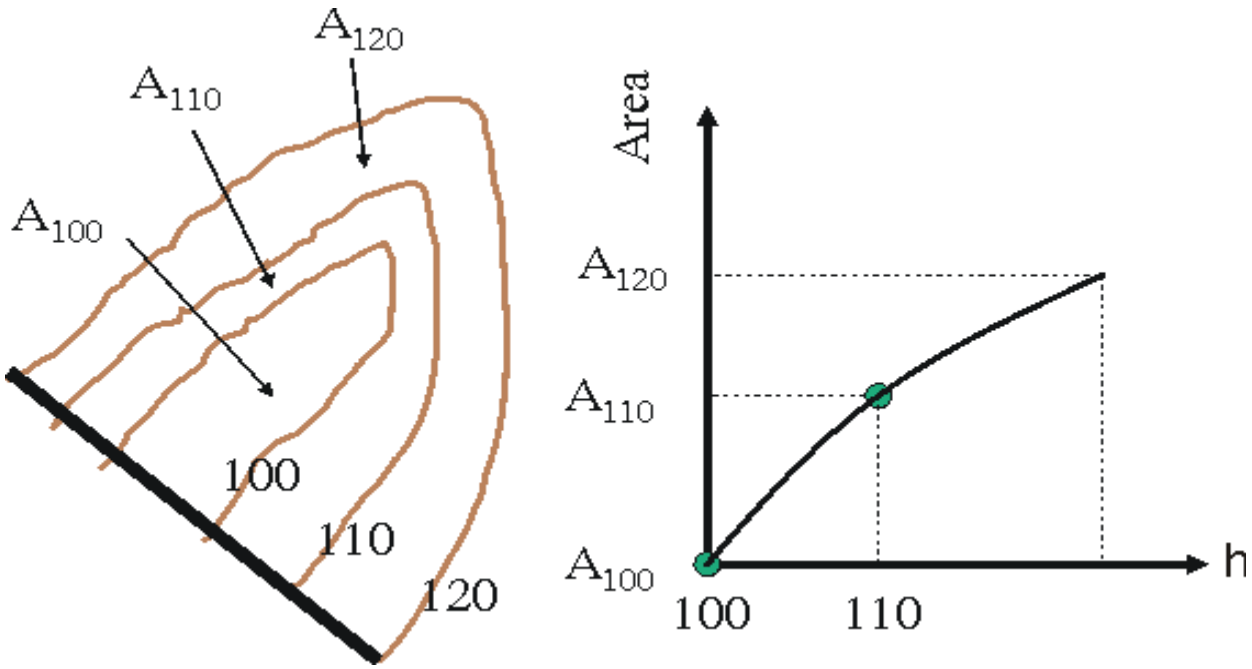


Box reservoir



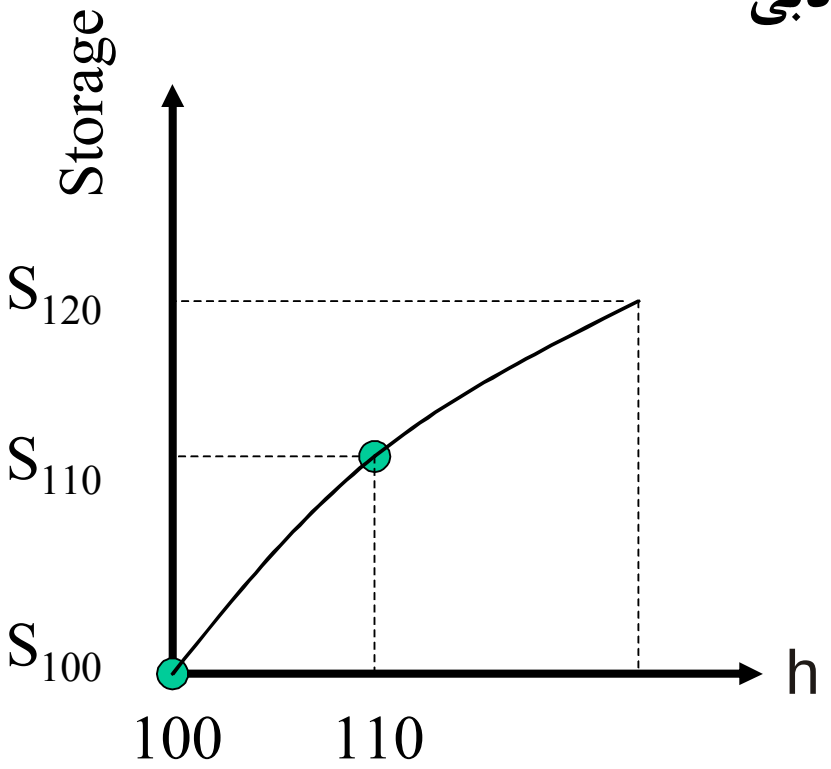
$$S(h) = Ah$$

روابط ترازآب-ذخیره-دبی



$$\Delta S = \frac{1}{2}(A_i + A_{i+1})\Delta h$$

روابط ترازآب-ذخیره-دبی

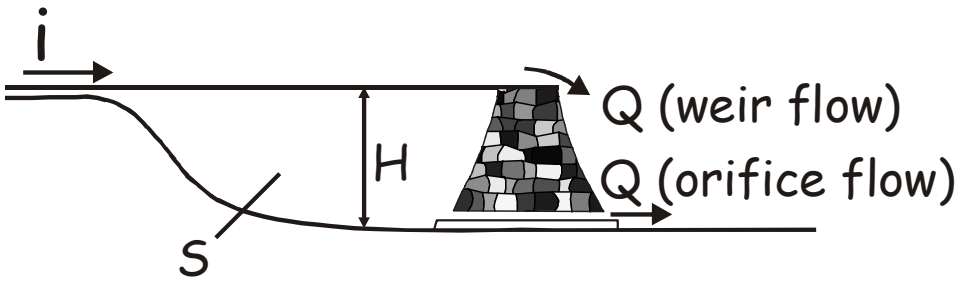


$S_{100} = 0.0$

$S_{110} = 0.5*(A_{110}+A_{100})*(110-100) + S_{100}$

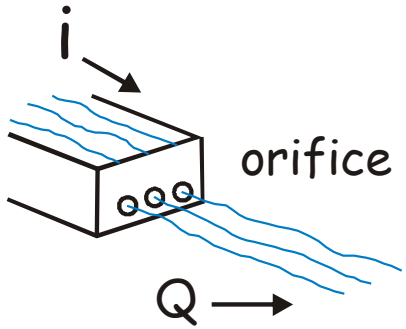
$S_{120} = 0.5*(A_{120}+A_{110})*(120-110) + S_{110}$

روابط ترازآب-ذخیره-دبی

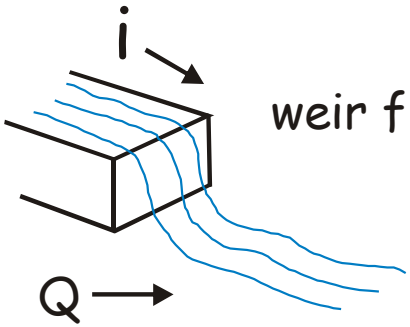


S=f(Q)

Q=f(H)



orifice flow: $Q = CA(2gh)^{0.5}$



weir flow: $Q = C_d BH^{3/2}$

مثال ۱

جهت کنترل سیلاب، مخزنی در مسیر رودخانه احداث گردیده است. سطح مقطع این مخزن ۴۰۶۴/۸۶ مترمربع با دیواره‌های عمودی بوده و لوله‌ای به قطر ۱.۵ متر جهت تخلیه در کف آن ایجاد شده است. مقادیر دبی ورودی برای فواصل ۱۰ دقیقه در ستون اول جدول ۱ آورده شده است.

ارتفاع آب در مخزن با دبی خروجی متناظر آن به‌ترتیب در ستون‌های اول و دوم جدول شماره ۲ ارایه شده است. می‌خواهیم با استفاده از روش روندیابی مخزن هیدروگراف خروجی را بدست آوریم، با فرض این مطلب که در ابتدای محاسبات مخزن خالی است.

مثال ۱

جدول 1

1	2
dt	I
0	0
10	1.7
20	3.4
30	5.1
40	6.8
50	8.5
60	10.19
70	9.06
80	7.93
90	6.8
100	5.66
110	4.53
120	3.4
130	2.27
140	1.13
150	0

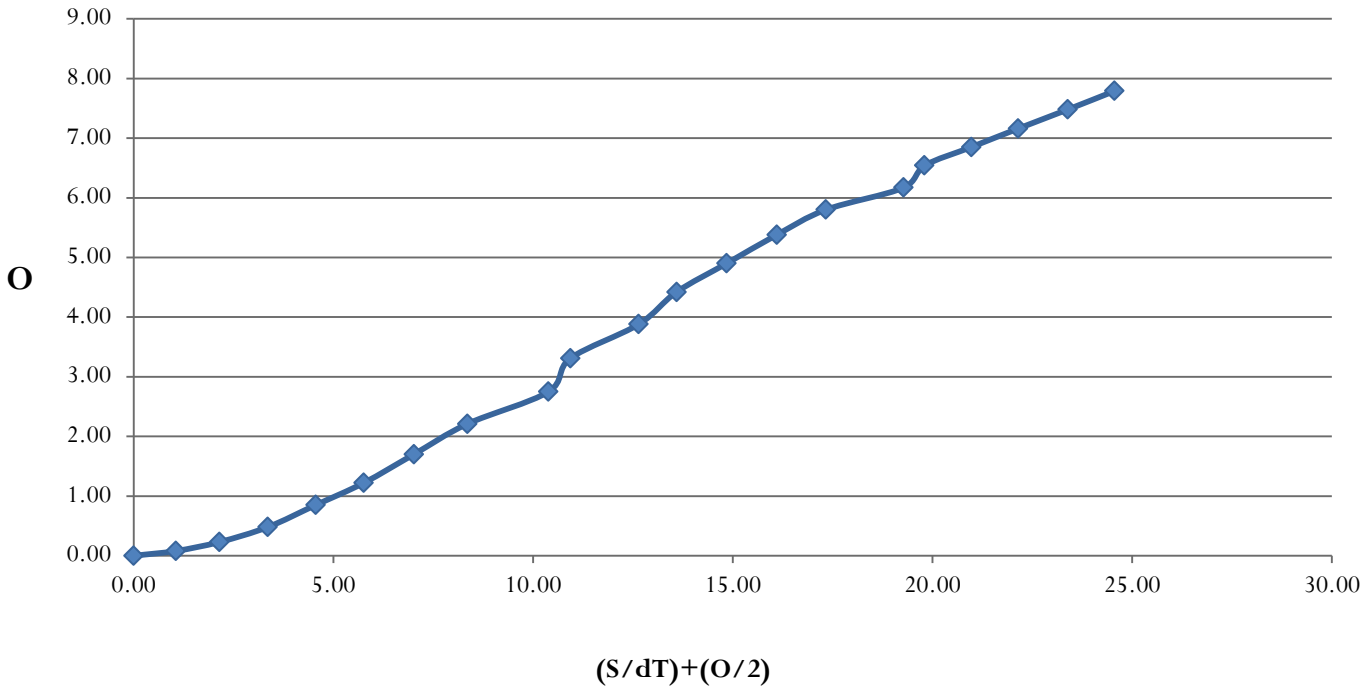
جدول 2

1	2
H	O
0.00	0.00
0.15	0.08
0.30	0.23
0.46	0.48
0.61	0.85
0.76	1.22
0.91	1.70
1.07	2.21
1.33	2.75
1.37	3.31
1.58	3.88
1.68	4.42
1.83	4.90
1.98	5.38
2.13	5.80
2.39	6.17
2.44	6.54
2.59	6.85
2.74	7.16
2.90	7.48
3.05	7.79

حل

1	2	3	4
H	O	S	(S/Dt)+(O/2)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	0.08	609.73	1.06
0.30	0.23	1219.46	2.15
0.46	0.48	1869.84	3.36
0.61	0.85	2479.56	4.56
0.76	1.22	3089.29	5.76
0.91	1.70	3699.02	7.02
1.07	2.21	4349.40	8.35
1.33	2.75	5406.26	10.39
1.37	3.31	5568.86	10.94
1.58	3.88	6422.48	12.64
1.68	4.42	6828.96	13.59
1.83	4.90	7438.69	14.85
1.98	5.38	8048.42	16.10
2.13	5.80	8658.15	17.33
2.39	6.17	9715.02	19.28
2.44	6.54	9918.26	19.80
2.59	6.85	10527.99	20.97
2.74	7.16	11137.72	22.14
2.90	7.48	11788.09	23.39
3.05	7.79	12397.82	24.56

حل

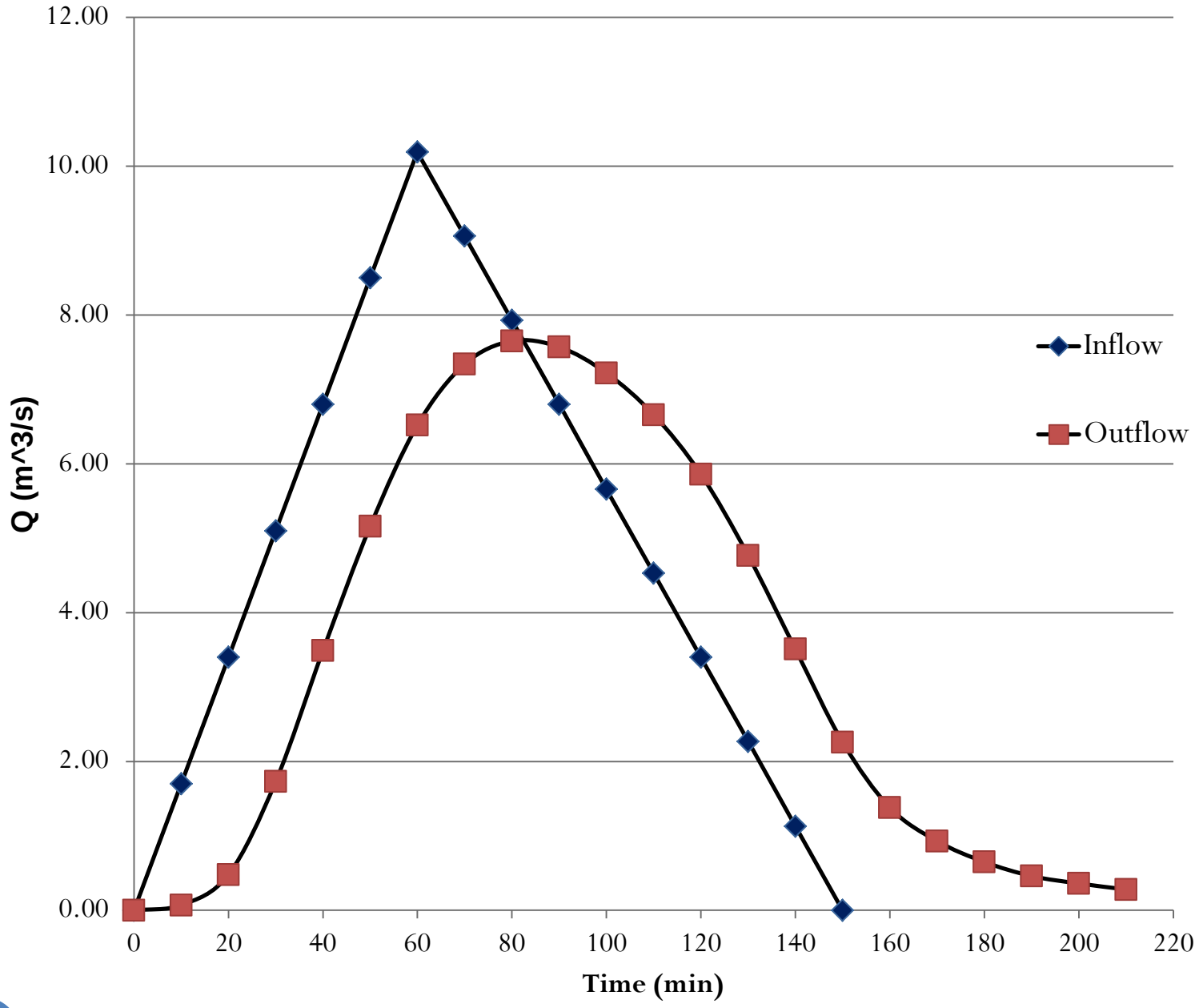

9.00
8.00
7.00
6.00
5.00
4.00
3.00
2.00
1.00
0.00
O
0.00
5.00
10.00
15.00
20.00
25.00
30.00
(S/dT)+(O/2)

حل

1	2	3	4	5	6
dt	I	Im	O	Im-O	G
0	0	0.85	0	0.85	0
10	1.7	2.55	0.07		0.85
20	3.4	4.25			
30	5.1	5.95			
40	6.8	7.65			
50	8.5	9.345			
60	10.19	9.625			
70	9.06	8.495			
80	7.93	7.365			
90	6.8	6.23			
100	5.66	5.095			
110	4.53	3.965			
120	3.4	2.835			
130	2.27	1.7			
140	1.13	0.565			
150	0	0			
160	0	0			
170	0	0			
180	0	0			
190	0	0			
200	0	0			
210	0	0			

حل

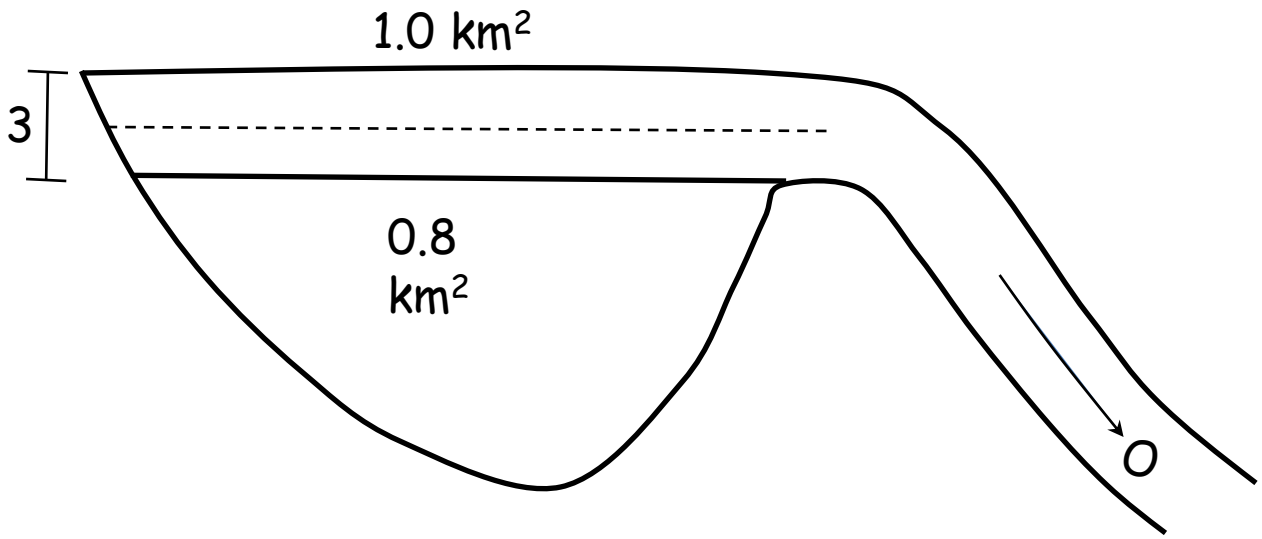
1	2	3	4	6
dt	I	Im	O	G
0	0	0.85	0	0
10	1.7	2.55	0.07	0.85
20	3.4	4.25	0.49	3.33
30	5.1	5.95	1.73	7.09
40	6.8	7.65	3.49	11.31
50	8.5	9.345	5.16	15.47
60	10.19	9.625	6.52	19.66
70	9.06	8.495	7.34	22.76
80	7.93	7.365	7.65	23.92
90	6.8	6.23	7.57	23.63
100	5.66	5.095	7.22	22.29
110	4.53	3.965	6.66	20.17
120	3.4	2.835	5.86	17.47
130	2.27	1.7	4.77	14.45
140	1.13	0.565	3.51	11.38
150	0	0	2.26	8.43
160	0	0	1.38	6.17
170	0	0	0.93	4.79
180	0	0	0.65	3.86
190	0	0	0.46	3.21
200	0	0	0.36	2.75
210	0	0	0.28	2.39


12.00
10.00
8.00
6.00
4.00
2.00
0.00
Q (m^3/s)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
Time (min)
Inflow
Outflow

مثال۲

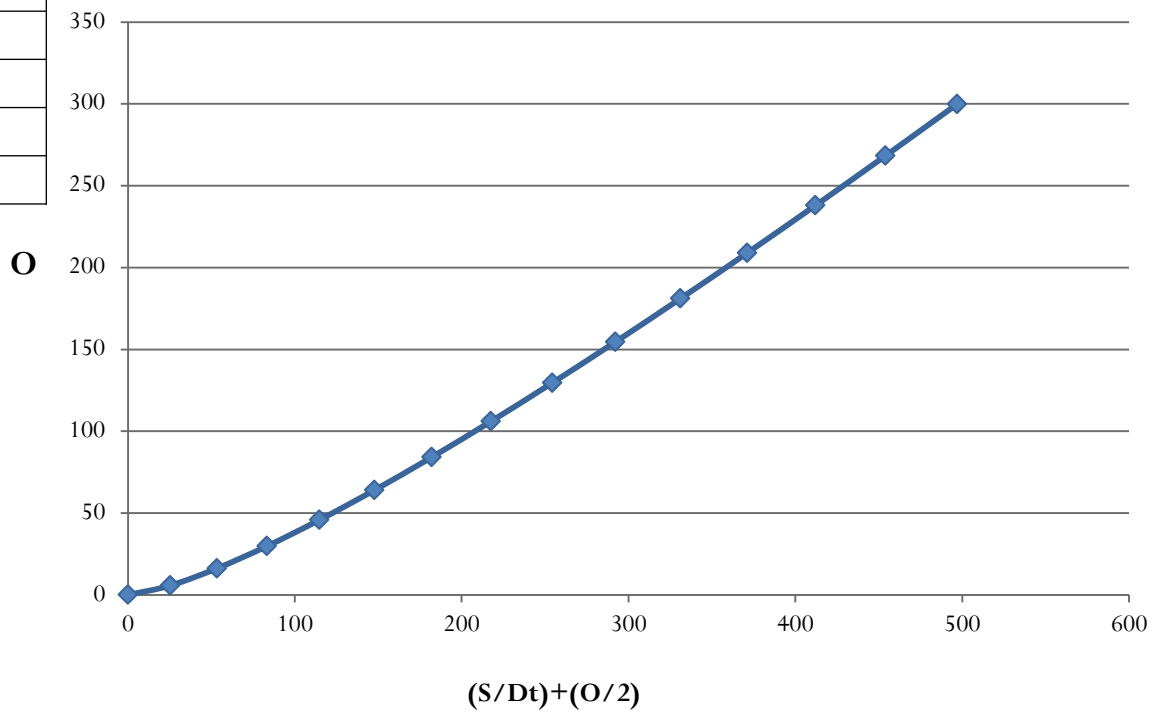
- مطلوبست تعیین هیدروگراف دبی خروجی حاصل از حداکثر سیل محتمل (PMF) در یک مخزن با اطلاعات زیر:
  - مساحت مخزن در تاج سرریز ۰/۸کیلومتر مربع
  - مساحت مخزن در ارتفاع ۳ متری از تاج سرریز ۱کیلومتر مربع
  - رابطه بین دبی خروج و ارتفاع آب $O = 64\ h^{3/2}$

Time (hr)	Inflow (m3/s)
0	5
2	8
4	15
6	30
8	85
10	160
12	140
14	95
16	45
18	15
20	10



حل

h(m)	S(Km3)	O(m3/s)	(S/Dt)+(O/2)
0	0	0	0
0.2	0.16	5.72	25.27
0.4	0.33	16.19	53.27
0.6	0.49	29.74	83.19
0.8	0.66	45.79	114.72
1	0.83	64.00	147.69
1.2	1.01	84.13	182.00
1.4	1.18	106.02	217.55
1.6	1.36	129.53	254.27
1.8	1.55	154.56	292.13
2	1.73	181.02	331.07
2.2	1.92	208.84	371.05
2.4	2.11	237.96	412.04
2.6	2.30	268.31	454.03
2.8	2.50	299.86	496.97



حل

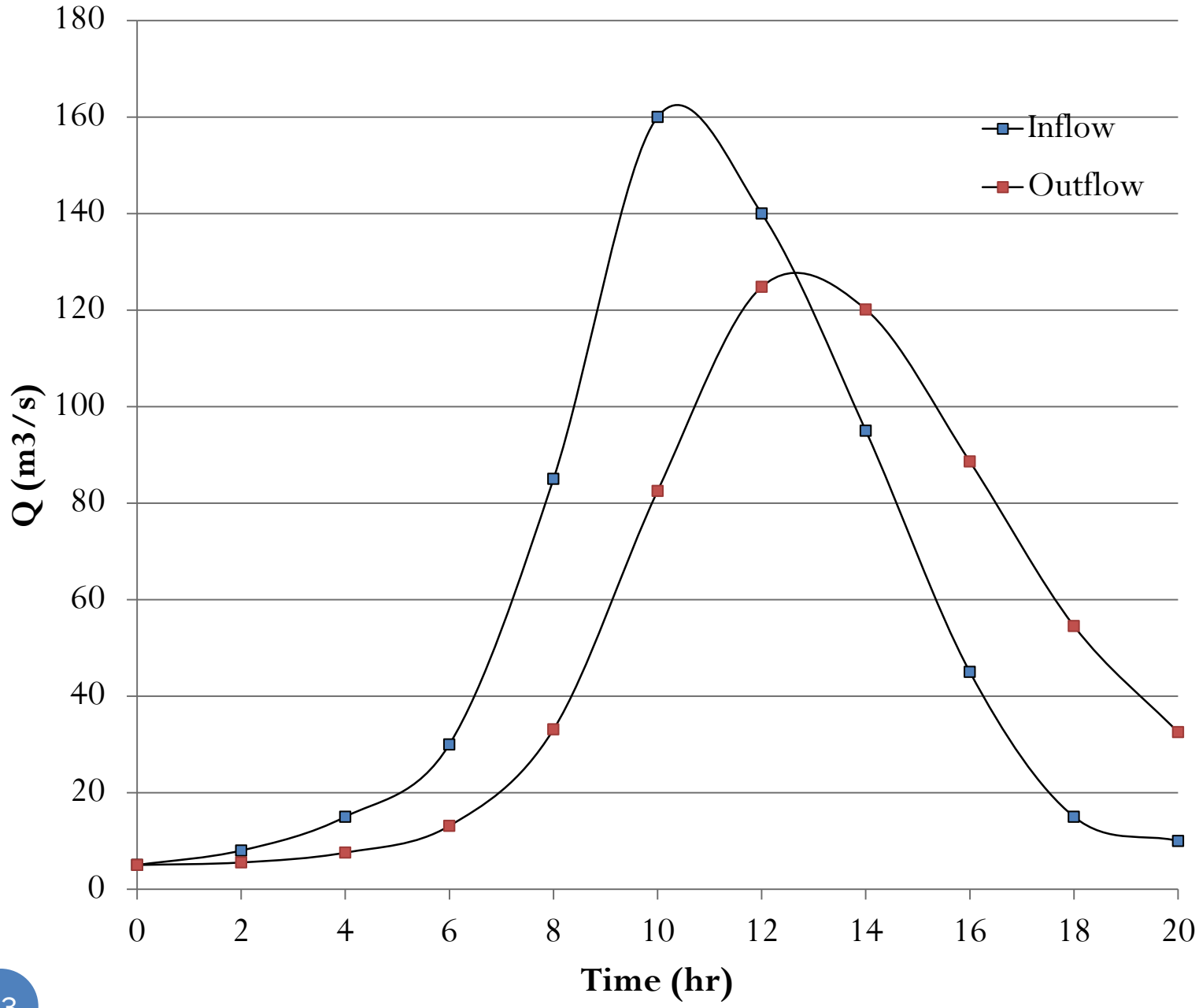
time	inflow	Im	O	G
0	5	6.5	5	
2	8	11.5		
4	15	22.5		
6	30	57.5		
8	85	122.5		
10	160	150		
12	140	117.5		
14	95	70		
16	45	30		
18	15	12.5		
20	10	5		

time	inflow	Im	O	G
0	5	6.5	5	22.07
2	8	11.5		23.57
4	15	22.5		
6	30	57.5		
8	85	122.5		
10	160	150		
12	140	117.5		
14	95	70		
16	45	30		
18	15	12.5		
20	10	5		

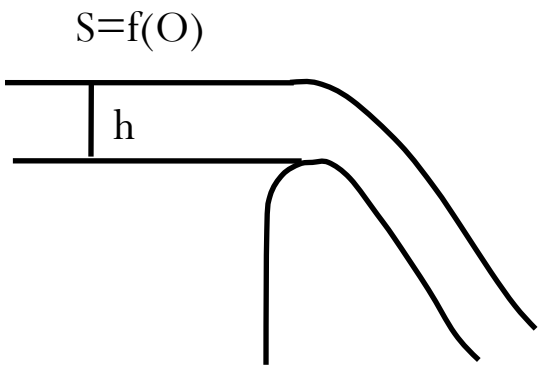
حل

time	inflow	Im	O	G
0	5	6.5	5	22.07
2	8	11.5	5.52	23.57
4	15	22.5	7.56	29.55
6	30	57.5	13.11	44.49
8	85	122.5	33.09	88.88
10	160	150	82.52	178.29
12	140	117.5	124.79	245.77
14	95	70	120.13	238.48
16	45	30	88.6	188.35
18	15	12.5	54.53	129.75
20	10	5	32.52	87.72

حل


180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Q (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Time (hr)
Inflow
Outflow

چنانچه ذخیره تابعی از دبی خروجی باشد، در این حالت:



با در نظر گرفتن این که عرض سرریز مخزن سد B باشد و C_d ضریب شدت جریان دبی خروجی از روی سرریز، مقدار دبی خروجی از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$O = C_d B h^{3/2}$$

$$O = C_d B \left(\frac{S}{A}\right)^{3/2}$$

$$S = \frac{A}{(C_d \times B)^{2/3}} O^{2/3}$$

مثال ۳

سدی با عرض سرریز ۳۰ متر بر روی مخزنی با سطح مقطع ۵ کیلومتر مربع زده شده است. ضریب شدت جریان سرریز ۲.۲ می‌باشد.

یک موج سیل وارد مخزن سد شده و سبب افزایش جریان به صورت خطی از ۲۵ متر مکعب بر ثانیه به ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه در مدت ۱۲ ساعت می‌شود. سپس جریان از ۳۰۰ متر مکعب بر ثانیه به ۲۰ متر مکعب بر ثانیه به صورت خطی در مدت ۲۴ ساعت کاهش می‌یابد.

مطلوبست حداکثر دبی خروجی و زمان آن.

حل

$$S = \frac{A}{(C_d \times B)^{2/3}} O^{2/3}$$

$$= \frac{5 \times 10^6}{(2.2 \times 30)^{2/3}} O^{2/3}$$

$$= 3.062 \times 10^5 O^{2/3}$$

$$G_2 = G_1 + I_m - O_1$$

$$(\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2}) = (\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_1}{2}) + \frac{I_1 + I_2}{2} - O_1$$

$$\frac{3.06 \times 10^5}{\Delta t} \times O_2^{2/3} + \frac{1}{2} O_2 = \frac{3.06 \times 10^5}{\Delta t} \times O_1^{2/3} + \frac{1}{2} O_1 + \frac{1}{2}(I_1 + I_2) - O_1$$

حل

معادله شاخه بالارونده هیدروگراف ورودی:

$$m = \frac{I_{300} - I_{25}}{t_{300} - t_{25}}$$

$$m = \frac{300 - 25}{12 - 0} = \frac{275}{12}$$

$$I - 25 = \frac{275}{12}(t - 0)$$

معادله شاخه فروکش هیدروگراف ورودی:

$$m = \frac{I_{20} - I_{300}}{t_{36} - t_{12}}$$

$$= \frac{20 - 300}{36 - 12} = -\frac{35}{3}$$

$$I - 20 = -\frac{35}{3}(t - 36)$$

$$I = -\frac{35}{3}t + \frac{35 \times 36}{3} + 20$$

$$I = -\frac{35}{3}t + 440$$

حل

$$\frac{3.06\times10^5}{\Delta t}\times O_2^{2/3}+\frac{1}{2}O_2=\frac{3.06\times10^5}{\Delta t}\times O_1^{2/3}+\frac{1}{2}O_1+\frac{1}{2}(I_1+I_2)-O_1$$

$$\Delta t=3hr\Rightarrow 56.7\times O_2^{2/3}+\frac{1}{2}O_2=56.7\times O_1^{2/3}+\frac{1}{2}(I_1+I_2)-\frac{1}{2}O_1$$

با توجه به این که $I_1=25$ و $I_2=93.75$ است، داریم:

$$56.7\times O_2^{2/3}+\frac{1}{2}O_2=56.7\times 25^{2/3}+\frac{1}{2}(25+93.75)-\frac{1}{2}\times 25$$

$$56.7\times O_2^{2/3}+\frac{1}{2}O_2=578.5$$

$$O_2=30.08 \quad m^3/s$$

$$O_3=46.06 \quad m^3/s$$

آمار و احتمالات در هیدرولوژی

فصل ۱۷ (کتاب علیزاده)

داده ها و سری های هیدرولوژیکی

انواع داده ها

- ✓داده های گسسته
- ✓داده های پیوسته
  - داده های نمونه ای
  - داده های پالسی

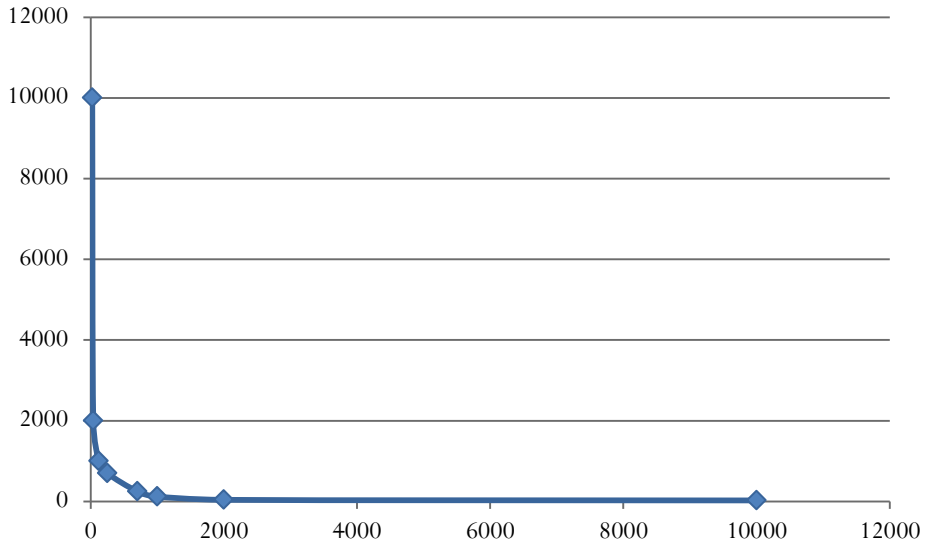
انواع سری ها

- ✓سری های کامل (منحنی تداوم جریان)
- ✓سری های جزئی و سری های مقادیر نهایی (سیلاب های لحظه ای- خشکسالی ها)
  - سری حداکثر سالانه
  - سری حداقل سالانه

انواع نمودارها

✓نمودارحسابی

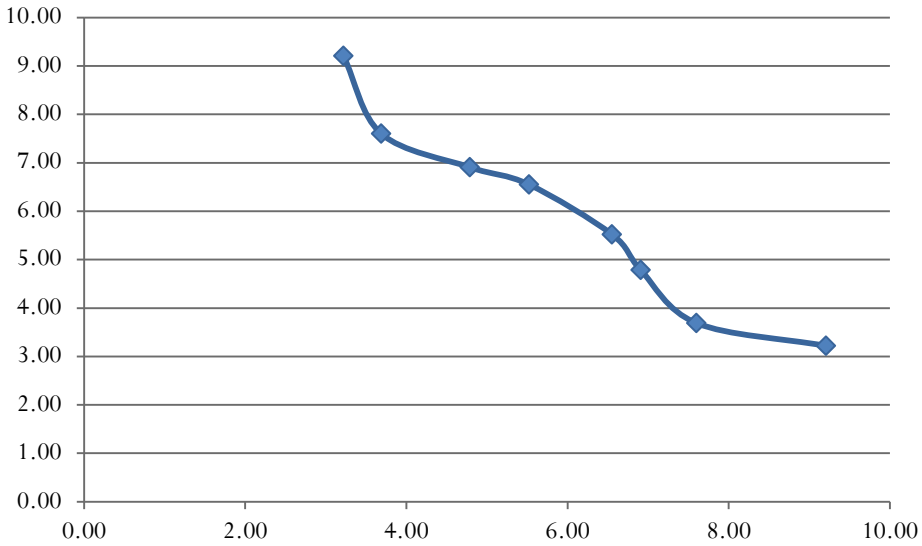
X	Y
25	10000
40	2000
120	1000
250	700
700	250
1000	120
2000	40
10000	25

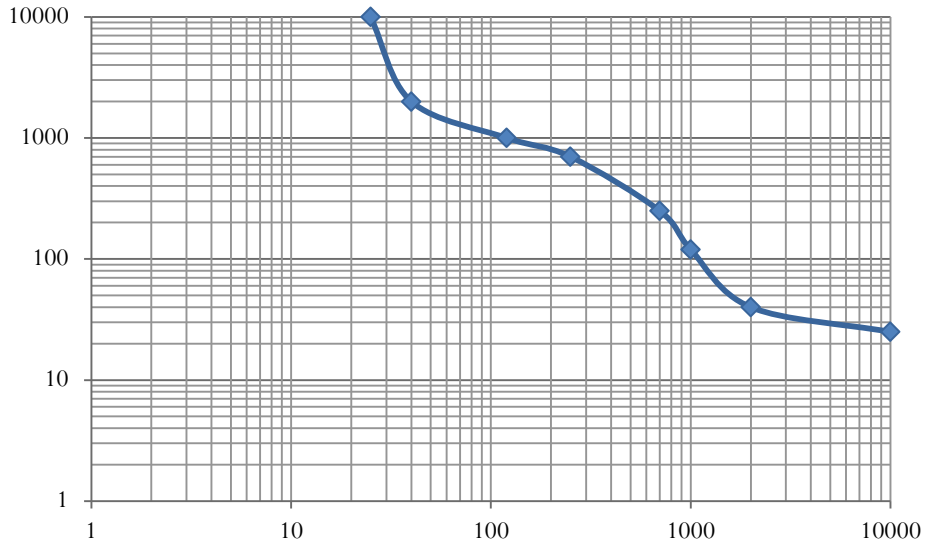


انواع نمودارها

X	Y	ln X	ln Y
25	10000	3.22	9.21
40	2000	3.69	7.60
120	1000	4.79	6.91
250	700	5.52	6.55
700	250	6.55	5.52
1000	120	6.91	4.79
2000	40	7.60	3.69
10000	25	9.21	3.22

✓نمودار لگاریتمی یا نیمه لگاریتمی





آمار و احتمالات

- ✓توصیف داده ها
- ✓مشخصات آماری داده ها

معیارهای تمایل مرکزی

- ○انواع میانگین ها
- ○میانه
- ○نما

معیارهای پراکندگی

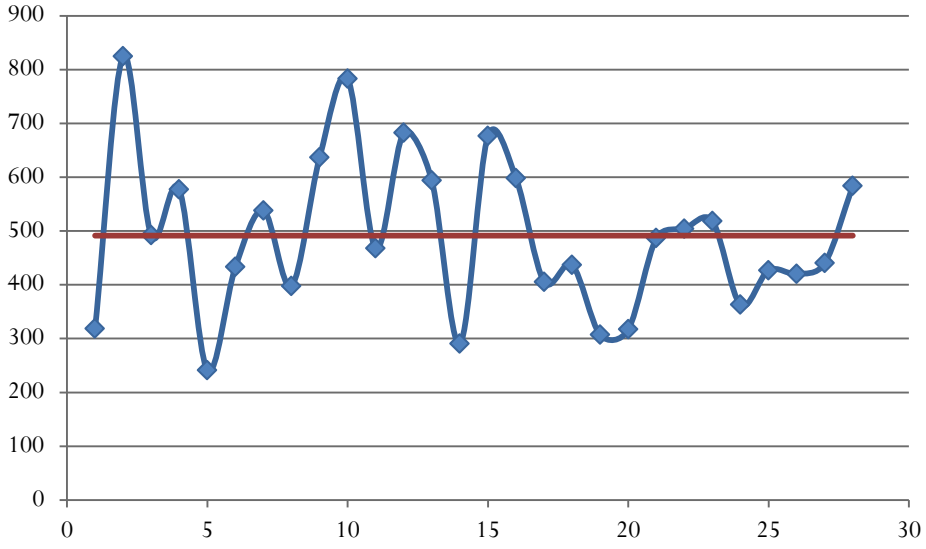
- ○واریانس
- ○انحراف معیار
- ○ضریب تغییرات

معیارهای تمایل مرکزی

ردیف	سال آبي	ارتفاع بارندگي سالانه (mm)
1	38-39	318.6
2	39-40	824.8
3	40-41	492.3
4	41-42	577.3
5	42-43	241.3
6	43-44	433.1
7	44-45	538.0
8	45-46	397.5
9	46-47	636.4
10	47-48	782.7
11	48-49	467.8
12	49-50	682.4
13	50-51	593.5
14	51-52	290.3
15	52-53	676.6
16	53-54	598.0
17	54-55	405.5
18	55-56	436.6
19	56-57	306.8
20	57-58	316.9
21	58-59	486.6
22	59-60	504.2
23	60-61	518.3
24	61-62	362.7
25	62-63	426.9
26	63-64	420.2
27	64-65	440.1
28	65-66	583.9
	average	491.4

○میانگین حسابی

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^{T} x_t}{T}$$

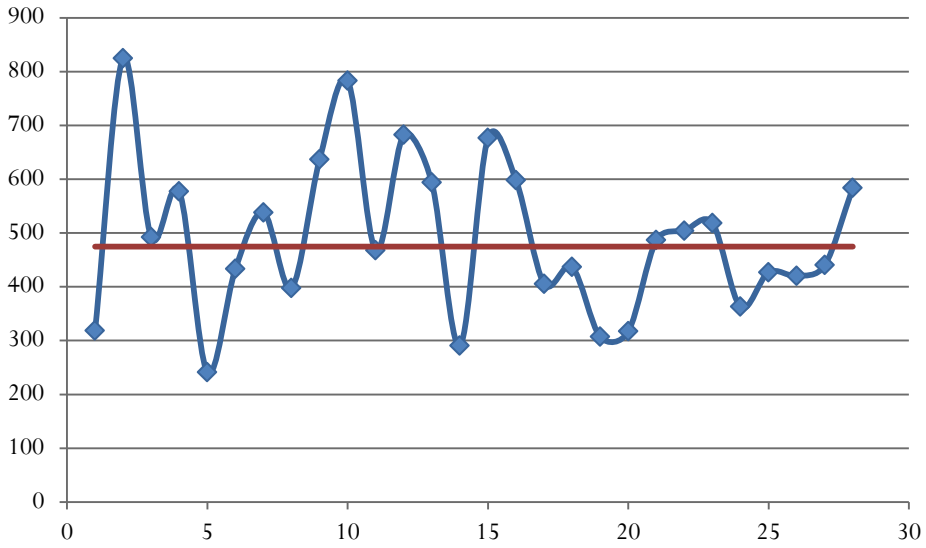


معیارهای تمایل مرکزی

ردیف	سال آبي	ارتفاع بارندگي سالانه (mm)	مساحت (km۲)	حاصلضرب مساحت در ارتفاع بارندگي
1	38-39	318.6	200.0	63720.0
2	39-40	824.8	150.0	123720.0
3	40-41	492.3	125.0	61537.5
4	41-42	577.3	400.0	230920.0
5	42-43	241.3	300.0	72390.0
6	43-44	433.1	175.0	75792.5
7	44-45	538.0	500.0	269000.0
8	45-46	397.5	75.0	29812.5
9	46-47	636.4	300.0	190920.0
10	47-48	782.7	450.0	352215.0
11	48-49	467.8	500.0	233900.0
12	49-50	682.4	25.0	17060.0
13	50-51	593.5	100.0	59350.0
14	51-52	290.3	125.0	36287.5
15	52-53	676.6	75.0	50745.0
16	53-54	598.0	175.0	104650.0
17	54-55	405.5	280.0	113540.0
18	55-56	436.6	220.0	96052.0
19	56-57	306.8	500.0	153400.0
20	57-58	316.9	380.0	120422.0
21	58-59	486.6	250.0	121650.0
22	59-60	504.2	325.0	163865.0
23	60-61	518.3	75.0	38872.5
24	61-62	362.7	300.0	108810.0
25	62-63	426.9	450.0	192105.0
26	63-64	420.2	500.0	210100.0
27	64-65	440.1	370.0	162837.0
28	65-66	583.9	215.0	125538.5
		491.4	7540.0	3579212.0
		mean	474.6965517	

- میانگین وزنی

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^{T} x_t w_t}{\sum_{t=1}^{T} w_t}$$



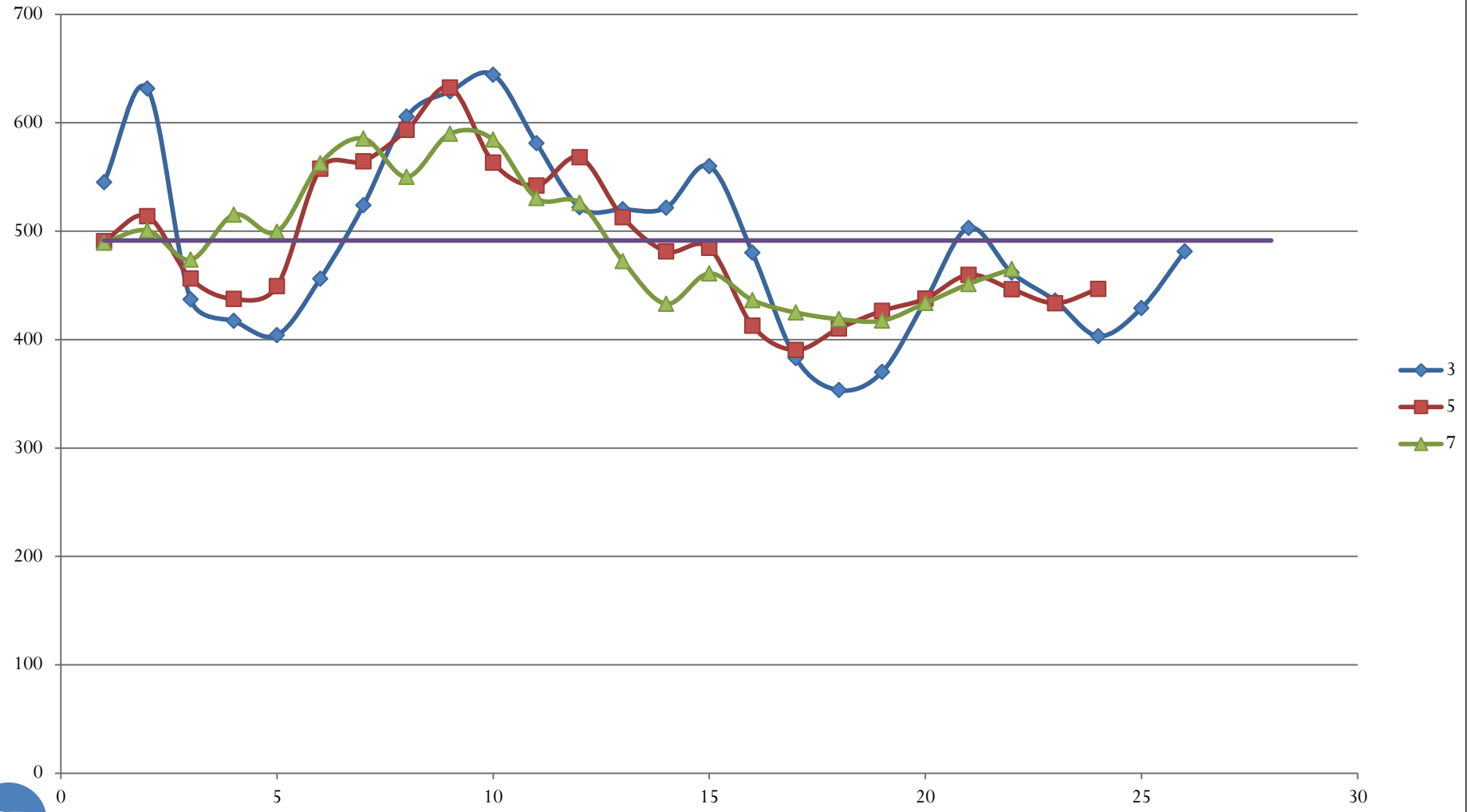
معیارهای تمایل مرکزی

○میانگین متحرک

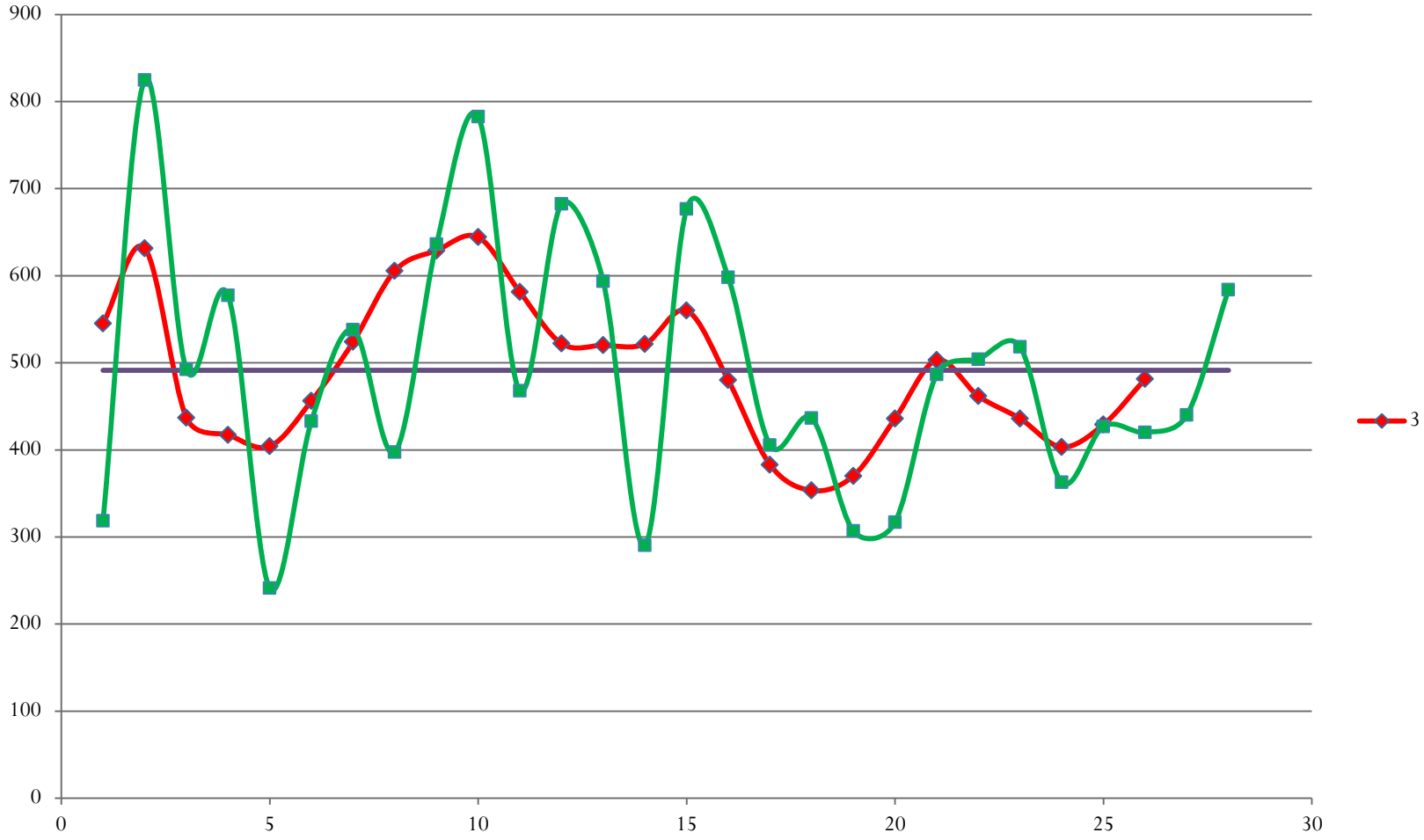
		میانگین متحرک		
سال آبي	ارتفاع بارندگي سالانه ((mm	میانگین متحرک سه ساله	پنج ساله	هفت ساله
38-39	318.6			
39-40	824.8	545.2		
40-41	492.3	631.5	490.9	
41-42	577.3	437.0	513.8	489.3
42-43	241.3	417.2	456.4	500.6
43-44	433.1	404.1	437.4	473.7
44-45	538.0	456.2	449.3	515.2
45-46	397.5	524.0	557.5	499.5
46-47	636.4	605.5	564.5	562.6
47-48	782.7	629.0	593.4	585.5
48-49	467.8	644.3	632.6	550.1
49-50	682.4	581.2	563.3	590.0
50-51	593.5	522.1	542.1	584.5
51-52	290.3	520.1	568.2	530.6
52-53	676.6	521.6	512.8	526.1
53-54	598.0	560.0	481.4	472.5
54-55	405.5	480.0	484.7	433.0
55-56	436.6	383.0	412.8	461.0
56-57	306.8	353.4	390.5	436.4
57-58	316.9	370.1	410.2	425.0
58-59	486.6	435.9	426.6	418.9
59-60	504.2	503.0	437.7	417.5
60-61	518.3	461.7	459.7	433.7
61-62	362.7	436.0	446.5	451.3
62-63	426.9	403.3	433.6	465.2
63-64	420.2	429.1	446.8	
64-65	440.1	481.4		
65-66	583.9			

معیارهای تمایل مرکزی

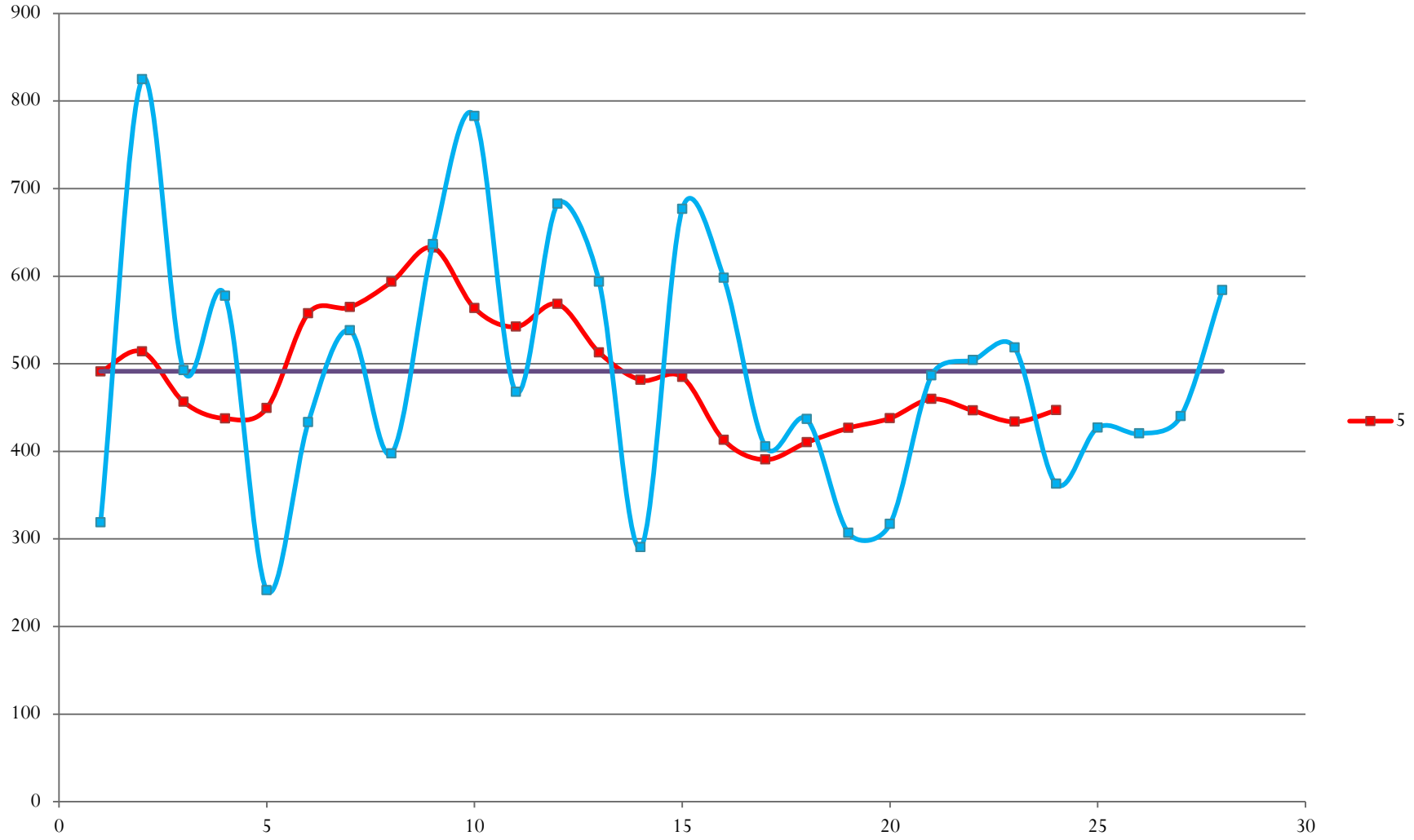
○میانگین متحرک



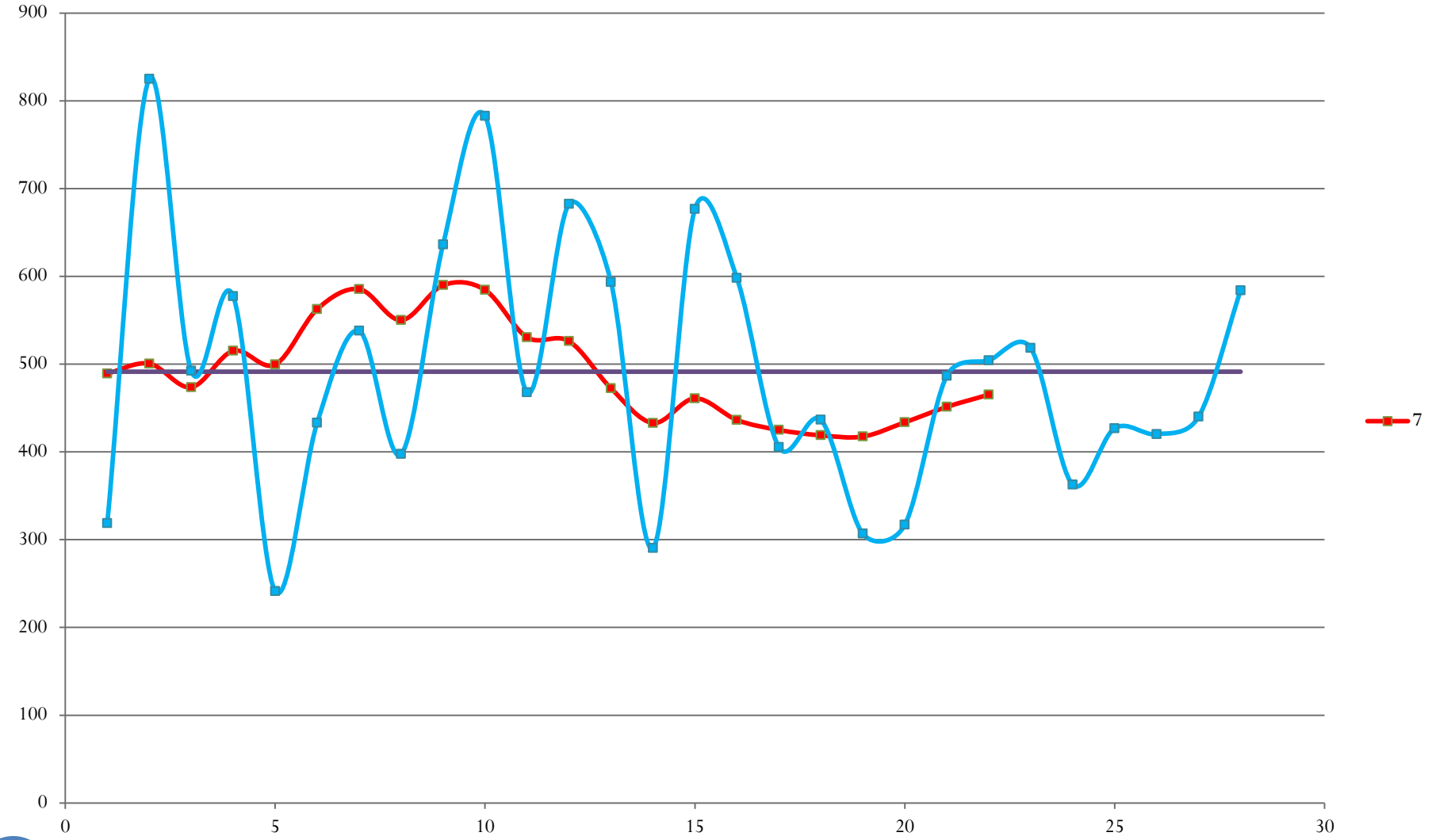
میانگین متحرک ۳ ساله



میانگین متحرک ۵ساله



میانگین متحرک ۷ساله



معیارهای تمایل مرکزی

- میانگین هارمونیک

$$\bar{x} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \ldots + \frac{1}{x_n}}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{t=1}^{T} w_t}{\sum_{t=1}^{T} \frac{w_t}{x_t}}$$

معیارهای تمایل مرکزی

- میانگین هندسی

$$\bar{x} = \left[x_1 \times x_2 \times .... \times x_n \right]^{1/n}$$

$$\bar{x} = \sum \sqrt[f_i]{(x_{c1})^{f_1} \times (x_{c2})^{f_2} \times .... \times (x_{cn})^{f_n}}$$

آنالیز آماری داده ها

- **هیستوگرام فراوانی**

✓ نشان دهنده رابطه بین شدت و فراوانی نسبی (در صد وقوع)

✓ یکی از روش های ساده و در عین حال موثر در تحلیل آمارهای هیدرولوژی است.

- **مراحل رسم هیستوگرام**

۱. گروه بندی داده ها با توجه به حد بالا و پایین داده ها

✓ **دقت شود که انتخاب تعداد گروه ها جهت تحلیل صحیح از اهمیت بالایی برخوردار است. طبق تجربه شخصی اینجانب گروه ها بایستی همگن و تقریبا در هرگروه تعداد آمار متناسب با سایر گروه ها باشد. طبق رفرانسها رابطه بین تعدادگروهها با تعداد آمار به صورت روابط زیر پیشنهاد شده است:**

(m تعداد گروه و n تعداد آمار)

$$m = 1 + 3.3 \log n$$

$$m = \sqrt{n}$$

$$m = 5 \log n$$

۲. محاسبه فراوانی نسبی و تجمعی در هر گروه

- ✓ پس از دسته بندی و شمارش آمار موجود در هر دسته فراوانی آن گروه یادداشت شده و نسبت به فراوانی کل سنجیده می شود:

$$F_x(x_i) = \frac{n_i}{n}$$

$F_x(x_i)$: فراوانی نسبی گروه

n_i : تعداد داده ها در گروه i

n : تعداد کل آمار

مثال:

مطلوبست هیستوگرام فراوانی آمار دبی متوسط رودخانه دینور در ایستگاه حیدرآباد

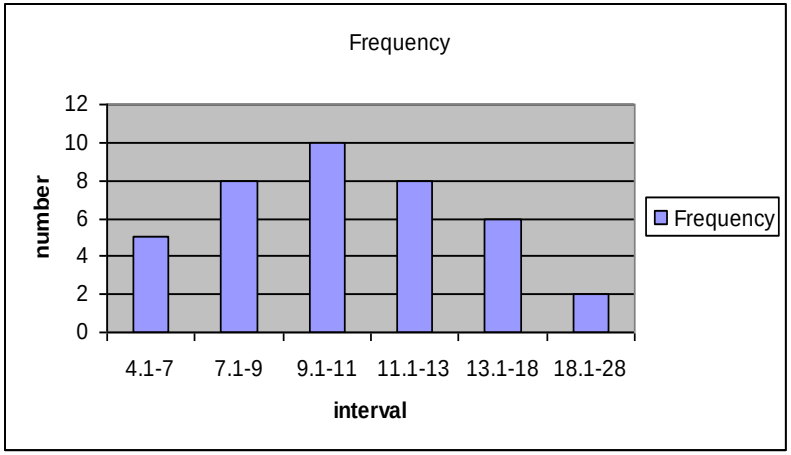
سال	دبی (m^3/s)
1333-34	7.31
34-35	9.92
35-36	12.78
36-37	7.94
37-38	8.44
38-39	4.33
39-40	8.41
40-41	7.45
41-42	13.19
42-43	7.44
43-44	6.19
44-45	10.52
45-46	6.31
46-47	11.44
47-48	27.27
48-49	9.75
49-50	11.26
50-51	17.67
51-52	9.2
52-53	27.11

سال	دبی (m^3/s)
53-54	13.4
54-55	15.1
55-56	8.81
56-57	10.21
57-58	9.18
58-59	10.84
59-60	12.56
60-61	10.72
61-62	12.71
62-63	5.36
63-64	15.09
64-65	11.5
65-66	6
66-67	10.3
67-68	9.5
68-69	8.4
69-70	11.5
70-71	12.5
71-72	17.1

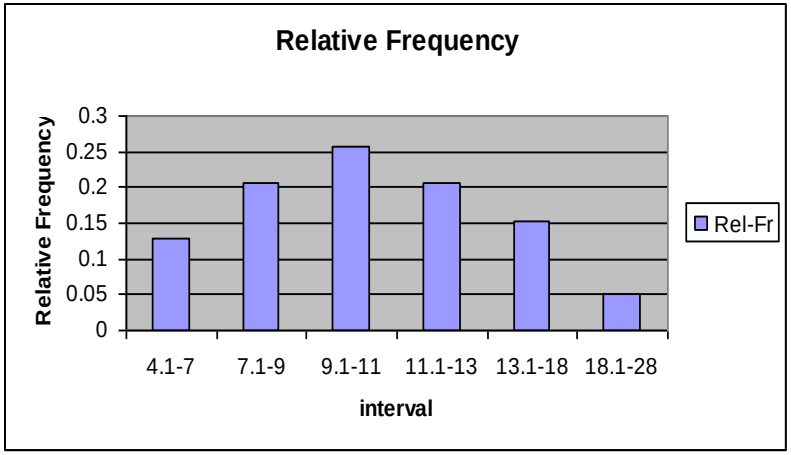
حل:

1. **ابتدا با توجه به تعداد ۳۹ عدد تعداد گروه ها را مشخص می کنیم به طور مثال ۶ گروه را انتخاب می کنیم.**
2. **فراوانی نسبی و تجمعی در هر گروه را محاسبه می نماییم.**

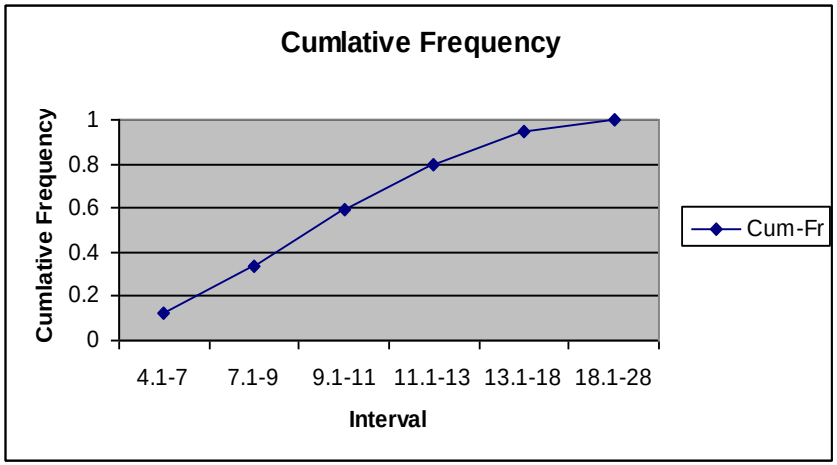
مقدار بین گروه ها	فراوانی	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
4-7	5	0.128	0.128
7.1-9	8	0.205	0.333
9.1-11	10	0.256	0.589
11.1-13	8	0.205	0.794
13.1-18	6	0.154	0.948
18.1-28	2	0.052	1



فراوانی مطلق



فراوانی نسبی



فراوانی تجمعی

آنالیز آماری داده ها

توابع توزیع احتمالاتی

برای اینکه بتوانیم سری زمانی در هیدرولوژی را بهتر تجزیه و تحلیل کنیم می بایست قانون احتمالاتی که برای آن سری می تواند مطابقت کند را پیدا کنیم. با دردست داشتن این قانون میتوان به درصد احتمال وقوع و یا عدم وقوع پدیده هیدرولوژیکی دست یافت و از آن در طراحی و مدیریت یک سیستم آبی استفاده کرد.

- ✓ **تابع چگالی احتمال و یا تابع شدت احتمال (PDF)**
- ✓ **تابع توزیع تجمعی (CDF)**

تابع چگالی احتمال و یا تابع شدت احتمال (PDF)

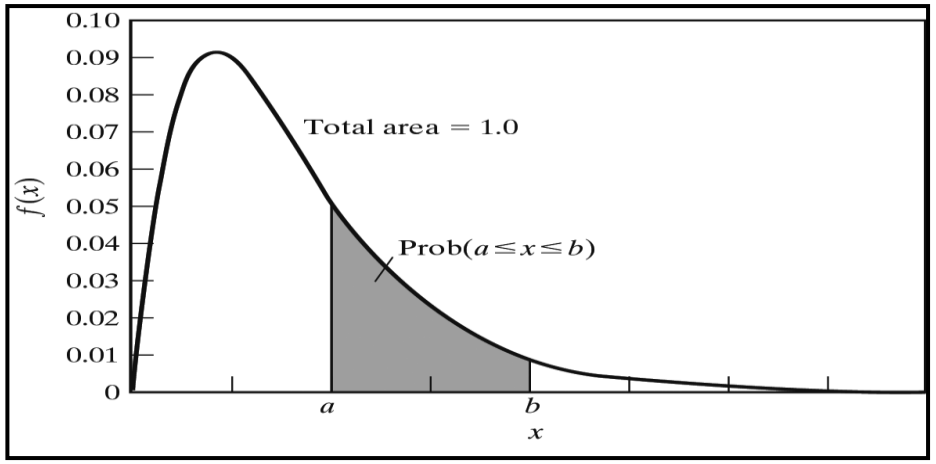
Probability Density Function (PDF)

- ✓ رابطه بین شدت x و شدت احتمال f(x)
- ✓ تابع نظیر هیستوگرام فراوانی

داده های محدود ⟹ هیستوگرام فراوانی

$n \to \infty$
$\Delta x \to 0$ ⟹ تابع چگالی احتمال

$$f(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f_i(x)}{\Delta x}$$



تابع توزیع تجمعی (CDF)

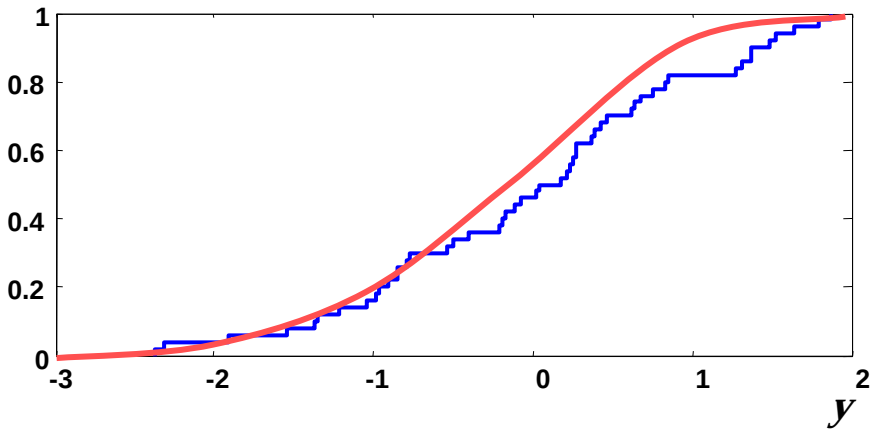
Cumulative Distribution Function (CDF)

- ✓ تابع نظیر فراوانی تجمعی

فراوانی تجمعی ⟹ داده های محدود

$$n \to \infty$$
$$\Delta x \to 0$$
⟹ تابع توزیع تجمعی

$$f(x) = \lim_{\Delta x \to 0} f_x(X)$$



Sample CDF

خصوصیات تابع شدت احتمال

۱- مقدار تابع هیچ وقت منفی نمی شود.

$$f_x(x) \geq 0$$

۲- مساحت زیر منحنی تابع مورد نظر مجموعاً برابر ۱ می باشد.

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)d(x) = 1$$

تذکر: وجود شرط ۱ بدیهی است زیرا شدت احتمال منفی معنی ندارد. در مورد شرط ۲ از آنجایی که بین تابع توزیع تجمعی $F(x)$ و تابع شدت احتمال $f(x)$ رابطه زیر برقرار است:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)d(x)$$

چون احتمال وقوع یا عدم وقوع حداکثر یک است پس مجموع مساحت زیر منحنی تابع چگالی احتمال برابر یک است.

آنالیز آماری داده ها

گشتاورهای توابع احتمالاتی

گشتاور nام:

گسسته:

پیوسته:

$$\mu_N = \sum_{-\infty}^{\infty} x_i^N P(x_i)$$

$$\mu_N = \int_{-\infty}^{\infty} x^N f(x) dx$$

گشتاورهای توابع احتمالاتی (جامعه)

گشتاور اول (میانگین):

$$E(x) = \mu = \sum x_i P(x_i)$$

$$E(x) = \mu = \int_{-\infty}^{\infty} x \quad f(x)d(x)$$

گشتاور دوم (واریانس):

$$Var(x) = \sigma^2 = \sum_{-\infty}^{\infty} (x_i - \mu)^2 P(x_i)$$

$$Var(x) = \int_{-\infty}^{\infty} (x-\mu)^2 \, f(x)d(x)$$

$$var(x) = E(x^2) - (E(x))^2$$

ضریب تغییرات

$$CV\% = \frac{\sigma}{\mu} * 100$$

گشتاورهای نمونه

- آماره گرایش مرکزی

میانگین و ...

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i}^{n} x_i$$

- تغییرپذیری

واریانس

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1}\sum (x_i - \bar{x})^2$$

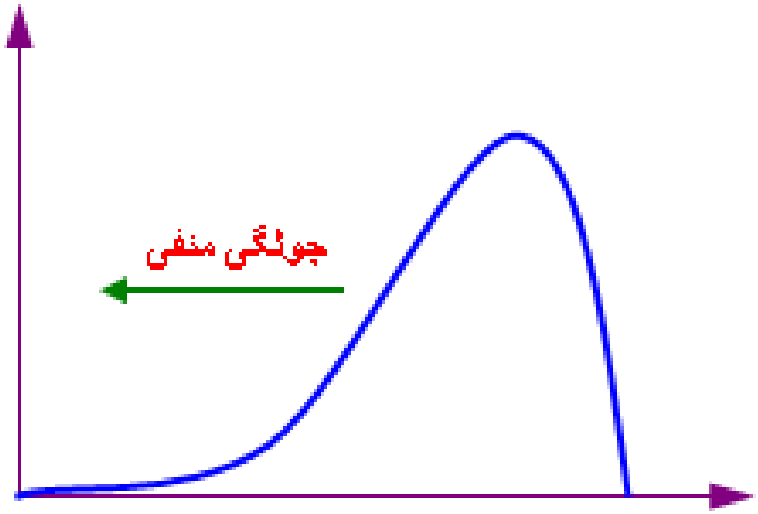
- تقارن (چولگی)

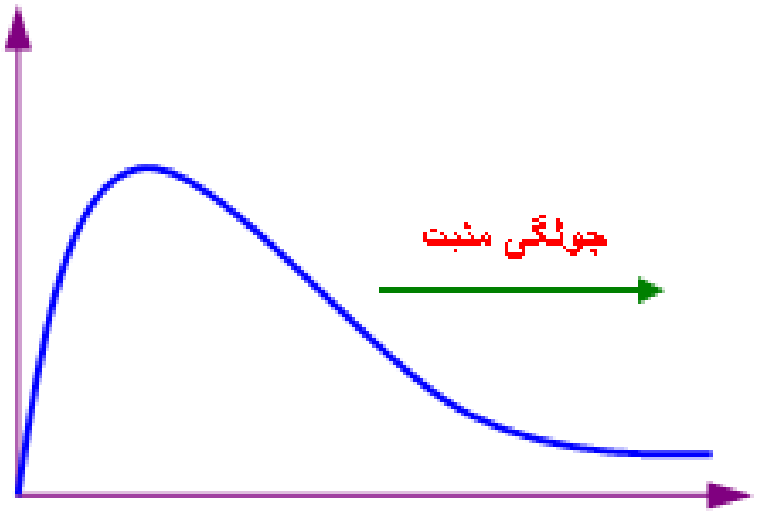
$$n > 30 \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{n}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^3$$

$$n < 30 \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{n}{(n-1)(n-2)}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^3$$

$$C_s = \frac{\alpha}{S^3}$$

$$if \quad n < 50 \quad \Rightarrow \quad C_s' = (1 + \frac{8.5}{n})C_s$$


جوانگی منفی


جوانگی مثبت

گشتاورهای نمونه

- کشیدگی

$$n > 30 \quad \Rightarrow \quad \mu_4 = \frac{1}{n}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^4$$

$$n < 30 \quad \Rightarrow \quad \mu_4 = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)}\sum_i^n (x_i - \bar{x})^4$$

$$\beta_2 = \frac{\mu_4}{S^4}$$

$$\gamma_2 = \beta_2 - 3$$

همبستگی و کاربرد آن در هیدرولوژی

- انواع همبستگی
  - همبستگی خطی یک متغیره
  - همبستگی خطی چند متغیره
  - همبستگی غیرخطی
  - همبستگی نمایی
  - و .....

☑ همبستگی خطی

$$\hat{y} = a + bx$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{N\sum X^2 - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{N\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N\sum x^2 - (\sum x)^2}$$

همبستگی خطی

- **ضریب همبستگی**

$$\rho = \frac{\sigma xy}{\sigma x.\sigma y}$$

$$S_{yx} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{N}} \qquad S_{xy} = \frac{\sum y_i^2 - a\sum y_i - b\sum x_i y_i}{N}$$

$$r^2 = \frac{\left[\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})^2\right]}{\sum (x_i - x)^2 \sum (y_i - \bar{y})^2} \qquad r^2 = (b\frac{S_x}{S_y})^2 \qquad r = b\frac{S_x}{S_y}$$

☑ مثال: رابطه هیدروگراف: رابطه همبستگی بین حجم هیدروگرافVو مقدار دبی رودخانه Q را با توجه به داده های زیر پیدا کنید.

سال	V (cm-sq.km)	Q (m3/s)
1371-72	4114.5	612
72-73	13195.7	1248
73-74	13164.5	1340
74-75	5733.8	915
75-76	2542.8	400
76-77	7841	1070
77-78	2400.5	520
78-79	2745.6	415
79-80	2254.2	370
80-81	14894.1	2240

حل:

$$V = aQ^b \Rightarrow \log V = \log a + b \log Q$$

$$\log a = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{N(\sum x^2) - (\sum x^2)} \qquad b = \frac{N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$\log a = \frac{37.25 \times 83.90 - 28.85 \times 108.27}{10 \times 83.90 - 28.85^2} \qquad b = \frac{10 \times 108.27 - 28.85 \times 37.25}{10 \times 83.90 - 28.85^2}$$

$$\Rightarrow V = 1.7492 Q^{1.2070}$$

$$r = \frac{\sigma x.y}{S_x . S_y} = \frac{(\frac{\sum x_i y_i}{N}) - (\frac{\sum x_i}{N})(\frac{\sum y_i}{N})}{\left[\frac{\sum x_i^2}{N} - (\frac{\sum x_i}{N})^2\right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{\sum y_i^2}{N} - (\frac{\sum y_i}{N})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

$$r = \frac{(\frac{108.27}{10}) - (\frac{28.85}{10})(\frac{37.25}{10})}{\left[(\frac{83.90}{10}) - (\frac{28.85}{10})^2\right]^{\frac{1}{2}} \left[(\frac{139.80}{10}) - (\frac{37.25}{10})^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$

☑ همبستگی چند متغیره

$$y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + ...$$

- برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی درمناطق فاقد آمار وکم آمار

$$Q_t^s = \sum_g w_g \frac{Q_t^g}{A_g} A_s$$

Q_t^s : بده رودخانه در مکان فاقد آمار

A_s : سطح زهکشی شده بالادست

g : مکان دارای آمار

Q_t^g : بده در مکان دارای آمار

A_g : سطح زهکشی شده توسط رودخانه دارای آمار

w_g : وزن ها

توزیع های احتمالاتی تئوری

- ✓ توزیع های گسسته
  - توزیع احتمالاتی دو جمله ای
  - توزیع احتمالاتی پواسون
- ✓ توزیع های پیوسته
  - توزیع نرمال و لوگ نرمال
  - توزیع گامبل و ویبول
  - توزیع پیرسون و لوگ پیرسون

و ...

توزیع های گسسته

- توزیع احتمالاتی دو جمله ای

$$P(x) = [\frac{n!}{x!(n-x)!}] p^x q^{n-x}$$

مثال

بر اساس داده های موجود از یک محل احتمال اینکه در روزهای ماه خرداد بارندگی وجود داشته باشد ۲۰ درصد است. قرار است در این محل یک کار ساختمانی انجام شودکه لازم است در طول ۵ روز هیچ گونه بارانی وجود نداشته باشد. احتمال اینکه در طی ۵ روز پیاپی در ماه خرداد باران وجود نداشته باشد چقدر است؟ احتمال اینکه در طی ۵ روز فقط یک روز بارندگی وجود داشته باشد چقدر خواهد بود؟

توزیع های گسسته

- توزیع احتمالاتی پواسون

$$n \to \infty$$

$$p(x) \to 0$$

$$\lambda = np$$

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{x!}$$

مثال

در یک منطقه آمار ۸۰ سال بارندگی وجود دارد. بررسی این داده ها نشان می دهد که احتمال اینکه مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته از ۳۰ میلی متر تجاوز کند ۰/۰۲ است .حساب کنید در طی ۱۰ سال آینده احتمال اینکه ۳ بارش ۲۴ ساعته وجود داشته باشد که مقدار هر یک از آن ها از ۳۰ میلی متر تجاوز کند چقدر است؟

- توزیع نرمال

$$f_{(x)} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2} \right]$$

$$\mu = mean$$

$$\sigma^2 = \text{var}\, iance$$

$$Z = \frac{(x_i - \bar{x})}{S} \Rightarrow x_i = \bar{x} + SZ$$

- **توزیع لوگ نرمال دو پارامتری**

✓ فرم کلی تابع توزیع لوگ نرمال به صورت زیر است:

$$y = \ln x$$

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right]$$

$$0 < x < \infty$$

✓ میانگین و واریانس این توزیع برابر هستند با:

$$\overline{y} = \frac{1}{2} \ln\left[\frac{\overline{x}^2}{(1+C_v)^2} \right]$$

$$S_y = \left[\ln(1+C_v^2) \right]^{\frac{1}{2}}$$

- توزیع لوگ پیرسون تیپ III

✓ فرم کلی تابع چگالی احتمال این توزیع برابرست با:

$$y = \ln x$$

$$f(x) = \frac{\lambda^{\beta}(y-\varepsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(y-\varepsilon)}}{x\Gamma(\beta)}$$

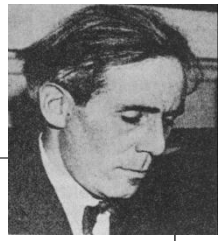
$$\lambda = \frac{S_y}{\sqrt{\beta}}$$

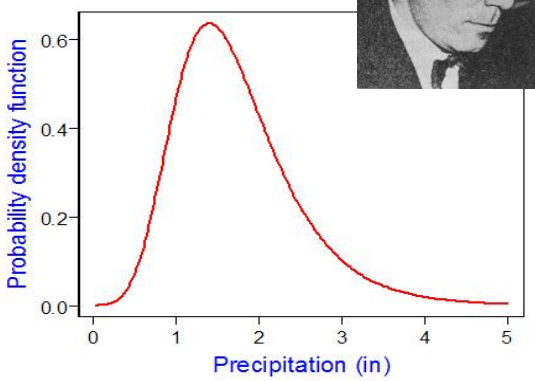
$$\beta = \left[\frac{2}{C_s(y)}\right]$$

$$\varepsilon = y - S_y\sqrt{\beta}$$

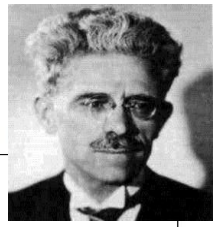
توزیع های حد نهایی

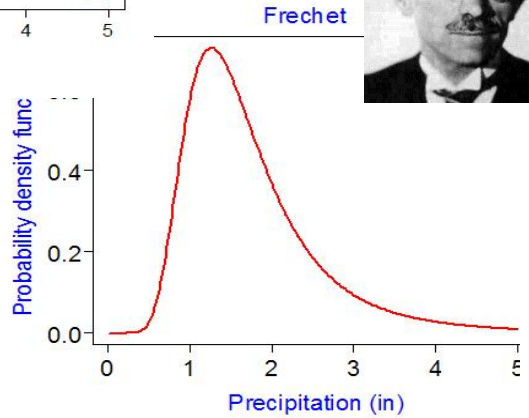
- ✓ نوع I (گامبل)
- ✓ نوع II
- ✓ نوع III (ویبول)



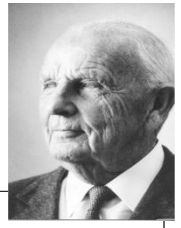


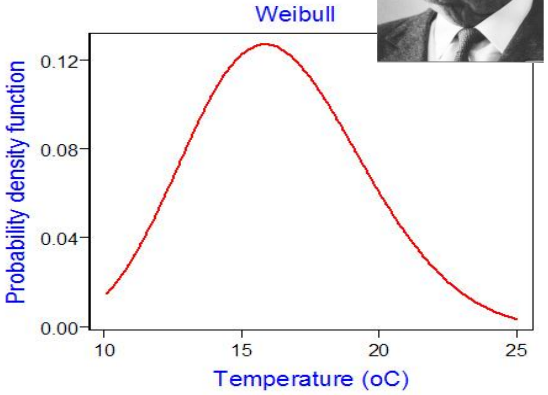
EV-I (Gumbel)
Storm Rainfall





EV-II (Frechet)





EV-III (Weibull)
Droughts

- توزیع های حد نهایی
  - ✓ نوع I (گامبل)

$$F(x) = P(X \le x) = e^{-e^{-\left[\frac{(x+u)}{\alpha}\right]}}$$

$$u = 0.5772\alpha - \overline{x}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_x = 0.7797 S_x$$

$$S_x = SD$$

$$\overline{x} = mean$$

برازش داده های هیدرولوژیکی

- روش استفاده از پارامترهای توزیع (گشتاور- حداکثر درستنمایی)
- فاکتور فراوانی و برآورد تئوریک متغیرهای هیدرولوژیکی
- روش گرافیکی
- روش حداقل مربعات

روش های نکوئی برازش (Goodness of fit):

- روش Chi-square (χ^2)
- روش K-S یا (Kolmogorov Smirnov)

روش Chi-square:

$$\chi^2 = \sum_i^k \frac{[O_i - E_i]^2}{E_i}$$

k تعداد گروه ها

O_i فراوانی مشاهدات گروه i ام

E_i فراوانی تئوریک گروه iام

n تعداد داده ها

$$\nu = k - p - 1$$

$$\chi^2 > \chi^2_{\nu,\beta}$$

آزمون های نکویی برازش

- ✓ آزمون χ^2 ، کای اسکوئر (Chi-square)

مثال:

دسته ها	فراوانی مشاهده ای (O_i)	فراوانی مورد انتظار (Ei)
0-5.62	3	5.8
5.62-6.08	7	5.8
6.08-6.51	6	5.8
6.51-7.05	9	5.8
بیش از 7.05	4	5.8

$$\chi^2 = \sum_i^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(3-5.8)^2}{5.8} + \frac{(7-5.8)^2}{5.8} + \frac{(6-5.8)^2}{5.8} + \frac{(9-5.8)^2}{5.8} + \frac{(4-5.8)^2}{5.8} = 3.931$$

$$\nu = k - p - 1 = 2$$

$\chi^2 = 3.931 < \chi_{2,95\%}^2 = 5.99 \Rightarrow$ **توزیع مورد نظر مورد قبول است.**

- روش (K-S, Kolmogorov-Smirnov):

$$P_{obs}(x) = \frac{m}{n}$$

$$F_{obs}(x) = P_{obs}(x)$$

$$D_c = Max\left|F_{est}(x_i) - F_{obs}(x_i)\right|$$

$$D_c > D_{\alpha,n}$$

$$D_c < D_{\alpha,n}$$

Weibull : $\frac{m}{n+1}$ $\Rightarrow$ uniform distribution

Gringorten : $\frac{m-0.44}{n+0.12}$ $\Rightarrow$ Gumbel & Weibull distribution

Blom : $\frac{m-3/8}{n+1/4}$ $\Rightarrow$ Normal & Log Normal distribution

California : $\frac{m}{n}$

Hazen : $\frac{2m-1}{2n}$

Chegadayeve : $\frac{m-0.3}{n+0.4}$

مرتب کردن داده ها:

داده های سیلاب و متوسط ⇦ نزولی

داده های کم آبی ⇦ صعودی

m: شماره ردیف n: تعداد داده ها

تحلیل فراوانی وقایع

- تابع توزیع نرمال
- تابع توزیع لوگ نرمال
- تابع توزیع گامبل تیپ I
- تابع توزیع پیرسون و لوگ پیرسون تیپ III

- فاکتور فراوانی و برآورد تئوریک متغیرهای هیدرولوژیکی

✓ مثال:

فرض کنیم میانگین، انحراف معیار، ضریب چولگی و ضریب تغییرات سیلاب رودخانه ای به صورت زیر باشد. مقدار سیلاب با دوره برگشت 100 ساله برای این رودخانه را محاسبه کنید.

آماره	داده های اصلی Q	Y=log Q
میانگین	**20452**	**4.29**
انحراف معیار	**6089**	**0.129**
ضریب چولگی	**0.79**	**-0.15**
ضریب تغییرات	**0.298**	**0.03**

- فاکتور فراوانی و برآورد تئوریک متغیرهای هیدرولوژیکی

✓ حل:

توزیع نرمال: مقدار k از جدول برای دوره برگشت 100 ساله یا احتمال وقوع 0/01 برابریا 2/326 است.

$$Q_{100} = 20452 + 2.326(6089) = 34620\, m^3/s$$

توزیع لوگ نرمال:

$$Log(Q_{100}) = 4.29 + 2.326(0.129) = 4.5923$$

$$Q_{100} = 10^{y} = 39100\, m^3/s$$

- فاکتور فراوانی و برآورد تئوریک متغیرهای هیدرولوژیکی

✓ مثال:

اگرسیلاب رودخانه ای درایستگاه A ازتوزیع لوگ پیرسون تیپIII پیروی کند مقدار سیلاب را برای دوره برگشت 50 ساله با توجه به آماره های زیر برآورد کنید.

$\overline{Q} = 352$

$S = 170$

$C_S = 1.2$

حل:

ضریب چولگی= 2/1

دوره برگشت= 50 سال

$$Q_{50} = \overline{Q} + K.S \Rightarrow 352 + 2.626 * 170 = 446.4\, m^3/s$$

- فاکتور فراوانی و برآورد تئوریک متغیرهای هیدرولوژیکی

✓ مثال:

فرض کنید در منطقه ای 20 سال آمار حداکثر بارندگی روزانه در دست می باشد. با فرض پیروی داده ها از توزیع گامبل مقدار این پارامتر را برای باران طرح در طراحی زیرگذر یک جاده محاسبه کنید.

دوره برگشت طراحی 25 سال، متوسط و انحراف معیار حداکثر بارندگی روزانه به ترتیب 48 و 5/9 است.

حل: از جدول توزیع گامبل: k=2.517

$$X_{25} = \overline{X} + K_{25}S \Rightarrow 48 + 2.517 \times 9.5 \Rightarrow 71.9\,mm$$

تذکر: درصورتی که تعداد داده ها بسیار زیاد باشد بدون استفاده از جدول و با در نظر گرفتن روابط تئوری مربوط به توزیع گامبل می توان مقدار فاکتور فراوانی را محاسبه کرد.

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[0.5772 + \ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

✓ مثال:

اگر میانگین و انحراف معیار بارندگی حداکثر 30 دقیقه ای در منطقه ای به ترتیب برابر با 14 و5/3 میلیمتر باشد مقدار باران طرح را برای دوره برگشت 5 سال حساب کنید.

حل:

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[0.5772 + \ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)\right]$$

$$K_5 = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}\left[0.5772 + \ln\left(\ln\frac{5}{5-1}\right)\right] = 0.719$$

$$X_5 = \overline{X} + K_5 S \Rightarrow 14 + 0.719 \times 3.5 = 16.5mm$$

- ✓ ساخت کاغذ احتمال
- ✓ محدوده اطمینان

ریسک

احتمال رخداد حادثه ای در n سال آینده

$$J = 1 - (1 - p)^n$$

احتمال رخداد حداقل kمرتبه ، در n سال آینده

$$J_k = \frac{n!}{k!(n-k)!}(1-p)^{n-k}\, p^k$$

مثال ۱: ریسک وقوع حداکثر لحظه ای سیل سالانه با دوره برگشت ۲۰ سال در ۳ سال آینده چقدر است؟

مثال ۲: چنانچه سرریز سدی که عمر مفید آن ۱۰۰ سال پیش بینی می شود بر اساس سیل ۵۰۰ ساله طراحی شده باشد احتمال اینکه چنین سیلی در عمر ۱۰۰ ساله سد حداقل یک بار رخ دهد چقدر است؟

آزمون و بازسازی داده ها

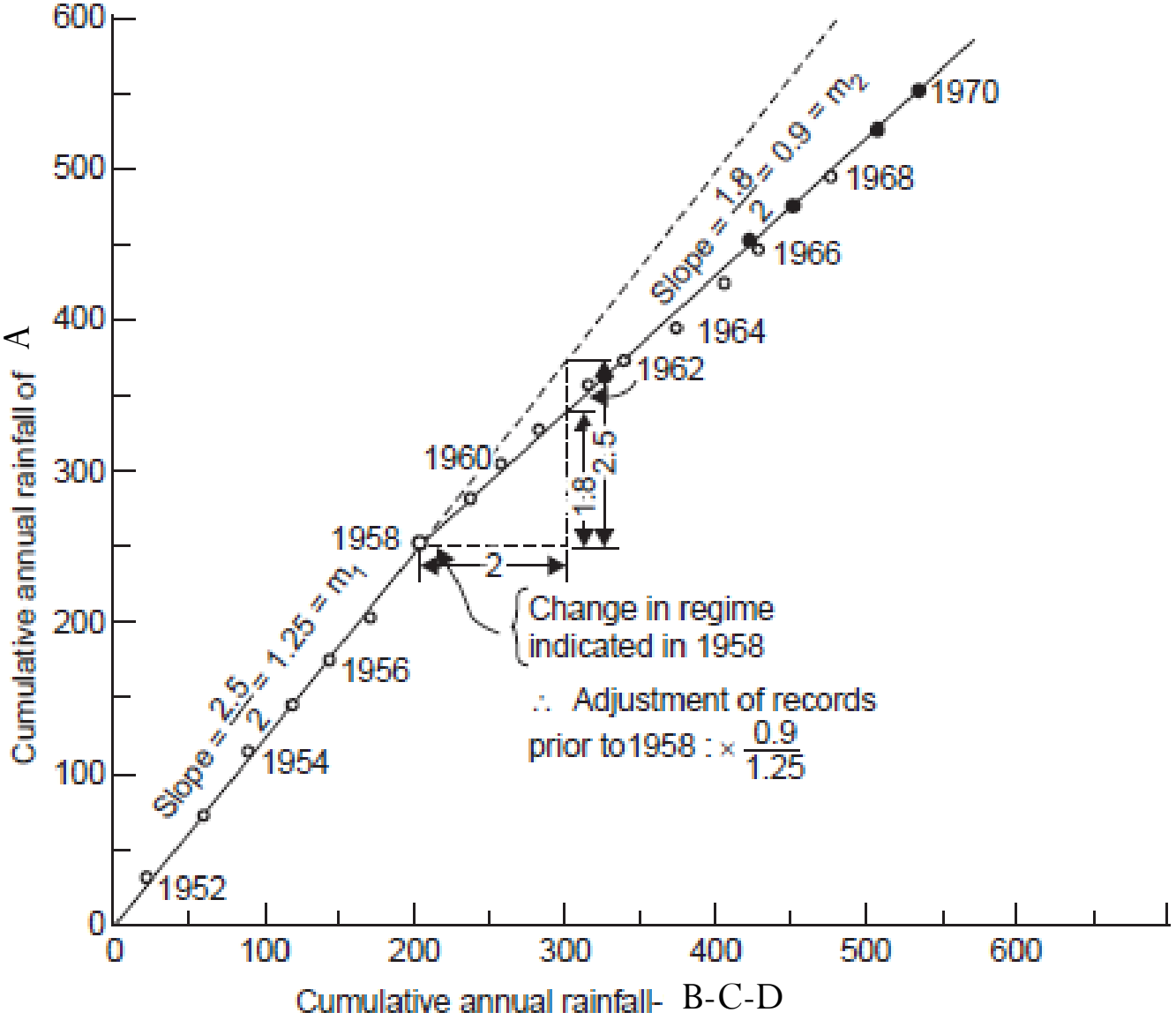
فصل ۱۸ کتاب هیدرولوژی کاربردی دکتر علیزاده

- ✓آزمون همگنی و یکنواختی داده ها
- ✓آزمون جرم مضاعف و اصلاح داده ها
- ✓آزمون تصادفی بودن داده ها
- ✓آزمون کفایت داده ها
- ✓آزمون روند داده ها
- ✓آزمون تشخیص داده های پرت

روش جرم مضاعف (double mass)

	بارندگی سالانه (cm)	
	A	B-C-D میانگین
1952	30.5	22.8
1953	38.9	35.0
1954	43.7	30.2
1955	32.2	27.4
1956	27.4	25.2
1957	32.0	28.2
1958	49.3	36.1
1959	28.4	18.4
1960	24.6	25.1
1961	21.8	23.6
1962	28.2	33.3
1963	17.3	23.4
1964	22.3	36.0
1965	28.4	31.2
1966	24.1	23.1
1967	26.9	23.4
1968	20.6	23.1
1969	29.5	33.2
1970	28.4	26.4

	بارندگی تجمعی سالانه(cm)	
	A	B-C-D میانگین
1952	30.5	22.8
1953	69.4	57.8
1954	113.1	88.0
1955	145.3	115.4
1956	172.7	140.6
1957	204.7	168.8
1958	254.0	204.9
1959	282.4	223.3
1960	307.0	248.4
1961	328.8	272.0
1962	357.0	305.3
1963	374.3	328.7
1964	396.6	364.7
1965	425.0	395.9
1966	449.1	419.0
1967	476.0	442.4
1968	496.6	465.5
1969	526.1	498.7
1970	554.5	525.1


600
500
400
300
200
100
0
0
100
200
300
400
500
600
Cumulative annual rainfall of A
Cumulative annual rainfall- B-C-D
1952
1954
1956
1958
1960
1962
1964
1966
1968
1970
Slope = 2.5/2 = 1.25 = m1
Slope = 1.8/2 = 0.9 = m2
1.8
2.5
2
Change in regime indicated in 1958
∴ Adjustment of records prior to 1958 : × 0.9/1.25

روش آزمون توالی (run test)

ردیف	سال	ارتفاع بارندگی سالانه (میلی متر)	داده های مرتب شده برای یافتن میانه	دنباله ها
1	1962	492.5	782.2	A
2	1963	577.3	702.6	A
3	1964	461.8	682.4	B
4	1965	433.1	636.4	B
5	1966	538	587.9	A
6	1967	397.5	577.3	B
7	1968	636.4	538	A
8	1969	782.2	519.2	A
9	1970	467	492.5	B
10	1971	682.4	475.2	A
11	1990	324.2	474.4	B
12	1991	474.4	467	B
13	1992	475.2	461.8	B
14	1993	587.9	437.6	A
15	1994	702.6	433.1	A
16	1995	216	397.5	B
17	1996	519.2	324.2	A
18	1997	437.6	216	B

$n_a=9$ U=12

$n_b=9$

میانه	**483.9**

روش ران تست با استفاده از جدول Z

$$E_{(R)} = \frac{(n_a + n_b) + 2n_a n_b}{n_a + n_b}$$

$$S^2 = \frac{2n_a n_b (2n_a n_b - n_a - n_b)}{(n_a + n_b)^2 (n_a + n_b - 1)}$$

$$SD = \sqrt{S^2}$$

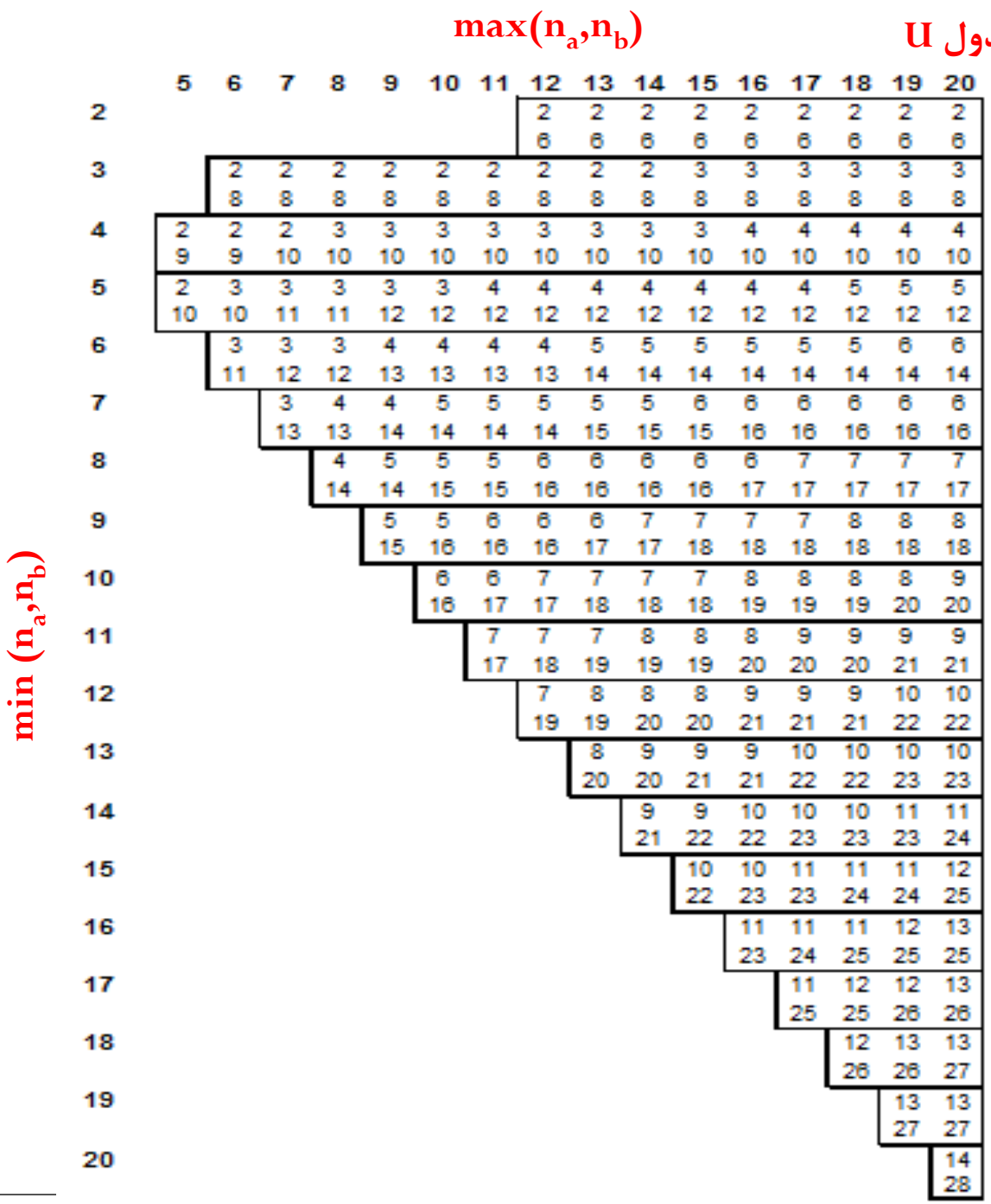
$$Z = \frac{R - E_{(R)}}{SD}$$

$$1 - \alpha = 90 \Rightarrow -1.645 < Z_a < 1.645$$

$$1 - \alpha = 95 \Rightarrow -1.96 < Z_a < 1.96$$

$$1 - \alpha = 99 \Rightarrow -2.575 < Z_a < 2.575$$

روش ران تست با استفاده از جدول U



min (n_a,n_b) \ max(n_a,n_b)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2								2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6	2 6
3		2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	2 8	3 8	3 8	3 8	3 8	3 8	3 8
4	2 9	2 9	2 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	3 10	4 10	4 10	4 10	4 10	4 10
5	2 10	3 10	3 11	3 11	3 12	3 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	4 12	5 12	5 12	5 12
6		3 11	3 12	3 12	4 13	4 13	4 13	4 13	5 14	5 14	5 14	5 14	5 14	5 14	6 14	6 14
7			3 13	4 13	4 14	5 14	5 14	5 14	5 15	5 15	6 15	6 16	6 16	6 16	6 16	6 16
8				4 14	5 14	5 15	5 15	6 16	6 16	6 16	6 16	6 17	7 17	7 17	7 17	7 17
9					5 15	5 16	6 16	6 16	6 17	7 17	7 18	7 18	7 18	8 18	8 18	8 18
10						6 16	6 17	7 17	7 18	7 18	7 18	8 19	8 19	8 19	8 20	9 20
11							7 17	7 18	7 19	8 19	8 19	8 20	9 20	9 20	9 21	9 21
12								7 19	8 19	8 20	8 20	9 21	9 21	9 21	10 22	10 22
13									8 20	9 20	9 21	9 21	10 22	10 22	10 23	10 23
14										9 21	9 22	10 22	10 23	10 23	11 23	11 24
15											10 22	10 23	11 23	11 24	11 24	12 25
16												11 23	11 24	11 25	12 25	13 25
17													11 25	12 25	12 26	13 26
18														12 26	13 26	13 27
19															13 27	13 27
20																14 28

تخمین داده های غیر موجود

- ✓روش درونیابی و برون یابی
- ✓روش تفاضلها و نسبتها
- ✓روش میانگین گیری
- ✓روش نموداری

تخمین داده های غیر موجود

روش تفاضلها و نسبتها

✓نسبت ها

سال	بارندگی سالانه A	بارندگی سالانه B
1365		310
1366		352
1367		381
1368		430
1369		460
1370	280	370
1371	256	282
1372	255	251
1373	230	293
1374		300
1375	382	310
1376	310	365
1377	280	393
1378	250	310
1379	262	280
1380	242	275

تخمین داده های غیر موجود

روش تفاضلها و نسبتها

✓تفاضلها

سال	درجه حرارت ایستگاه A	درجه حرارت ایستگاه B
1365	28	-
1366	26	22
1367	30	25
1368	27	23
1369	27	24
1370	25	24
1371	24	21
1372	24	20
1373	26	-
1374	27	-
1375	28	-

تخمین داده های غیر موجود

✓روش میانگین گیری

$$p_1, p_2, \ldots, p_n, p_x$$

$$m_1, m_2, \ldots, m_n, m_x$$

$$if \quad (m_1, m_2, \ldots, m_n) - m_x < 10\% m_x \quad \Rightarrow \quad p_x = \frac{p_1 + p_2 + \ldots + p_n}{n}$$

$$p_x = \frac{1}{n}\left[p_1 \frac{m_x}{m_1} + p_2 \frac{m_x}{m_2} + \ldots. + p_n \frac{m_x}{m_n} \right]$$

مثال: ایستگاه بارانسنجی X در طول مدت یک ماه بلا استفاده بوده است. در این مدت بارانی رخ داده که در ایستگاه X ثبت نشده است. ولی سه ایستگاه A ، Bو C که در مجاورت آن قرار دارند، این بارندگی را به ترتیب ۱۰۷، ۸۹، ۱۲۲ میلیمتر نشان داده اند. اگر میانگین بارندگی سالانه در ایستگاه های X، B،A و C به ترتیب ۹۷۸، ۱۱۲۰، ۹۳۵ و ۱۲۰۰ میلیمتر باشد مقدار بارندگی در ماهی که ایستگاه X بلا استفاده بوده است چقدر تخمین زده می شود؟

تخمین داده های غیر موجود

✓روش نموداری (محور مختصات)

- محاسبهٔ فاصلهٔ طولی و عرضی ایستگاههای مجاور با ایستگاه مورد بازسازی

- محاسبهٔ ضریب وزنی برای ایستگاههای مجاور

$$W_i = \frac{1}{X_i^{\,2} + Y_i^{2}}$$

$$P_x(year_k) = \frac{\sum_{i=1}^{n} W_i P_i(year_k)}{\sum_{i=1}^{n} W_i}$$

✓آزمون کفایت داده ها

$$y = [(4.3t)\log R]^2 + 6$$

y= حداقل قابل قبول تعداد داده ها

t= مفدار tاستیودنت در سطح اعتماد ۹۰ درصد با درجه آزادی (y-6)

$$R = \frac{p_{100}}{p_2}$$

✓آزمون روند داده ها

آزمون نقاط چرخش یا عطف

$$E(p) = \frac{2(N-2)}{3}$$

$$\text{var}(p) = \frac{16N-29}{90}$$

$$z = \frac{p - E(p)}{[\text{var}(p)]^{0.5}}$$

$$\alpha = 5\% \Rightarrow -1.96 < z < 1.96$$

سال	داده ها
1991	652
1992	153
1993	732
1994	500
1995	357
1996	499
1997	676
1998	526
1999	482
2000	514

✓آزمون روند داده ها

آزمون کندال

$$p = p_{1ex} + p_{2ex} + \ldots + p_{nex}$$

$$E(p) = \frac{n(n-1)}{4}$$

$$\tau = [(\frac{4p}{n(n-1)}) - 1]$$

$$\text{var}(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}$$

$$z = \frac{\tau}{[\text{var}(\tau)]^{0.5}}$$

ردیف	داده	p_{ex}
1	652	7
2	153	0
3	732	7
4	500	3
5	357	0
6	499	1
7	676	3
8	526	2
9	482	0
10	514	0

$$\alpha = 5\% \Rightarrow -1.96 < z < 1.96$$

آزمون روند داده ها

- آزمون با رگرسیون خطی
  - تخمین و حذف روند
    - میانگین متحرک
    - حداقل مربعات

آزمون تشخیص داده های پرت

- آزمون گرابز

$$T = \frac{\left|x_i - \overline{x}\right|}{S}$$

فرسایش و رسوب

فصل ۱۹ کتاب هیدرولوژی کاربردی دکتر علیزاده

✓تعریف فرسایش

✓فرسایش توسط قطرات باران (فرسایش شیاری)

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

$$KE = 11.87 + 8.73 \quad \log(i)$$

$$KE = 29.8 - \frac{127.5}{i}$$

$$KE = 10.2 + 8.9 \quad \log(i)$$

$$KE = 916 + 331 \quad \log(i)$$

✓فرسایش ورقه ای

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

✓ضریب توان فرسایش دهی باران

$$R = \frac{\left[\sum KE.d\right] I_{30}}{100}$$

✓ضریب فرسایش پذیری خاک

✓ضرایب طول و مقدار شیب

$$LS = \left(\frac{X}{22.13}\right)^{m} (0.065 + 0.045S + 0.0065S^{2})$$

✓ضریب C(پوشش گیاهی)

✓ضرایب P(عملیات حفاظتی خاک)

✓فرسایش آبراهه ای

$$\tau_0 = \gamma.RS$$

✓حداقل سرعت لازم برای حرکت بار معلق در کف آبراهه

$$v = 0.152\ d^{0.44}(G-1)^{0.5}$$

✓حمل رسوب

$$SDR = 43.4\ A^{-0.1753}$$

$$if\ \ A<10\ mile^2 \Rightarrow\ \ SDR = 46.7\ A^{0.2071}$$

$$if\ \ 10<A<100\ mile^2 \Rightarrow\ \ SDR = 64.6\ A^{0.2775}$$

$$\log(SDR) = 2.94259 - 0.8262\ co\log(\frac{R}{L})$$

$$SDR = 1862\ A^{0.23}(\frac{L}{R})^{-0.51}(B)^{-2.79}$$

- ✓بار رسوب (بار معلق- بار بستر)
- ✓محاسبه دبی متوسط مواد معلق

✓**مثال: در یک سد حجم آب ورودی و مقدار رسوبی که هر سال وارد مخزن می شود طی ۸ سال آمار به شرح زیر بوده است.**

سال	۱۹۹۵	۱۹۹۶	۱۹۹۷	۱۹۹۸	۱۹۹۹	۲۰۰۰	۲۰۰۱	۲۰۰۲
حجم آب ورودی $M.m^3$	۱۴۳۰	۳۸۵۰	۲۰۵۰	۶۵۱۰	۲۸۸۰	۱۱۲۰	۶۰۵۰	۲۲۲۰
وزن رسوب ورودی M.ton	۲.۶۵	۵.۸۲	۳.۶	۷.۱۵	۵.۲۲	۱.۹۵	۶.۸۸	۳.۹۴

الف. متوسط بار رسوب را برای هر سال در هر ۱۰۰ کیلومتر مربع حوضه حساب کنید.

ب. چنانچه مقدار جریان در سال ۱۹۹۰ برابر $M.\ m^3$ ۳۴۵۰ بوده باشد میزان رسوب وارد شده به مخزن را در آن سال برآورد کنید.

ج. اگر وسعت حوضه ۳۰۵۰ کیلومترمربع باشد در ۱۰۰ سال چقدر رسوب وارد مخزن سد می شود.

الف. محاسبه متوسط بار رسوب

$$\text{متوسط بار رسوب} = \frac{2.65 + 5.82 + 3.6 + 7.15 + 5.22 + 1.95 + 6.88 + 3.94}{8} = 4.65\ M.ton/year$$

بار بستر + بار معلق = بار کل

$$= 4.65 + (\frac{10}{100}) * 4.65 = 5.12 \qquad M.ton / year$$

ب. محاسبه جریان در سال ۱۹۹۰

$$q_s = 0.02Q^{0.7} \quad \Rightarrow Q = 3450M.m^3 \quad \Rightarrow q_s = 5.99M.ton$$

ج. محاسبه حجم رسوب در ۱۰۰ سال

$$\text{حجم رسوب سالانه} = \frac{5.12}{1.2} = 4.266 \quad M.m^3$$

$$\text{حجم رسوب در ۱۰۰ سال} = 4.266 * 100 = 426.6 M.m^3$$

$$= \frac{426.6}{3050}$$

رسوبگذاری در مخزن سد به روش کاهش سطح (مثال کتاب)

ارتفاع سطح آب	سطح اولیه	حجم اولیه	عمق مخزن	عمق نسبی(p)	$Ap=2.324p^{0.5}(1-p)^{0.4}$	مساحت رسوب	حجم رسوب	حجم تجمعی رسوب	مساحت اصلاح شده	حجم اصلاح شده
272.5	13562	1875	42.5	1.000	0.00	0.0	6.16	250.81	13562.0	1624.19
270	11512	1561.44	40	0.941	0.73	492.8	23.56	244.65	11019.2	1316.79
266	9579	1134.95	36	0.847	1.01	685.1	29.35	221.09	8893.9	913.86
262	7780	736	32	0.753	1.15	782.5	32.31	191.74	6997.5	544.26
258	5822	532.42	28	0.659	1.23	832.8	33.66	159.43	4989.2	372.99
254	4246	332.81	24	0.565	1.25	850.0	33.78	125.78	3396.0	207.03
250	2957	188.98	20	0.471	1.24	839.1	32.81	92.00	2117.9	96.98
246	1904	95.11	16	0.376	1.18	801.3	30.71	59.19	1102.7	35.92
242	1085	8	12	0.282	1.08	734.1	20.80	28.48	350.9	9.52
238	306	6.81	8	0.188	0.93	306.0	6.90	7.68	0.0	0.00
234	39	0.57	4	0.094	0.69	39.0	0.78	0.78	0.0	0.00
230	0	0	0	0.000	0.00	0.0	0.00	0	0.0	0.00