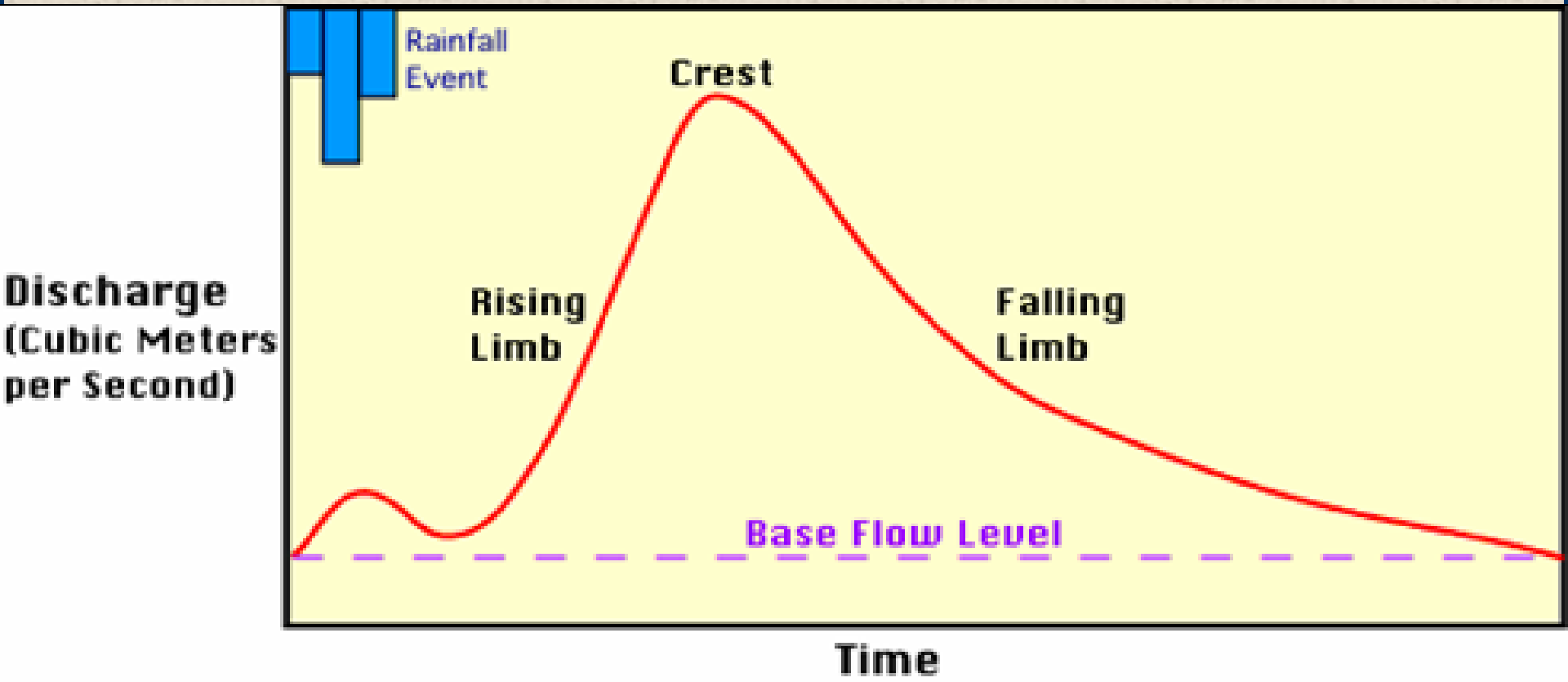
المنحنى الزمني للتدفق في المجاري الطبيعية

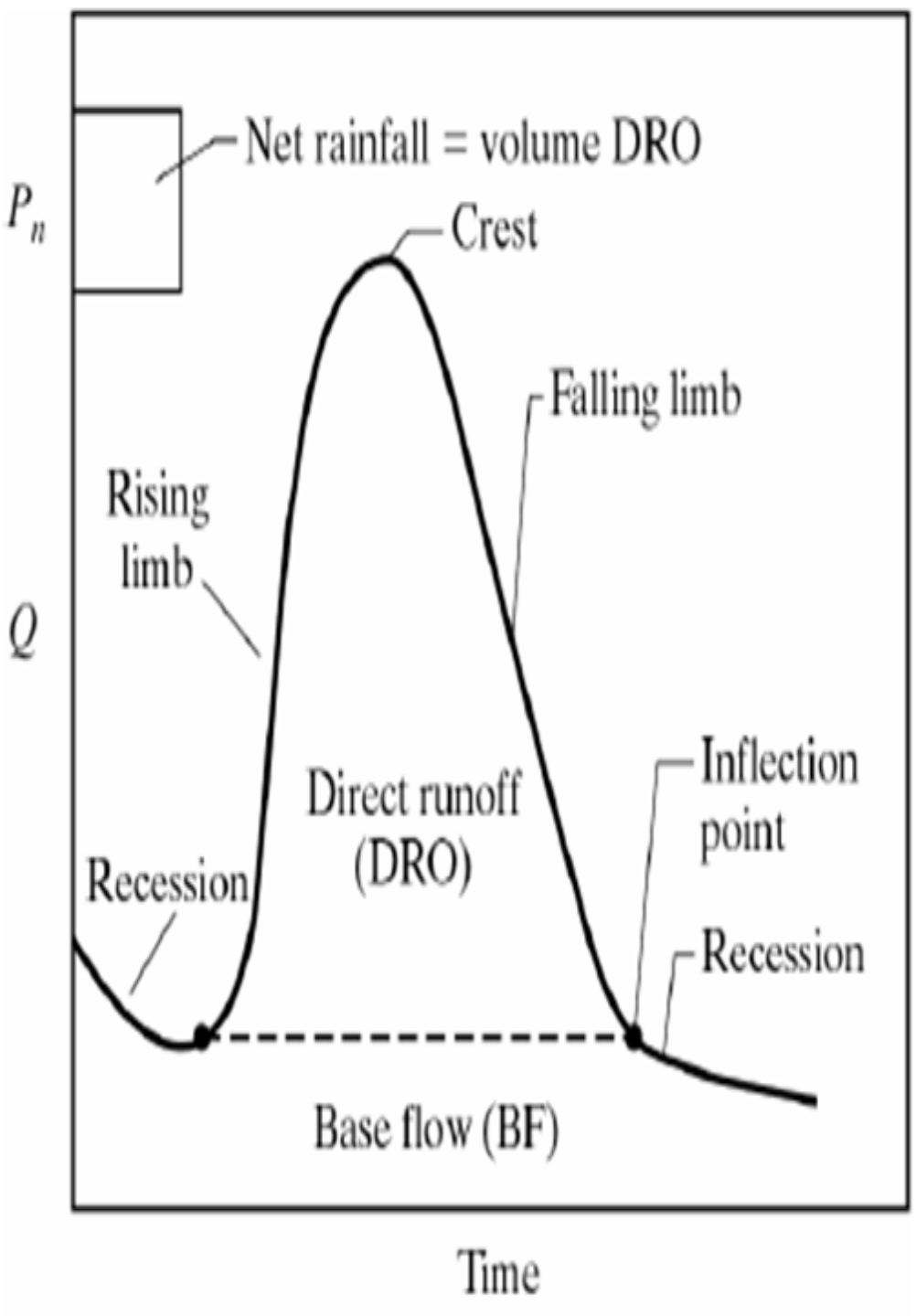
Stream Flow Hydrograph

Hydrograph المنحنى الزمني للتصريف

هو تمثيل بياني للتصريف مع الزمن عند موقع معين من المجرى المائي.

يظهر التوزيع الزمني للجريان السطحي الكلي عند موضع القياس.





يتكون الهيدروجراف من:

١- الفرع الصاعد أو منحنى التركيز:

Rising Limb or Concentration Curve

٢- الذروة أو منطقة القمة:

Peak or Crest Segment

٣- الفرع الهابط أو منحنى الإنحسار:

Falling Limb or Recession Curve

١- الفرع الصاعد أو منحنى التركيز:

يمثل الفيضان الصاعد ويكون مقعر إلى أعلى ومعدل إرتفاعه يكون مقعر ومعدل إرتفاعه يكون ببطء في المراحل المبكرة للفيضان ويكون معدل الإرتفاع أسرع في نهايته.

٢- الذروة أو منطقة القمة:

هي أعلى قيمة لحظية للهيدروجراف وتمتد من نقطة الإنعطاف على الفرع الصاعد إلى نقطة إنعطاف مشابهة على الفرع الهابط.

إذا كان معدل المطر منتظما تحدث الذروة بعد نهاية المطر بوقت ما يتحدد حسب خصائص مستجمع المطر.

أما إذا كان معدل المطر غير منتظم ومعدلات المطر تكون عالية في البداية قد تحدث الذروة قبل نهاية المطر.

في بعض المناطق قد يحتوي الهيدروجراف الناتج من عاصفة مطرية مفردة إستدامتها قصيرة على ذروتين أو أكثر.

الهيدروجراف متعدد الذروة قد ينتج من مطر منتظم مع الزمن.

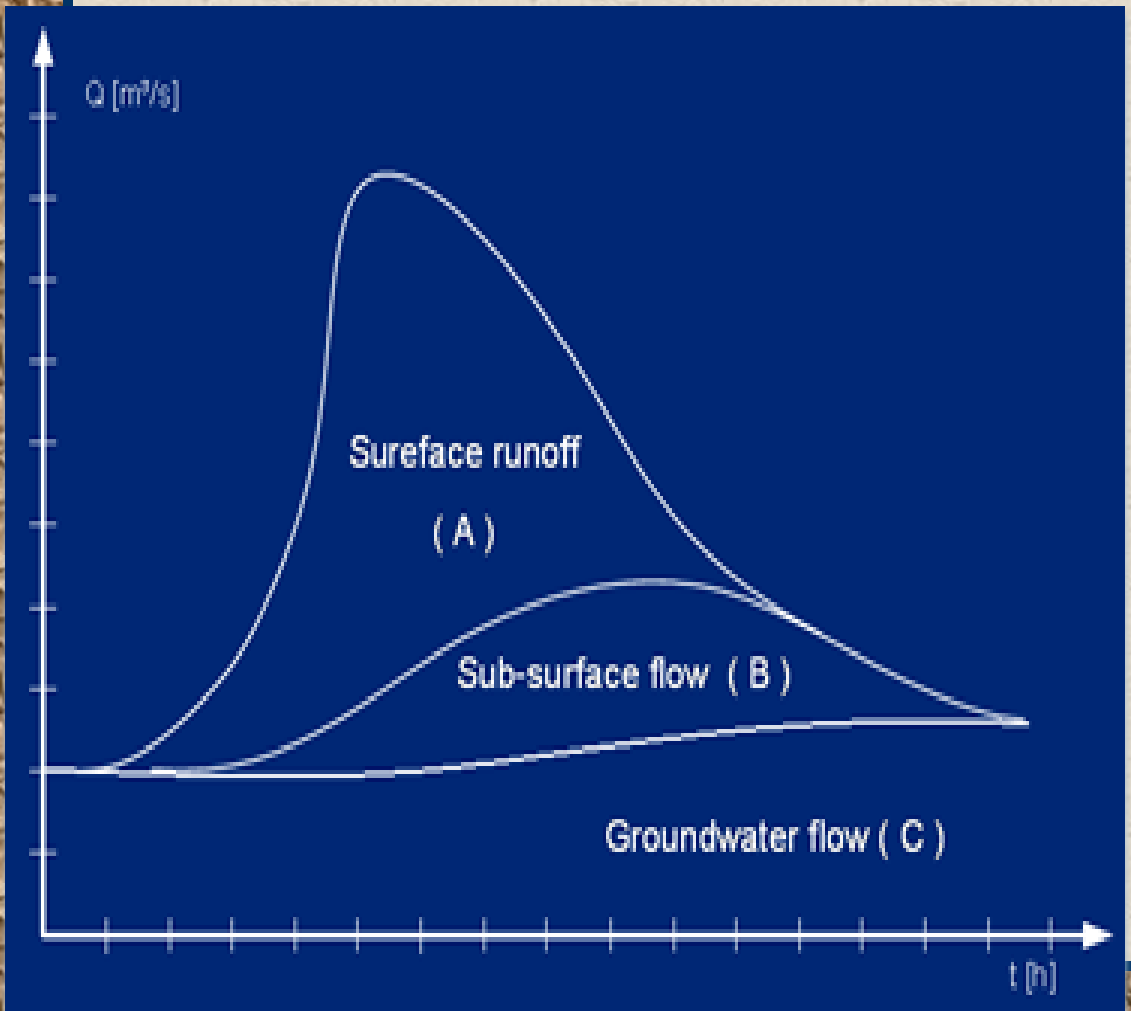
٣- الفرع الهابط أو منحنى الإنحسار:

هو الجزء النازل من الهيدروجراف وهو يمثل الفرع الهابط خلف نقطة التحول للهيدروجراف بعد حدوث الفيضان ويكون محدبا على عكس الفرع الصاعد.

نقطة التحول هذه تشير إلى الوقت الذي ينقطع عنده دخول الجريان السطحي إلى شبكة القنوات المائية.

عناصر الهيدروكراف

الهيدروكراف يمثل الأنواع الثلاث الآتية من التدفق:



أ- الجريان السطحي:

Surface Runoff

ب- الجريان تحت السطحي:

Sub-surface flow

ج- الجريان الجوفي:

Groundwater flow

أ- الجريان السطحي:

هو الجزء من مياه الأمطار الذي ينساب على سطح الأرض أو كتدفقات في القنوات بعد إستيفاء جميع الفواقد: البخر-نتح والترشح وملء المنخفضات.

الجريان السطحي يتضمن أيضا الهطول المباشر المتساقط على سطح المياه في المجرى المائي والذي يعتبر أول مياه من العاصفة المطرية تصل المجرى المائي.

معظم الجريان السطحي يتم تصرفه إلى المجرى المائي خلال فترة الهطول وهو المساهم الرئيسي لذروة الفيضان.

ب- الجريان تحت السطحي:

هو الجزء من الجريان الذي يتحرك خلال الطبقات العلوية من التربة وتعود للظهور على السطح أو في المجاري المائية بدون دخول منطقة التشبع تحت منسوب المياه الحرة في التربة.

ويمثل الجزء من مياه الأمطار التي لا تعبر منسوب الماء الأرضي ولكن يتم تصريفها من مساحة الحوض كجريان تحت سطحي إلى المجرى المائي.

على عكس الجريان السطحي فإن الجريان تحت السطحي يصل إلى المجرى المائي متأخرا عن مياه الأمطار ويمتد لفترة زمنية طويلة.

ج- الجريان الجوفي:

يمثل الجزء من مياه الجريان التي تمر داخل التربة وتدخل منطقة التشبع ثم تنصرف بعد ذلك من خلال عين أو في صورة مياه الرشح وتعتبر مصدر التغذية الوحيد للمجاري المائية خلال فترات الجفاف.

منحنى الجريان المباشر D.R.H

منحنى الجريان المباشر

Direct Runoff Hydrograph

هوالجزء من الهيدروجراف الناتج عن الجريان السطحي والجريان تحت السطحي.

وصول مياه الجريان المباشر إلى المجرى المائي يسبب تصاعد مستمر في المنحنى حتى يصل إلى أقصى تصرف.

يعتمد زمن وصول منحنى الجريان المباشر إلى نقطة تصرف على:

١- معدل تساقط الأمطار.

٢- استدامة العاصفة المطرية.

٣- الخصائص الطبيعية لمنطقة التساقط مثل مساحة وطبوغرافية الحوض.

٤- سعة التربة التخزينية.

الجريان الأساسي

هو الجريان نتيجة إمدادات المياه الجوفية للمجرى ونتيجة تدفق الينابيع في المجرى.

وهو عبارة عن جريان عادي في المجرى المائي الطبيعي في غير مواسم الأمطار.

الجريان الأساسي هو جريان دائم ومستمر.

فصل الجريان الأساسي

الغرض من فصل الجريان الأساسي هو تحديد مكونات الهيدروجراف الأساسية والتي تقتصر عادة على مركبتين:

الأولى هي الجريان لأساسي الذي لا يرتبط حدوثه بحدوث العاصفة المطرية والثانية هي الجريان المباشر.

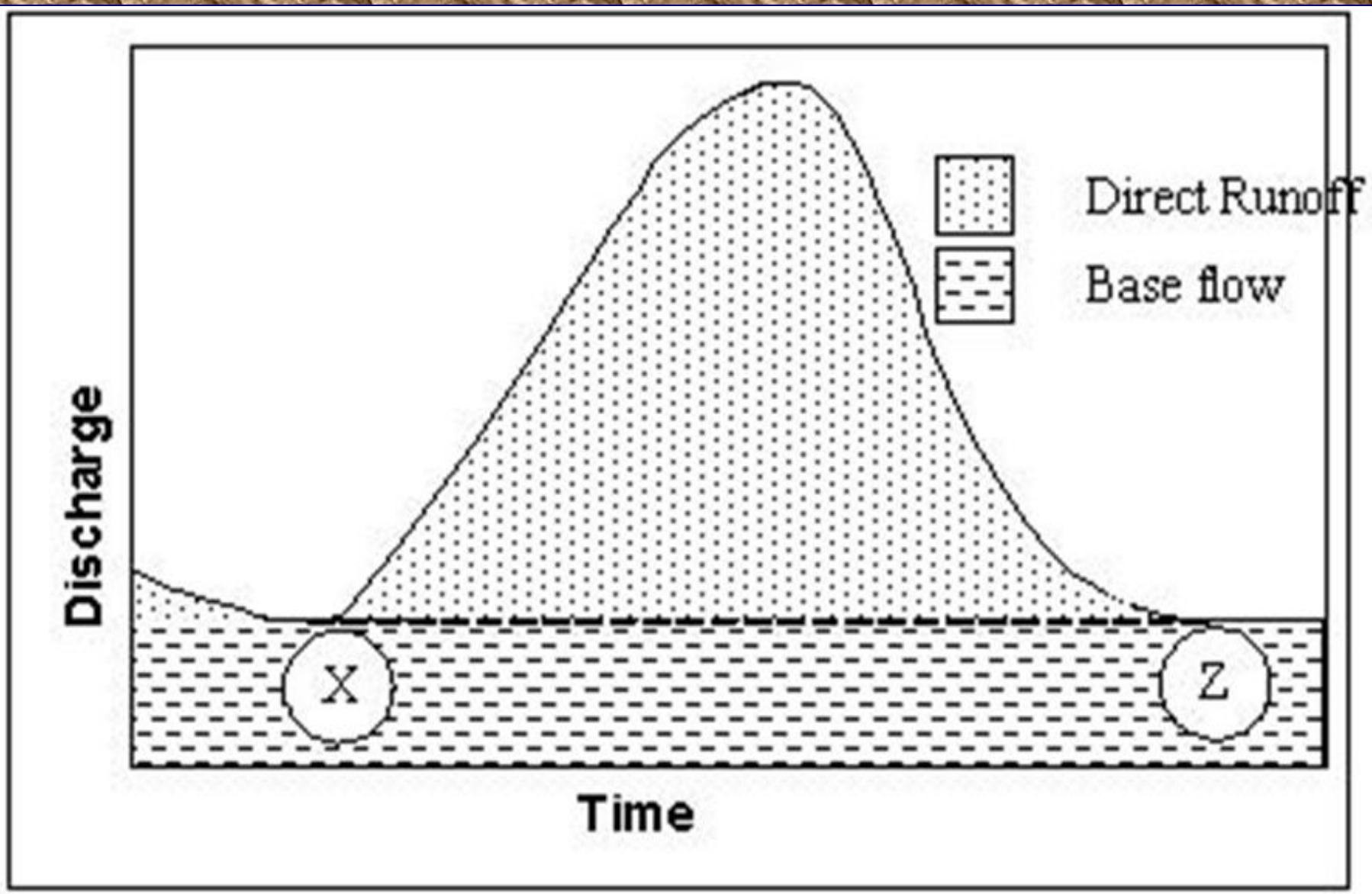
لفصل مركبتي الجريان يتبع عدد من الطرق منها:

١- طريقة الخط المستقيم

هي طريقة بسيطة تعتمد عل توصيل النقطتين Z,X على المنحنى.

يمكن تحديد هذه النقاط عن طريق توقيع بيانات الهيدروجراف على ورق نصف لوغاريتمي Semi log بحيث يكون التصرف على المحور اللوغاريتمي والزمن على المحور العادي.

أي توقيع العلاقة بين لوغاريتم التصرف والزمن وفي هذه الحالة يأخذ جزء المنحني الخاص بالجريان الأساسي صورة الخط المستقيم ومن ثم يتم تحديد النقطتان Z,X.



Method 1 to separate base flow

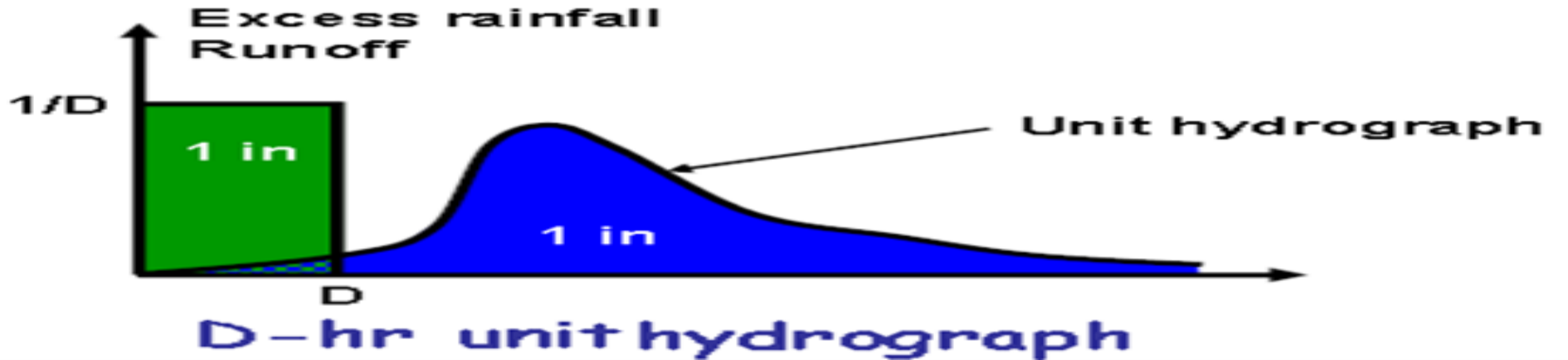
Unit Hydrograph منحنى الوحدة

منحنى الوحدة لحوض صرف:

هو منحني الجريان المباشر الناتج من مطر فعال مقداره ١سم وله إستدامة مقدارها الوحدة ويحدث بإنتظام على مساحة الحوض.

يستخدم منحنى الوحدة على نطاق واسع لتقدير والتنبؤ بالفيضان.

نظرية منحنى الوحدة التي وضعها العالم شيرمان عام ١٩٣٢ تعتمد على فرضية حدوث تشابه في المنحنيات المائية الناتجة من عواصف مطرية متشابهة الخواص على نفس الحوض طالما أن الخواص الطبيعية للحوض (حجم الحوض – شكل الحوض – ميول الحوض) لم تتغير.



عند تصميم مشاريع الري يتم دراسة الأحواض المائية المغذية للنهر وتحديد قيم التساقط على هذه الأحواض لتقدير مساهمة كل حوض في مياه النهر أي إيجاد العلاقة بين الهطول وما ينتجه من مياه سطحية.

أي أن منحنى الوحدة لحوض هو منحنى نمطي للحوض يؤخذ كوحدة قياسية لتحديد حجم الجريان السطحي الناتج من عمق جريان سطحي مقداره ١سم وإذا حدث جريان سطحي أكبر من ١سم (٢سم على سبيل المثال يتم مضاعفة إحداثيات هيدروجراف الوحدة للحصول على منحنى الجريان المباشر الذي يصف معدلات التصرف في هذه الحالة).

لإنشاء منحنى الوحدة لحوض ما يتم تجميع أكبر قدر ممكن من البيانات المتعلقة بالعواصف المطرية على الحوض قيد الدراسة بحيث يتم إختيار البيانات المتعلقة بالعواصف المطرية المنفردة التي تتميز بتوزيع متجانس على المنطقة خلال فترة تساقط مطر معينة على إفتراض أن جميع العواصف المطرية المتماثلة في فترات تساقطها والتي تسقط على حوض ما تشترك مع وحدة الهيدروجراف لكل منها في الوقت الأساسي وذلك في الجزء من المنحنى المائي الخاص بالجريان المباشر رغم إختلاف مقدار الجريان السطحي الناتج عن كل منها.

في هذه الحالة تكون فترة المطر المأخوذة لوحدة الهيدروجراف هي نفس الفترة الزمنية التي ينتج عنها جريانا سطحيا.

فرضيات منحنى الوحدة

١- أن يكون المطر الفعال موزعا بإنتظام خلال فترة إستدامته أو خلال فترة محددة.

٢- أن يكون المطر الفعال موزعا بإنتظام على كامل مساحة حوض الصرف.

٣- أن يكون الزمن الأساسي تقريبا متساوي لجميع هيدروجرافات الوحدة (أي الفترة الزمنية التي يحدث فيها الجريان السطحي) الناتجة من جميع العواصف المطرية.

٤- لجميع منحنيات الوحدة إذا تم تقسيم الفترة الكلية إلى أي عدد من الفترات المتساوية يكون النسبة المئوية للجريان الكلي الذي يحدث أثناء كل من هذه الفترات له نفس القيمة تقريبا بصرف النظر عن قيمة الجريان الكلي.

٥- أن يعكس منحنى الجريان المباشر الناتج من مطر فعال بإستدامة معينة على حوض الخواص الفيزيائية المشتركة للحوض مثل الترشح والإحتفاظ السطحي والتخزين.

١- من البيانات المسجلة لتصريفات النهر يتم إختيار عدد من العواصف المطرية المنعزلة الواضحة المعالم والمنتظمة ولها نفس الشدة تقريبا وبإستدامة قصيرة.

٢- يتم حساب حجم الجريان السطحي بصورة تقريبية لجميع التصرفات المختارة من متوسط التصرفات اليومية ويتم إختيار العواصف ذات الأحجام الكبيرة منها.

٣- يتم رسم الهيدروجراف اللحظي لكل فيضان من الفيضانات المختارة بالإستعانة بقياسات المنسوب ومنحنى معايرة مناسب للمحطة.

٤- يتم فصل الجريان الأساسي Q_B base flow (م٣/ثانية) من منحنى الجريان في المجرى المائي Q (م٣/ثانية) للحصول على منحنى الجريان المباشر R (م٣/ثانية) عن طريق طرح إحداثيات الجريان الأساسي من إحداثيات التصريف الكلي $R=Q-Q_B$.

٥- يتم حساب الحجم تحت منحنى الجريان المباشر مقدرا كعمق D بالسم فوق الحوض بإستخدام بلانيمتر. يمكن حساب عمق الجريان السطحي D من المعادلة التالية:

$$D = 0.36 \frac{\sum R^{*}t}{A}$$

حيث:

A: مساحة الحوض بالكيلو متر المربع.

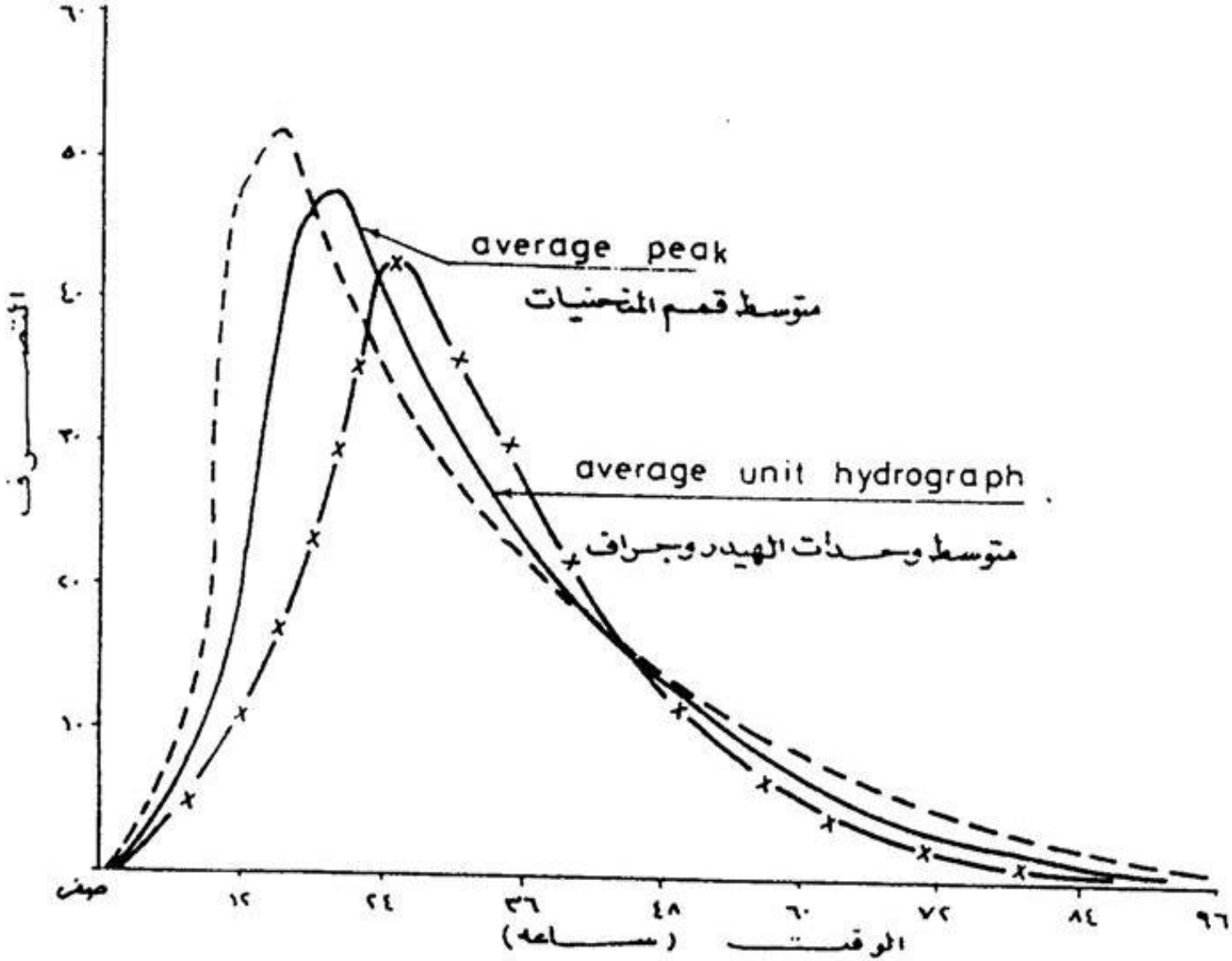
t: الفترة الزمنية بالساعات.

٦- يتم حساب إحداثيات منحنى الوحدة U بقسمة إحداثيات منحنى الجريان المباشر على حجم الجريان المباشر R مقدر كعمق D كالتالي:

$$U = \frac{R}{D}$$

٧- يتم إيجاد منحنى الهيدروجراف النهائي والممثل للمنطقة بأخذ متوسطات منحنيات الوحدة الخاصة بالعواصف المطرية المختارة بحيث تكون قمة المنحنى والزمن اللازم للوصول إلى هذه القمة في منحنى الوحدة النهائي مساوي لمتوسط قمم وأزمنة الوصول إليها.

لذا فإن منحنى الوحدة النهائي الممثل لمنطقة ما يعبر عن ظروف الجريان السطحي الناتج من عواصف مطرية متضاربة في فترات تساقطها والتي تم إختيارها لتمثل المنطقة.


average peak
متوسط قمم المنحنيات
average unit hydrograph
متوسط وحدات الهيدروجراف
التصرف
الوقت (ساعه)
صفر
١٢
٢٤
٣٦
٤٨
٦٠
٧٢
٨٤
٩٦
٦٠
٥٠
٤٠
٣٠
٢٠
١٠

Example 1

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الفيضان لكل ساعة لحوض مساحته ١٣٦٦.٥٦كم^{٢} الناتج من عاصفة مطرية منفصلة مدتها ١ساعة. إحسب وارسم إحداثيات منحنى الوحدة لكل ساعة بفرض أن الجريان الأساسي ١٠م^{٣}/ساعة.

الزمن (ساعة)	0	1	2	3	4	5	6
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ساعة)	10	880	1660	1450	1805	400	220
الزمن (ساعة)	7	8	9	10	11	12	13
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ساعة)	130	85	70	55	34	25	10

Solution

الجدول التالي يبين خطوات حساب الجريان السطحي.

Time (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Hydrograph ordinate	10	880	1660	1450	1805	400	220	130	85	70	55	34	25	10
Base flow	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direct hydrograph Ordinate	0	870	1650	1440	1795	390	210	120	75	60	45	24	15	0

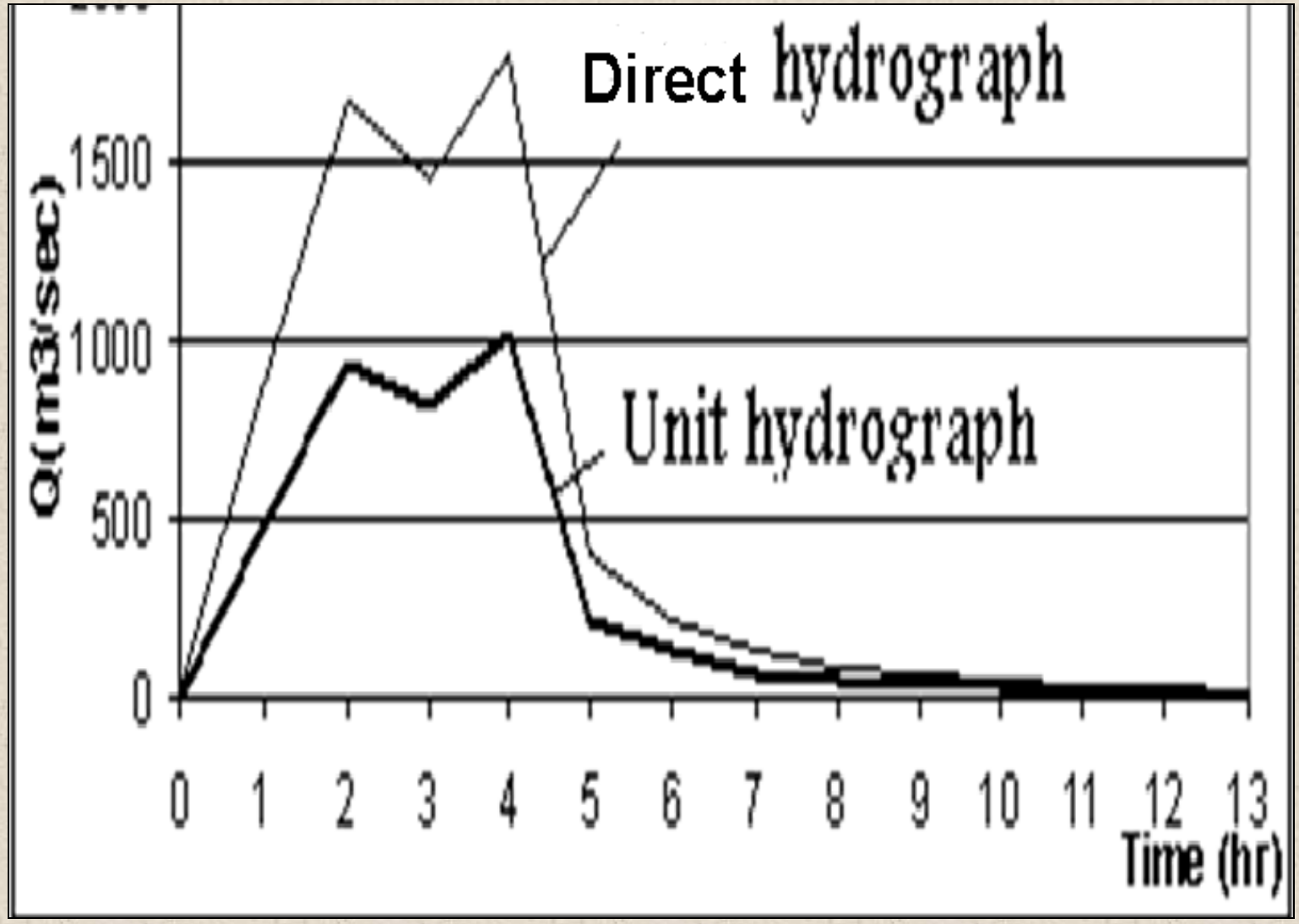
Runoff Volume = 60*60*[(0+870)I2 + (870+1650)/2 + (1650+1440)/2 +….+(15+0)/2] = 24098400m^3

Runoff depth = [(24098400)/(1366.56*10^6)] * 100 = 1.76 cm

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الوحدة مقربة لأقرب رقم صحيح بعد الحصول عليها من المعادلة:

إحداثيات منحنى الوحدة = (إحداثيات الجريان السطحي/1.76).

الزمن (ساعة)	0	1	2	3	4	5	6
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ث)	0	494	938	818	1020	222	119
الزمن (ساعة)	7	8	9	10	11	12	13
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ث)	68	43	34	26	14	9	0


Direct hydrograph
Unit hydrograph
Q(m3/sec)
1500
1000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13
Time (hr)

Example 2

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الفيضان من عاصفة مطرية مدتها 6ساعات والمقاسة في مجرى مائي يستمد مياهه من حوض مساحته 316كم ٢. إحسب إحداثيات منحنى الوحدة كل 6ساعات بفرض أن الجريان الأساسي 17م٣/ثانية.

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثاية)	17	113.2	254.5	198	150	113.2	87.7
الزمن (ساعة)	42	48	54	60	66	72	
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	67.9	53.8	42.5	31.1	22.64	17	

Solution

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36
إحداثيات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	17	113.2	254.5	198	150	113.2	87.7
الجريان الأساسي (م٣/ثانية)	17	17	17	17	17	17	17
إحداثيات فائض المطر (م٣/ثاية)	0	96.2	237.5	181	133	96.2	70.7
الزمن (ساعة)	42	48	54	60	66	72	
إحداثيات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	67.9	53.8	42.5	31.1	22.64	17	
الجريان الأساسي (م٣/ثانية)	17	17	17	17	17	17	
إحداثيات فائض المطر (م٣/ثانية)	50.9	36.8	25.5	14.1	5.64	0	

Runoff Volume = 6*60*60*[(0+96.2)\12 + (870+1650)/2 + (96.2+237.5)/2 +....+ (5.64+0)/2]= 20.47 * 10^6 m^3

Runoff depth = [(20.47*10^6)/(316*10^6)] * 100 = 6.48 cm

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الوحدة مقربة لأقرب رقم صحيح بعد الحصول عليها من المعادلة:

إحداثيات منحنى الوحدة = (إحداثيات الجريان السطحي/6.48).

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	0	14.85	36.65	27.93	20.5	14.85	10.9
الزمن (ساعة)	42	48	54	60	66	72	
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	7.85	5.68	3.94	2.18	0.87	0	

Example 3

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الفيضان والمقاسة في مجرى مائي يستمد مياهه من حوض مساحته 15400 هكتار. إحسب عمق الجريان السطحي (سم) وإحداثيات منحنى الوحدة بفرض أن الجريان اساسي 5 م٣/ثانية.

الزمن (ساعة)	0	12	24	36	48	60	72	48	96
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	5	10	20	35	30	20	15	10	5

Solution

الزمن (ساعة)	0	12	24	36	48	60	72	48	96
إحداثيات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	5	10	20	35	30	20	15	10	5
الجريان الأساسي (م٣/ثانية)	5	5	5	5	5	5	5	5	5
إحداثيات فائض المطر (م٣/ثانية)	0	5	15	30	25	15	10	5	0

$$\text{Runoff Volume} = 12*60*60*[(0+5)/2 + (5+15)/2 + \ldots\ldots + (5+0)/2] = 4.536*10^{6} m^{3}$$

Runoff depth = [(4.536*10^6)/(15400*10^4)] * 100 = 2.95 cm

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الوحدة مقربة لأقرب رقم صحيح بعد الحصول عليها من المعادلة:

إحداثيات منحنى الوحدة = (إحداثيات الجريان السطحي/2.95).

الزمن (ساعة)	0	12	24	36	48	60	72	48	96
إحداثايات الهيدروجراف (م٣/ثانية)	0	1.7	5.1	10.2	8.5	5.1	3.4	1.7	0

Example 4

الجدول التالي يبين إحداثيات منحنى الوحدة والمقاسة في مجرى مائي نتيجة عاصفة مطرية مدتها 4ساعات. إحسب المنحنى الزمني للفيضان إذا كان أقصى تصرف تم تسجيله للفيضان هو 4000م٣/ثانية وبفرض أن الجريان الأساسي 250م٣/ثانية.

الزمن (ساعة)	0	4	8	12	16	20	24
إحداثايات منحنى الوحدة (م٣/ثانية)	0	1500	1200	600	220	80	0

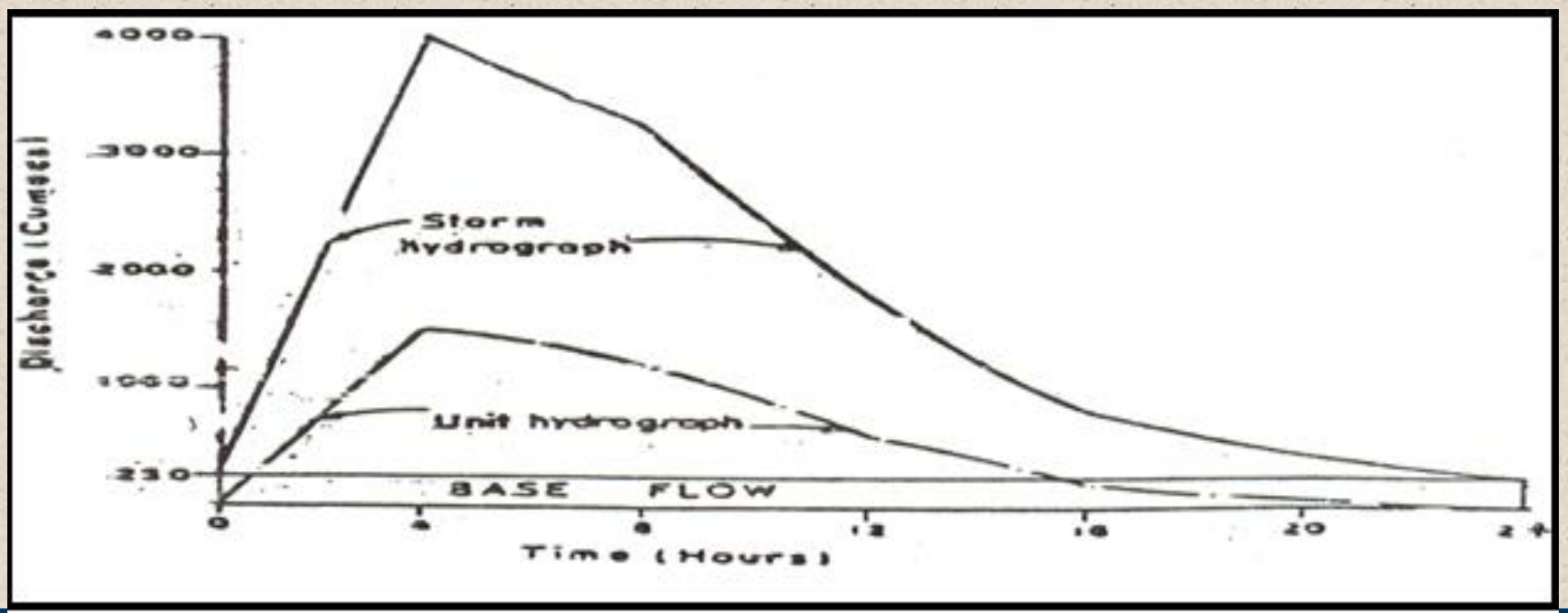
Solution

Maximum flood = 4000 m^3/sec

Base flow = 250 m^3/sec

Maximum surface runoff = 4000-250= 3750m^3/sec

Rainfall excess = 3750/1500 = 2.5 cm



Time	0	4	8	12	16	20	24
Ordinate of U.H. of surface runoff	0	1500	1200	600	220	80	0
Ordinate of surface runoff = 2.5 x ordinate of U.H. (m^3/sec)	0	3750	3000	1500	550	200	0
Base flow	250	250	250	250	250	250	250
Ordinate of flood hydrograph (m^3/sec)	250	4000	3250	1750	800	450	250

Example 5

إحسب ذروة الفيضان الناتج من عاصفة مطرية مدتها 15ساعة على حوض مساحته 10كم٢، وأعطت فائض مطر مقداره 0.35، 0.81، 1.39، 0.27 سم خلال فترات زمنية متتالية مدة كل منها 4ساعات. إحداثيات منحنى الوحدة معطاة في الجدول التالي:

Hours	0	1	2	3	4	5	6	7
Unit Hydrograph(m^3/min	0	16	58	113	337	440	400	285
Hours	8	9	10	11	12	13	14	15
Unit Hydrograph(m^3/min	215	165	172	90	60	35	16	0

Time (hr)	Ordinate of 4-hr unit hydrograph		Rainfall excess	Surface runoff from rainfall excess in successive periods				Ordinate of runoff hydrograph
	m^3/min	m^3/sec		0.35	0.81	1.39	0.27	
0	0	0	0.35	0	0	0	0	0
1	16	0.27	0.81	0.09	0	0	0	0.09
2	58	0.97	1.39	0.34	0	0	0	0.34
3	113	1.88	0.27	0.66	0	0	0	0.66
4	337	5.62		1.97	0	0	0	1.97
5	440	7.33		2.57	0.22	0	0	2.79
6	400	6.67		2.33	0.79	0	0	3.12
7	285	4.75		1.66	1.52	0	0	3.18
8	215	3.58		1.25	4.55	0	0	5.80
9	165	2.75		0.96	5.94	0.38	0	7.28
10	172	2.87		1.00	5.40	1.35	0	7.75
11	90	1.50		0.53	3.85	2.61	0	6.99
12	60	1.0		0.35	2.90	7.81	0	11.06
13	35	0.58		0.20	2.23	10.19	0.07	12.69
14	16	0.27		0.09	2.32	9.27	0.26	11.94
15	0	0		0	1.22	6.60	0.51	8.33

16					0.81	4.94	1.52	7.31
17					0.47	3.82	1.98	6.27
18					0.22	3.99	1.80	6.01
19					0	2.09	1.28	3.37
20						1.39	0.97	2.36
21						0.81	0.74	1.55
22						0.38	0.77	1.15
23						0	0.41	0.41
24							0.27	0.27
1							0.16	0.16
2							0.07	0.07
3							0	0

ذروة الفيضان = 2.96م٣/ثانية ويحدث عند الساعة 13 من بداية القياس.

Example 6

إحسب إحداثيات المنحنى الزمني والناتج من عاصفة مطرية مدتها 3ساعات وأعطت عمق مطر 2، 6.75، 3.75سم خلال فترات زمنية متتالية مدة كل منها 3ساعات بفرض حدوث فقد إبتدائي مقداره 5مم ومؤشر رشح مقداره 2.5مم/ساعة والجريان الأساسي مقداره 10م^3/ثانية. إحداثيات منحنى الوحدة معطاة في الجدول التالي:

Hours	3	6	9	12	15	18	21	24
Unit hydrograph	0	110	365	500	390	310	250	235
Hours	3	6	9	12	15	18	21	24
Unit hydrograph	175	130	95	65	40	22	10	0

Solution

1. Rainfall excess

(a) During 1st three hours = 2.0-(0.25x3)-0.5 = 0.75cm

= 6.0 cm

(b) During 2nd three hours = 6.75-(0.25x3)

= 3.0

(c) During last three hours = 3.75-(0.25x3)

.

2. Rainfall excess as ratio of unit rainfall of 1 cm during subsequent 3-hour intervals is 0.75 cm, 6 cm and 3 cm

3. Runoff due to 0.75 cm rainfall starts from hour 3.

Runoff due to 6 cm rainfall starts from hour 6.

Runoff due to 3 cm rainfall starts from hour 9.

The computation of ordinate of storm hydrograph is tabulated as following.

Time	Ordinate unit hydrograph (m^3/sec)	Rainfall (excess) (R)	Surface runoff from rainfall excess during excessive unit period (m^3/sec)				Base flow (cumec)	Ordinate of storm hydrograph (m^3/sec)
C1	C2	C3	C4 (C2*0.75)	C5 (C2*6.0)	C6 (C2*3.0)	C7 Total	C8	C9
03	0	0.75	0			0	10	10.0
06	110	6.0	82.5	0		82.5	10	92.5
09	365	3.0	274.0	660	0	934.0	10	944.0
12	500		375.0	2190	330	2895.0	10	2905.0
15	390		292.5	3000	1095	4387.5	10	4397.5
18	310		232.5	2340	1500	4072.5	10	4082.5
21	250		187.5	1860	1170	3217.5	10	3227.5
24	235		176.0	1500	930	2606.0	10	2616.0
03	175		131.5	1410	750	2291.5	10	2301.5
06	130		97.5	1050	705	1852.5	10	1862.5
09	95		71.3	780	525	1376.3	10	1386.3
12	65		48.6	570	390	1008.6	10	1018.6
15	40		30.0	390	285	705.0	10	715.0
18	22		16.5	240	195	451.5	10	461.5
21	10		7.5	132	120	259.5	10	269.5
24	0		0	60	66	126.0	10	136.0
03				0	30	30	10	40.0
06					0	0	10	10.0

Thank you