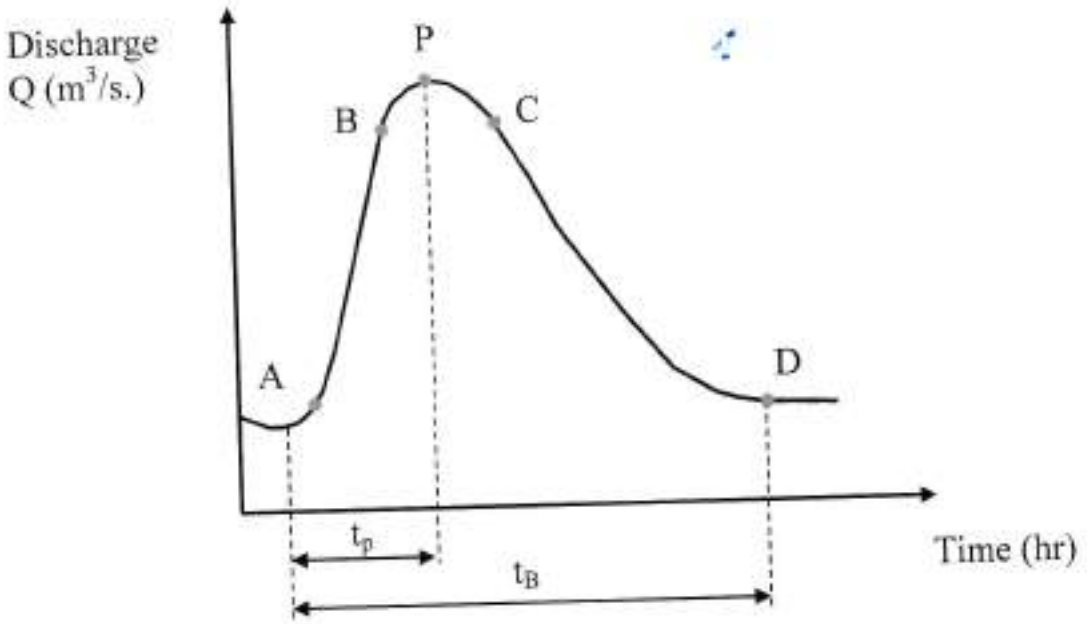
الـهيـدروغـراف
(Hydrograph)

الهيدروغراف : هو تعيين للتصريف في مجرى مائي أو على جابية معينة نتيجة عاصفة مطرية ضد الزمن.



الشكل أعلاه يمثل هيدروغراف العاصفة أو هيدروغراف الفيضان ، وإن هذا الهيدروغراف له عدة مركبات أهمها:

1. الطرف الصاعد AB (Rising Limb) : وهو الزيادة في التصريف بسبب الزيادة التدريجية في بناء الخزين في القنوات فوق سطح الجابية . إن الضائعات الأولية وضائعات الترشح العالية خلال الفترة الأولى من سقوط العاصفة المطرية تسببان زيادة بطيئة في التصريف وبإستمرار العاصفة أكثر فأكثر فإن الجريان من أبعد نقطة في المساحة سوف يصل إلى مخرج الجابية و بالوقت نفسه فإن ضائعات الترشيح سوف تقل مع مرور الوقت ولهذا فإنه بسقوط عاصفة منتظمة فوق الجابية فإن السيح سوف يزداد بسرعة مع الوقت.
2. قطعة الحافة BC (Crest Segment) : وهي أحد الأجزاء المهمة من الهيدروغراف لأنها تحتوي على ذروة الجريان والتي تحدث عندما تشارك أجزاء مختلفة من الجابية بنفس الوقت في إيصال كمية الجريان إلى الحالة العظمى في مخرج الجابية .
3. الذروة P(Peak) : النقطة الواقعة بين نقطتي الإنقلاب B و C .

4. الطرف الهابط (منحني الإنحسار)CD (Recession Limb): إن منحني الإنحسار يمتد من نقطة الإنقلاب في نهاية قطعة الحافة إلى وقت بدء أو شروع الماء الأرضي بالجريان ويمثل لنا عملية سحب الماء من الخزين الذي تم خزنه في الجابية خلال المرحلة الأولى من الهيدروغراف.

إن نقطة البداية لمنحني الإنحسار (أي نقطة الإنقلاب الثانية) تمثل حالة الخزين الأعظم وحيث أن نفاد الخزين يحدث بعد توقف سقوط الأمطار، لذلك فإن شكل هذا الجزء من الهيدروغراف لايعتمد على خصائص العاصفة المطرية بل يعتمد إعتماداً كلياً على خصائص الجابية.

5. وقت الذروة t_p (Peak Time) : الوقت من النقطة A حتى نقطة P .

6. زمن القاعدة t_B (Base Time)

إن الهيدروغراف يمثل حالات السيح بأشكالها الثلاثة:

1. السيح السطحي Surface Runoff 2. الجريان البيني Inter Flow 3. الجريان القاعدي Base Flow

كذلك يتضمن التأثيرات الكاملة للإختلافات الكبيرة بين خصائص الحوض و خصائص العاصفة المطرية ، لذلك فإن عاصفتين مطريتين تسقطان على حوضٍ واحد لهما هيدروغراف يختلف فيها الواحد عن الآخر ، وبالمثل فإن العواصف المتشابهة في جابيتين تنتج لنا هيدروغرافاً الواحد فيها مختلف عن الآخر.

وعلى هذا الأساس فإن فحص عدد من سجلات هيدروغراف الفيضان للمجاري المائية ، يلاحظ أن قسماً منها يحتوي على عدة ذروات للفيضان (شكل 5.2) في حين أن الهيدروغراف البسيط يحتوي على ذروة واحدة كما في الشكل السابق.

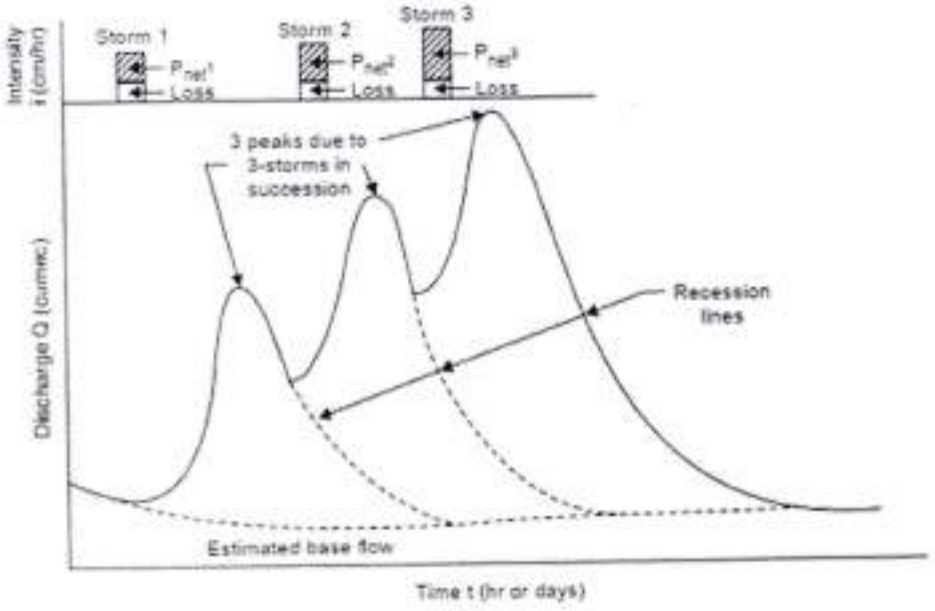


Fig. 5.2 Hydrograph with multiple peaks

العوامل المؤثرة في هيدروغراف الفيضان :

إن العوامل المؤثرة في شكل الهيدروغراف من الممكن تصنيفها إلى:

أولاً: عوامل الجغرافية الطبيعية :

1. خواص الحوض

أ. شكل الحوض: يؤثر الشكل في الوقت الذي يستغرقه الماء حتى يصل من الأجزاء البعيدة من الجالبية إلى مخرجها، وبناءً عليه فإن ثِقطة الذروة و شكل الهيدروغراف يتأثر بصورة مباشرة بشكل الحوض.

ب. حجم الحوض: إن الأحواض الصغيرة تتصرف على نحوٍ مختلف عن الأحواض الكبيرة وخاصةً بالنسبة إلى طبيعة وأهمية الحالات المختلفة للسيح، وفي الجوابي الصغيرة فإن حالة الجريان فوق سطح الارض و الشدة المطرية تلعبان دوراً مهماً في تحديد ذروة الفيضان في مثل هذه الجوابي. أما في الكبيرة منها فإن هذه التأثيرات تكون مخفية ويكون نوع الجريان السائد هو الجريان في القناة.

ج. الميل : إن ميل المجرى المائي الرئيسي يعد أحد الأمور المؤثرة في سرعة الجريان في القناة ، وحيث أن منحني الإنحسار في الهيدروغراف يمثل استنفاد الخزين (depletion of storage) من الجابية فإن من العوامل التي لها تأثير واضح على ذلك ميل القناة للمجري المائي ، حيث كلما كان الميل كبيراً فإن نزف الخزين يكون سريعاً وميل منحني الإنحسار يصبح شديداً وكنتيجة لذلك يكون وقت القاعدة للهيدروغراف صغيراً.

د. كثافة البزل : هي النسبة بين مجموع أطوال القنوات الموجودة بالجابية إلى المساحة الكلية للجابية ، وكلما كانت كثافة البزل عالية فإن ذروة التصريف تكون عالية وفي حالة كون كثافة البزل قليلة فإن الجريان فوق سطح الأرض هو السائد و الهيدروغراف الناتج له ذروة تصريف واطئة وطرف صاعد بطيء ، كما إن قطعة الحافة تكون عريضة نسبياً.

هـ . طبيعة الوديان

و. الإرتفاع

2. خصائص الغيض :

أ. إستعمالات الأرض و الغطاء النباتي : إن وجود الغطاء النباتي يزيد من نفاذية التربة ومن السعة الخزنية لها أي إن إستيعابها للماء بكمية أكبر ، وفضلاً عن ذلك فإنها تعمل على تأخير جريان الماء فوق سطح الأرض ، وعلى هذا الأساس فإن الغطاء النباتي يقلل ذروة الجريان و هذا التأثير يكون واضحاً في الجوابي التي تقل مساحتها عن 150 كم^2 ويكون تأثيره كبيراً جداً في حالة الأمطار القليلة.

ب. نوع التربة و الظروف الجيولوجية

ج. وجود البحيرات والمستنقعات ومناطق الخزن الأخرى

3. خصائص القناة : مثل مقطع الخشونة و السعة الخزنية.

ثانياً: العوامل المناخية :

1. خصائص العاصفة المطرية من حيث الشدة و الإستدامة وإتجاه حركة العاصفة المطرية

حيث أن ذروة و حجم السيح السطحي تتناسب طردياً مع شدة وإستدامة العاصفة المطرية، كما إن حركتها من أعلى الجابية إلى أسفلها فإن هذا يعني أن تركيزاً عالياً و سريعاً للجريان يمكن أن يحصل في مخرج الجابية وينتج لنا هيدروغرافاً له ذروة فيضان واطئة ووقت القاعدة فيه طويل.

2. الضائعات الإبتدائية

3. التبخر الكلي

منحني الإنحسار Recession Curve Eq. :

إشتق بارنس (عام 1940) معادلة تصف منحني الإنحسار:

$$Q_t = Q_o K_r^t \quad \ldots\ldots (1)$$

Q_t : التصريف في الزمن t

Q_o : التصريف الأولي (التصريف في بداية المدة)

K_r : ثابت الإنحسار ($K_r < 1$)

المعادلة أعلاه يمكن كتابتها بصورة أسية:

$$Q_t = Q_o e^{-at} \quad \ldots\ldots (2)$$

$$a = - \ln K_r$$

يمكن اعتبار K_r متكوناً من ثلاث مركبات وكل واحدة تهتم باحد الانواع الثلاثة من الخزن وكما يلي

$$K_r = k_{rs} \cdot k_{ri} \cdot k_{rb} \qquad (3)$$

k_{rs} = ثابت إنحسار الجريان السطحي = 0.05 – 0.2 ,

k_{ri} = ثابت إنحسار الجريان البيني = 0.50-0.85

k_{rb} = ثابت إنحسار الجريان القاعدي = 0.99

القيم اعلاه تكون صحيحة عندما تكون t باليوم.

يمكن ان تكون كمية الجريان البيني غير مهمة لذلك فان K_{rb} يمكن فرضها وحدة واحدة.

وعندما ترسم المعادلة 1 و 2 على ورق شبه لوغارتمي عى شرط ان يكون التصريف على مقياس لوغارتمي فان الشكل الناتج يكون على شكل خط مستقيم، وكما مبين في المثال الآتي:

مثال (1) / الأرقام أدناه تمثل جزء الإنحسار من هيدروغراف الفيضان، المطلوب حساب معامل إنحسار الجريان القاعدي و الجريان السطحي ، علماً بأن الوقت هو من النقطة التي وصل فيها الهيدروغراف الذروة . أفرض أن مركبة الجريان البيني ملغية.

التصريف (m^3/s)	الوقت من الذروة (day)	التصريف (m^3/s)	الوقت من الذروة (day)
3.8	4	90	0
3	4.5	66	0.5
2.6	5	34	1
2.2	5.5	20	1.5
1.8	6	13	2
1.6	6.5	9	2.5
1.5	7	6.7	3
		5	3.5

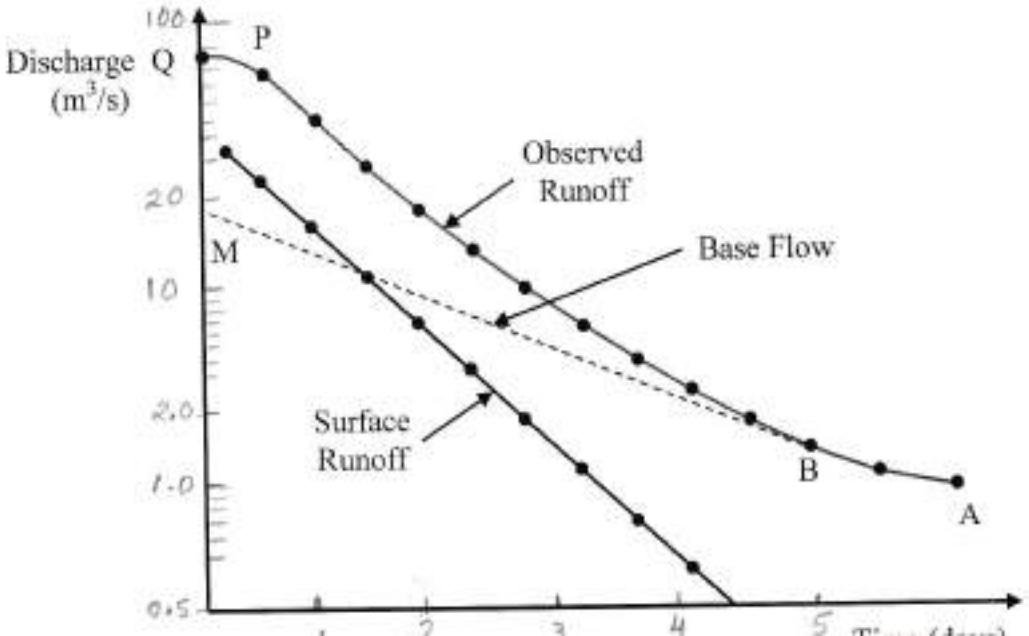
الحل /

يتم تعيين هذه المعلومات على مقياس نصف لوغاريتمي يكون فيها التصريف على مقياس اللوغاريتم كما في الشكل. جزء المنحني AB والذي رسم على خط مستقيم يمثل الجريان القاعدي . الجريان السطحي إنتهى في النقطة B بعد 5 أيام من الذروة.

من معادلة (1) :

$$Q_t / Q_o = K_{rb}^{\,t} \Longrightarrow \log K_{rb} = \frac{1}{t} \log (Q_t / Q_o)$$

$$= 1/t \log (Q_t/Q_o)$$



من الشكل ، لو أخذنا :

$Q_o = 6.6\ m^3/s.$, $t = 2\ days$, $Q_t = 4\ m^3/s.$

$$\log K_{rb} = \frac{1}{2} \log (4 / 6.6) \Longrightarrow K_{rb} = 0.78$$

من المنحنى PA، تطرح كمية الجريات القاعدي MBA للحصول على كمية السيح السطحي، والشكل اعلاه يبين رسم نفاد السيح السطحي والذي يظهر على شكل خط مستقيم.

وبأخذ Q_o=26 متر مكعب/ثا و t = 3 أيام و Q_t =2.25 متر مكعب/ثا فان هذا يقودنا الى تحديد قيمة K_{rs}=0.29

$Q_o = 26\ m^3/s.$, $t = 2\ days$, $Q_t = 2.25\ m^3/s.$

$$\log K_{rs} = \frac{1}{2} \log (2.25 / 26) \Longrightarrow K_{rs} = 0.29$$

$$K_r = 0.29 * 0.78 * 1 = 0.226$$

فصل الجريان القاعدي Base Flow Separation:

في دراسة وتحليل الهيدروغراف ، نجد أن العلاقة بين هيدروغراف الجريان السطحي و المطر المؤثر (أي المطر مطروحاً منه الضائعات) تظهر على نحوٍ واضح وإن هيدروغراف الجريان السطحي نحصل عليه من الهيدروغراف الكلي وذلك بفصل الجريان السريع عن الجريان البطيء. ومن المعتاد أن نعتبر الجريان البيني جزءاً من الجريان السطحي أي أنه واقع ضمن الجريان السريع، ولهذا فإنه يتم طرح الجريان القاعدي من الهيدروغراف الكلي للعاصفة لكي نحصل على هيدروغراف الجريان السطحي، وهنالك ثلاث طرق تستعمل لفصل الجريان القاعدي :

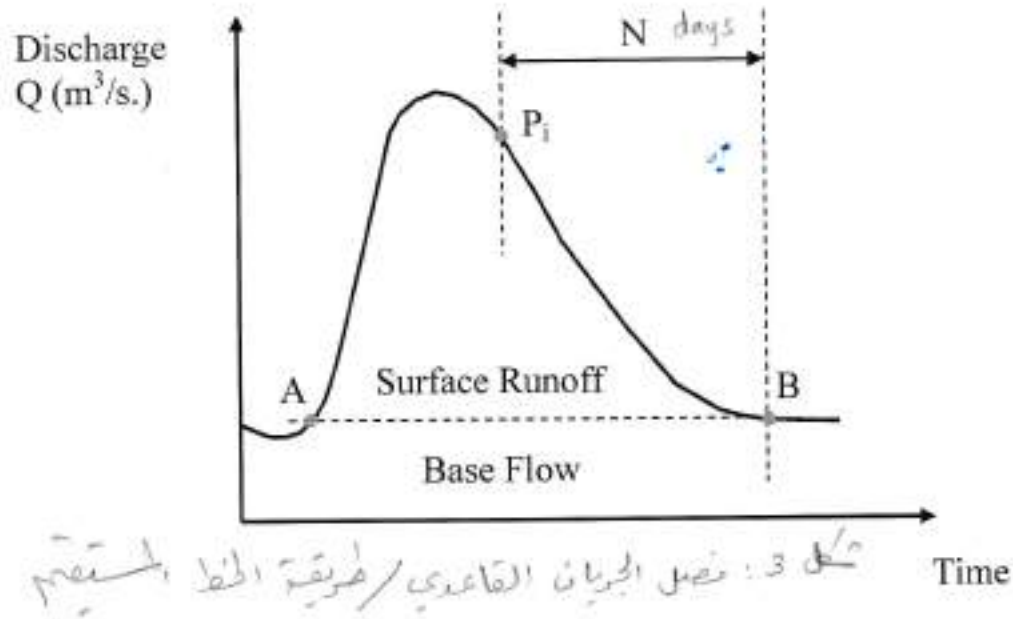
الطريقة الأولى : طريقة الخط المستقيم:

يتم فصل الجريان القاعدي وذلك بوصل بداية السيح السطحي بخط مستقيم على الطرف الهابط والتي تمثل نهاية السيح المباشر، وكما في الشكل فإن نقطة A تمثل بداية السيح المباشر وهي عادةً يمكن تحديدها بسهولة حيث أنها تمثل التغير الحاد في معدل السيح في تلك النقطة. أما النقطة B فتمثل نهاية السيح المباشر وهي صعبة التعيين بالضبط وهنالك معادلة تجريبية لتحديد الفترة الزمنية N (باليوم) من نقطة الإنقلاب P_i إلى النقطة B وهي:

$$N = 0.83\ A^{0.2} \qquad \text{---------- (4)}$$

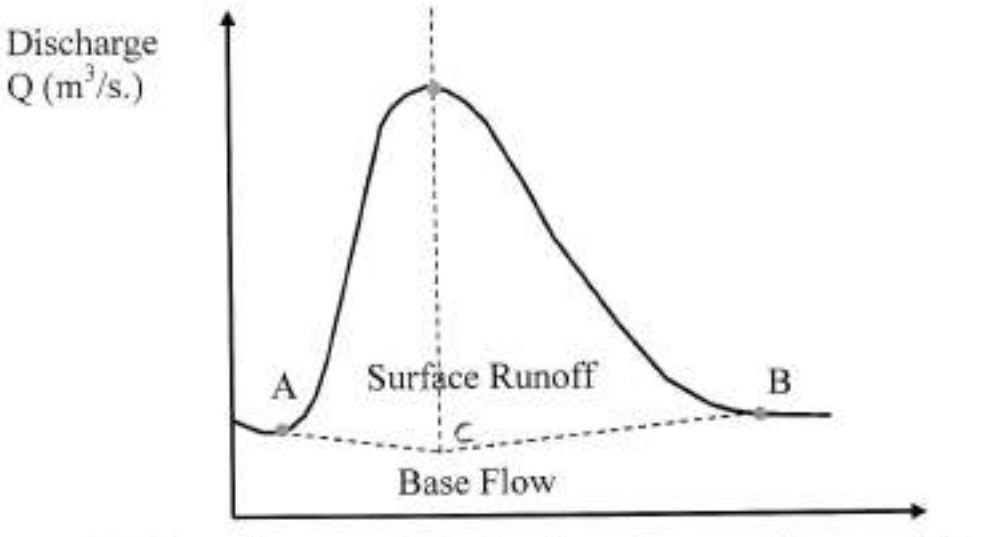
المساحة المبزولة (كم^2) : A

حيث توصل النقطتان A و B بخط مستقيم لفصل الجريان القاعدي عن السيح السطحي



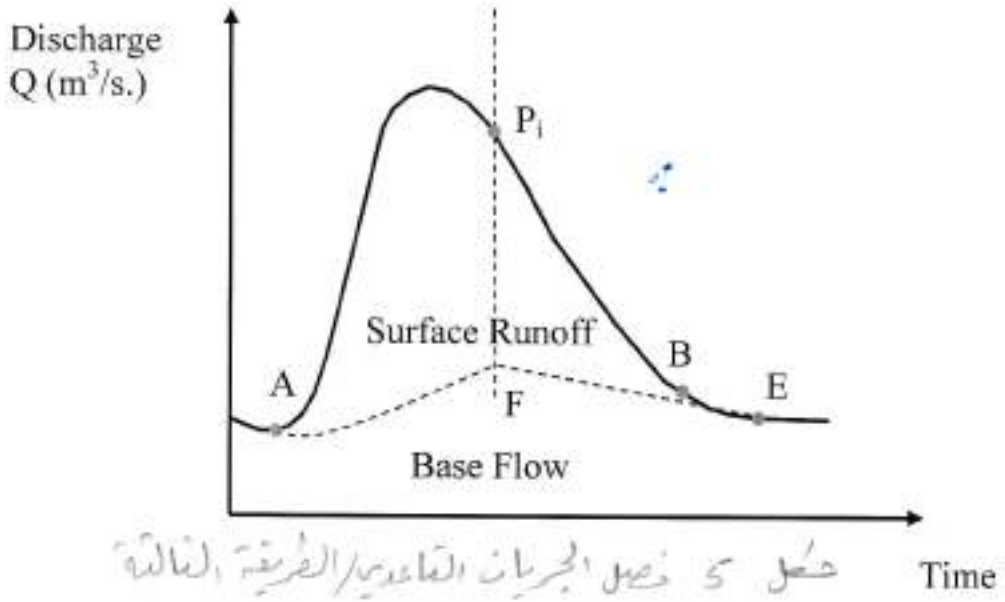
شكل 3 : فصل الجريان القاعدي / طريقة الخط المستقيم

الطريقة الثانية : في هذه الطريقة فإن منحني الجريان القاعدي السابق لبدء السيح السطحي يتم تمديده حتى يتقاطع مع الإحداثي المرسوم من نقطة الذروة (النقطة C) وهذه النقطة يتم ربطها مع النقطة B بخط مستقيم والقطع AC و BC تعين الجريان القاعدي و السيح السطحي. وهذه الطريقة من المحتمل ان تكون شائعة الاستعمال على نحو واسع في طريقة فصل الجريان.



شكل 4 : فصل الجريان القاعدي / الطريقة الثانية

الطريقة الثالثة : في هذه الطريقة فإن منحني الإنحسار العائد للجريان الأرضي يتم تمديده إلى الخلف حتى يتقاطع مع الخط النازل من نقطة الإنقلاب P_i (الخط EF) والنقطتان A و F يتم وصلهما بمنحني يتم رسمه على نحو تقريبي.

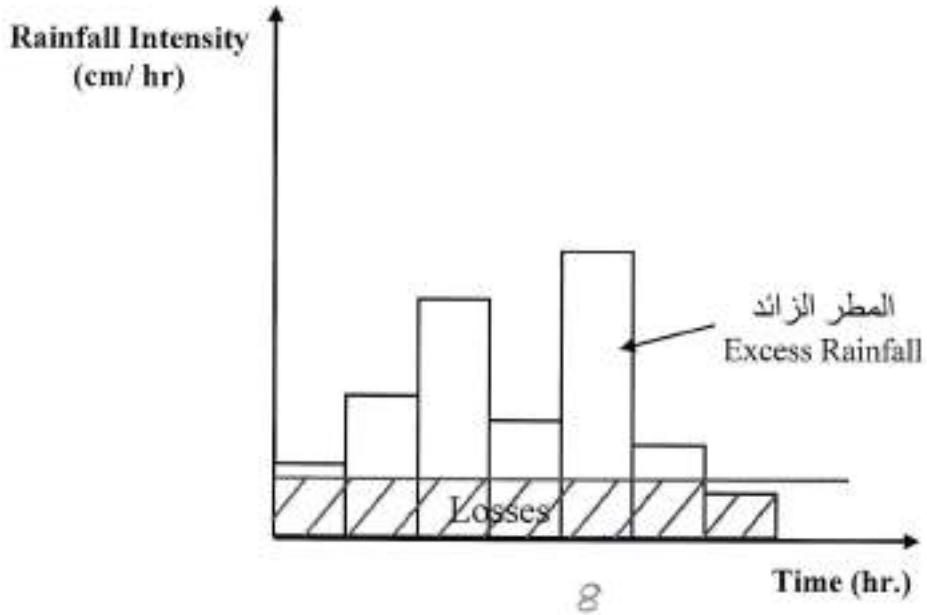


حصل ع فصل الجريان القاعدي/الطريقة الثالثة

ان هيدروغراف الجريان السطحي والذي نحصل عليه بعد فصل الجريان القاعدي يعرف ايضاً بهيدروغراف السيح المباشر Direct Runoff Hydrograph (DRH)

المطر المؤثر Effective Rain:

لأغراض ربط هيدروغراف السيح المباشر مع المطر الساقط والذي ينتج الجريان فإن هيدروغراف المطر الساقط يتم تعديله بطرح الضائعات منه ، والشكل أدناه يبين لنا هيدروغراف عاصفة مطرية حيث أن الضائعات البدائية و ضائعات النفاذية يتم طرحها منه ولهذا فإن الهيدروغراف الناتج يعرف بهيدروغراف المطر المؤثر Effective rainfall Hydrograph (ERH).

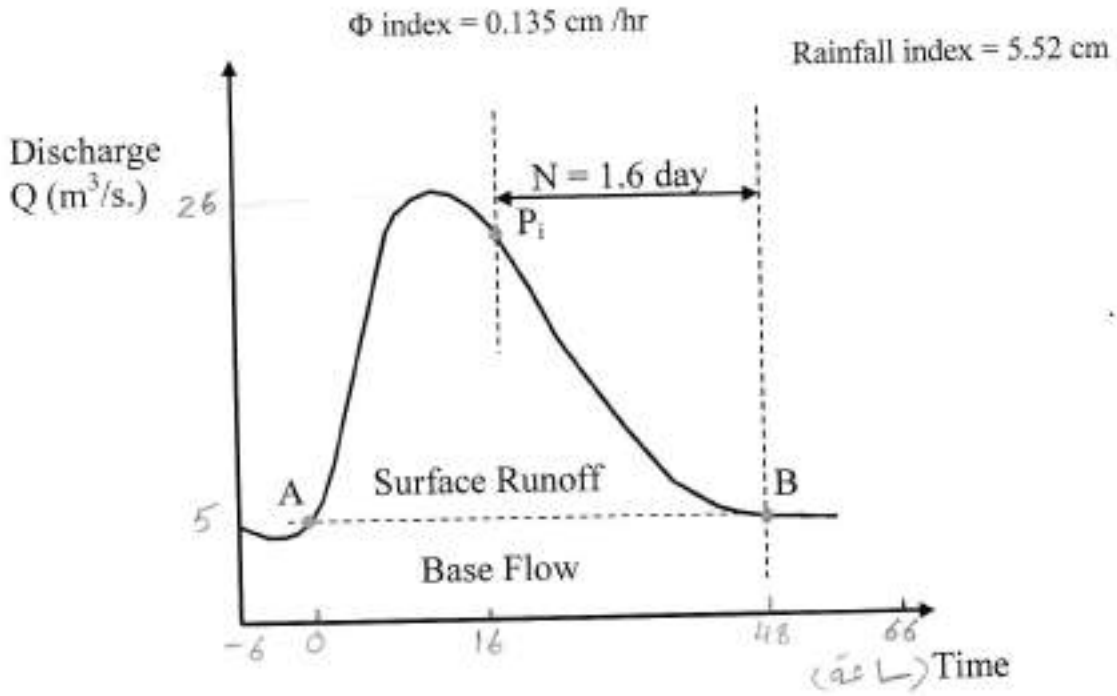


ملاحظة / إن كلا الهيدروغرافين (DRH و ERH) يمثلان نفس الكمية الكلية ولكن بوحدات مختلفة ، حيث تكون وحدات الـ (ERH) بالـ (cm/hr) وعندما ترسم ضد الوقت فإن مساحة المنحني الناتج عند ضربه بمساحة الجابية فإن الناتج يمثل الحجم الكلي للسيح المباشر والتي هي في الوقت نفسه تمثل مساحة الـ (DRH).

مثال (2) / الأمطار التي قيمتها 3.8 و2.8 سم حدثت خلال إستدامة متعاقبة فترتها 4 ساعة و على مساحة مقدارها 27 كم^2 وأنتجت الهيدروغراف التالي للجريان في نقطة تصريف الجابية ، خمن الزيادة المطرية و قيمة المؤشر Φ ؟

الوقت من بداية سقوط المطر (hr)	-6	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
الجريان الملاحظ (m^3/s)	6	5	13	26	21	16	12	9	7	5	5	4.5	4.5
DRH	1	0	8	21	16	11	7	4	2	0	0	-0.5	-0.5

الحل / بإستخدام طريقة الخط المستقيم لفصل الجريان القاعدي وباستعمال المعادلة 4



$N = 0.83\ (27)^{0.2} = 1.6$ day $= 38$ hr.

يبدأ DRH عند t=0 وله نقطة انقلاب في t=16 ساعة

نقطة الإنقلاب عندما (t = 0) وبداية الـ (DRH) عندما (t = 0) كما إنه ينتهي عندما (t = 48) أي أن الزمن الكلي لـ N :

Time of $N = 48 - 16 = 32$ hr.

وهي قيمة ملائمة أكثر من (N = 38) ، إذن وقت الـ DRH الكلي من t = 0 و لغاية t = 48

من خلال الرسم، طريقة الخط المستقيم تعطينا قيمة ثابتة للجريان القاعدي مقدارها 5 م^3/ ثا

DRH=6*60*60[0.5*8+0.5(8+21)+0.5(21+16)+0.5(16+11)+0.5(11+7)+0.5(7+4)+0.5(4+2)+0.5(2)]
$= 1.4904*10^6$ m^3

Depth of Runoff = Runoff vol./ Area = $1.4904*10^6 / 27*10^6 = 5.52$ cm. (المطر الفائض)

Total Rainfall = 2.8 + 3.8 = 6.6 cm.

Time of Duration = 8 hr.

Φ index = (6.6 – 5.52) / 8 = 0.135 cm/hr.

توضيح للحل اعلاه

$$DRH = 60*60*60\left[\tfrac{1}{2}(8) + \tfrac{1}{2}(8+21) + \tfrac{1}{2}(21+16) + \tfrac{1}{2}(16+11) + \tfrac{1}{2}(11+7) + \tfrac{1}{2}(7+4) + \tfrac{1}{2}(4+2) + \tfrac{1}{2}(2)\right]$$

$$= 3600 + 6*(8+21+16+11+7+4+2)$$

$= 1.4904 * 10^6$ m^3 حجم السيح المباشر

عمق السيح = حجم السيح / مساحة الحاسة

$$= \frac{1.4904*10^6\ m^3}{27*10^6\ m^2} = 0.0552\ m = 5.52\ cm$$

المطر الزائد أو الزيادة بالامطار

المطر الكلي = 2.8 + 3.8 = 6.6 سم

الاستمرارية = 8 ساعة

المؤشر $\phi = \frac{6.6 - 5.52}{8} = 0.135$ سم/ساعة