محاضرات مادة الهيدرولوجيا الهندسية – المرحلة الرابعة

المصادر:

1-Engineering Hydrology ,Second Edition Mc Graw hill ,New Delhi,K.Subramanya,1997.

2.Linsely,R.K.,M.A.Kohlerand Paulhus ,J.L.;"Hydrology for Engineers". McGraw-Hill,Singapore,1988.

3.Wielson,E.M.; "Engineering Hydrology".Macullan,London,1983.

4- Ward, R.C & Robinson (1990): Principles of hydrology. McGraw-Hill. London.

مفردات المنهج :

الفصل الاول:

الفصل الاول : المقدمة (*Introduction*)

الفصل الثاني: السقيط (*Precipitation*)

الفصل الثالث: السحوبات من السقيط (*Abstraction from Precipitation*)

الفصل الرابع: السيح (*Run-Off*)

الفصل الثاني:

الفصل الخامس: الهيدروغراف (*Hydrograph*)

الفصل السادس: الفيضان (*Floods*)

الفصل السابع: استتباع الفيضان (*Flood Routing*)

الفصل الثامن: المياه الجوفية (*Ground Water*)

الفصل الاول

المقدمة

(*Introduction*)

1 .1. الهيدرولوجي Hydrology :

الهيدرولوجيا علم واسع يشمل كل المياه في الكرة الأرضية ويتكون هذا المصطلح من مقطعين هما:

Hydroوتعني المياه

Logy وتعني علم

وهو العلم الذي:

1- يتناول دراسة المياه على سطح وفي باطن الأرض.

2- يتناول حدوث المياه وانتشارها وتوزيعها ودورتها فوق سطح الارض وفي الغلاف الجوي

3- يتناول دراسة المياه منذ وصولها على سطح الأرض حتى مغادرتها إلى الجو بالتبخير أو إلى المحيطات بالتدفق السطحي أو تحت السطحي.

ولكون هذا العلم واسع و متشعب فإنه يتعامل مع علوم أخرى لها علاقة مباشرة بهذا العلم منها علم الانواء الجوية و الجيولوجيا و الاحصاء و الكيمياء و الفيزياء و ميكانيك الموائع ، ويقسم هذا العلم إلى قسمين:

1. **الهيدرولوجيا العلمية :** الدراسة التي تتعامل تعاملاً رئيسياً مع المواضيع النظرية.
2. **الهيدرولوجيا الهندسية (التطبيقية) :** الدراسة التي تتعامل مع المواضيع الهندسية مثل :

- تقدير الموارد المائية.
- دراسة العمليات مثل السقيط و السيح و التبخر الكلي و تداخلاتها.
- دراسة المشكلات مثل الفيضان و الجفاف واستراتيجية درئها.

1 .2. الدورة الهيدرولوجية Hydrological Cycle:

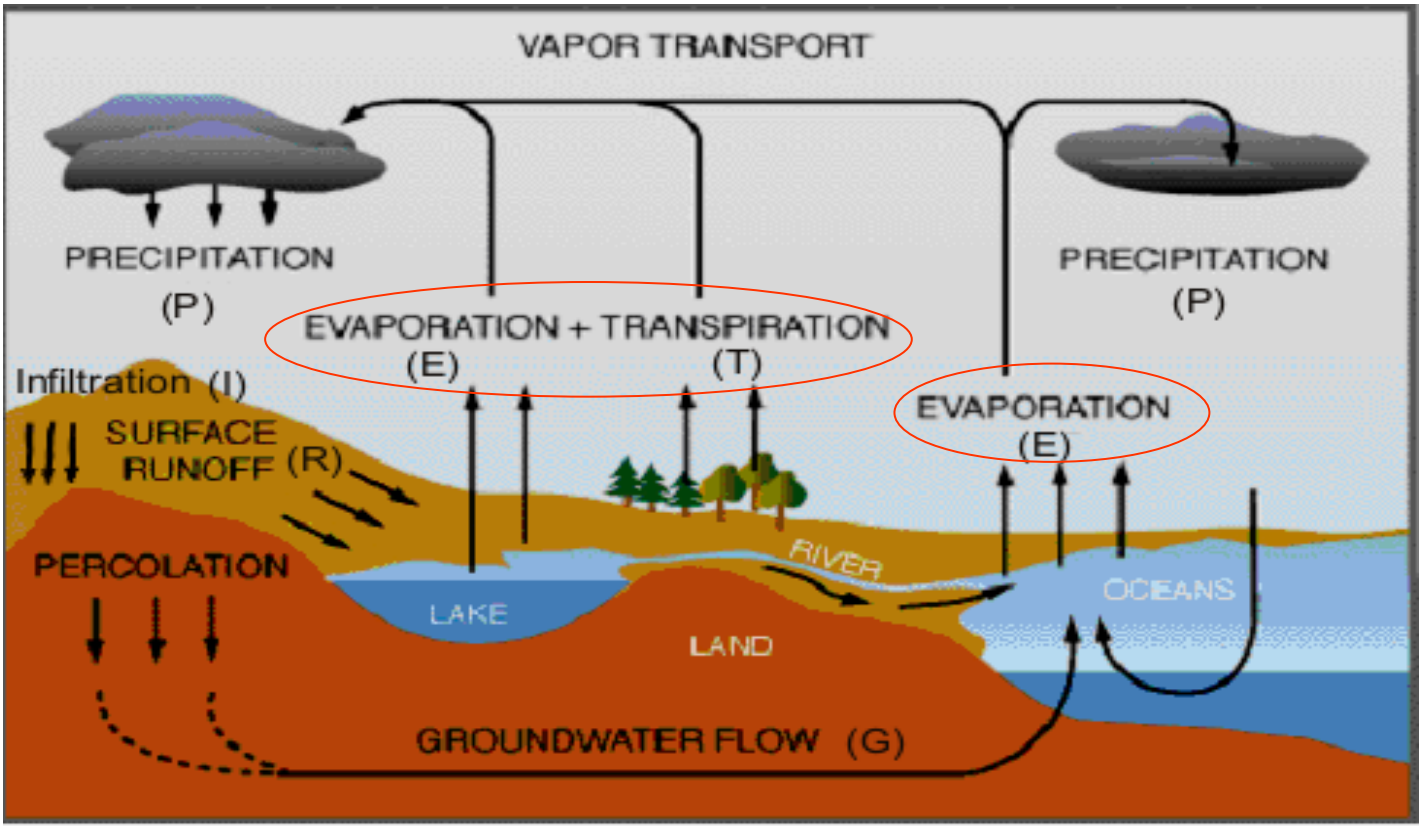
يغطي الماء ثلاثة أرباع الكرة الأرضية تقريبا – وهو في حركة طبيعية مستمرة حيث يتبخر جزء من مياه هذه المسطحات المائية وكذلك من سطح التربة وأسطح النباتات صاعداً إلى الجو على هيئة بخار ماء وتحت ظروف معينة للأحوال الجوية يتكاثف عائداً إلى الأرض مرة أخرى في صورة تساقط بأشكال مختلفة؛ وتعرف هذه الدورة بالدورة المائية.

وبالنظر الى الدورة المائية فوق جزء من اليابسة من الكرة الأرضية يلاحظ أنه يوجد اتزان مائي ليعكس قانون (Conservation Law) حفظ المادة

ويمكن التعبير عن ذلك رياضيا بالقانون التالي:

$$\Delta S = V_i - V_o$$

حيث ان حركة الماء بكافة أشكاله (أمطار وثلوج و حالوب) بين سطح الارض إلى الغلاف الجوي و بالعكس نتيجة لتأثيرات مناخية أو لحالة الجو اليومية أو الاعتيادية ، حيث أن الماء يتبخر بفعل حرارة الشمس ثم ينتقل إلى الغلاف الجوي و يتكاثف لينزل مرة أخرى إلى المحيطات و البحار على شكل أمطار أو قد تحمل الرياح الغيوم إلى اليابسة ليسقط على سطح الارض مكوناً المجاري المائية كالانهار و الجداول أو يسقط على شكل ثلوج أو برد (حالوب) وقد يتسرب قسم كبير منه إلى جوف الارض مكوناً ما يسمى بالمياه الجوفية.



مخطط للدورة الهيدرولوجية

1. 3 . مسارات الدورة الهيدرولوجية Hydrological cycle Paths:

بصورة عامة و مبسطة فإن مسارات الدورة الهيدرولوجية هي :

1. السقيط 2. التبخر 3. المياه الجوفية 4. السيح السطحي 5. الارتشاح

وإن كل مسار من هذه المسارات يتضمن واحد أو أكثر من المظاهر التالية:

أ. نقل الماء ب. خزن وقتي للماء

1. 4. معادلة الموازنة الهيدرولوجية Hydrological Budget Equation:

إن مياه الجابية لمساحة معلومة خلال فترة من الزمن (Δt) تكون :

التغاير في الخزين = كتلة الخزين الداخل – كتلة الخزين الخارج

$$\Delta S = V_i - V_o$$

مثال / جابية مساحتها 15 كم^2 ، إحسب :

1.التغير في حجم الخزين (لفترة سنة) فوق الارض و تحتها لهذه الجابية إذا كان حجم الماء للجريان الداخل $8*10^4$ م^3 و للجريان الخارج $6.5*10^4$ م^3 ؟

2. إذا كان المعدل السنوي لجريان المجرى المائي هو 10^7 م^3 ، إحسب العمق المكافيء؟

الحل:

1. $\Delta S = V_i - V_o$

$$= 8 * 10^4 - 6.5 * 10^4 = 1.5 * 10^4 \ m^3$$

ΔS

2. Average Depth = $10^7 / 15*10^6 = 0.667$ m. = 66.7 cm.

1. 5. التطبيقات الهندسية للهيدرولوجيا Engineering Aplications of Hydrology:

إن اكبر تطبيق لعلم الهيدرولوجي هو في تصميم مشاريع الموارد المائية و تشغيلها مثل :

1. الري 2. تجهيز الماء 3. السيطرة على الفيضان 4. الطاقة المائية 5. الملاحة

وتحتاج التحريات الهيدرولوجية لتقديرات وافية لجميع هذه المشاريع إلى العوامل الضرورية الآتية:

- سعة الخزين في منشآت الخزن مثل الخزانات و السدود (ضرورة معرفة التصاريف القصوى لتصميم أي سد أو حاجز مائي).
- كميات و حجوم الجريان في الفيضان لجعله قادراً على التصريف الامين للزيادات في الجريان (تصميم المسيل المائي Spillway).

- أقل جريان و كمية الجريان المتوافرة من مصادر مختلفة (لأخذها بنظر الاعتبار و تحديد الاحتياجات المائية في مواسم الجفاف)
- التداخلات في موجات الفيضان و المنشآت الهيدروليكية مثل السداد و الجسور و الخزانات و السدود.

1. 6 . عوامل الفشل النموذجية للمنشآت الهيدروليكية :

إن فشل أو نجاح أي مشروع مائي يعتمد على مدى دقة التقديرات الهيدرولوجية و من عوامل الفشل:

1. إنهيار سدود ترابية نتيجة لارتفاع منسوب الماء و عجز في سعة مخارج تصريف المياه الفائضة (المسيل المائي Spillway).
2. سقوط قناطر و جسور نتيجة الزيادة في جريان الفيضان.
3. قصور في إمكانية إمتلاء خزانات الماء الكبيرة نتيجة تضخيم الجريان في المجرى المائي (تصميم مقطع جريان اكبر من كمية الماء المتاحة مما يسبب قلة التصاريف و سرعة الجريان و عدم تأمين الاحتياج المائي المطلوب).

1. 7. مصادر المعلومات Sources of Data:

1. سجلات الطقس : درجة الحرارة و الرطوبة و سرعة الرياح.

2. معلومات السقيط.

3. سجلات الجريان في المجاري المائية.

4. معلومات التبخر.

5. خصائص الارتشاح في التربة للمساحة المخصصة للدراسة.

6. خصائص المياه الجوفية.

7. الخصائص الفيزياوية و الجيولوجية للتربة في المساحة المطلوب دراستها.

الفصل الثاني

السقيط

(*Precipitation*)

1.2. السقيط :

يعرف التساقط بأنه كل صور الرطوبة التي تسقط على سطح الأرض سواء كانت في حالتها السائلة أم الصلبة (أمطار أو ثلوج). وكما أوضحنا سابقا, فان التساقط يحدث نتيجة التمدد وتبريد الهواء الصاعد حتى تبداء عملية تكوين السحب فوق المشبعة ببخار الماء (Supesaturated) فيتكاثف بخار الماء إلى ملايين القطرات المائية الصغيرة والنويات الثلجية حيث يتم التلاحم بينهما لتكون قطرات وبلورات ثلجية اكبر حجما وهذه تزداد نموا وثقلا ويتم التلاحم بين القطرات والبلورات الثلجية حتى يصبح الضغط الناشئ عن الهواء الصاعد غير قادر على حملها. أما نتيجة لاختلاف ضغط بخار الماء بين القطرات المائية والنويات الثلجية الموجودة داخل السحابة المعطرة مما يؤدي الى تبخر قطرات الماء لتتكثف حول نويات الثلج وبذلك تكبر هذه النويات في الحجم, أو قد تتلاحم القطرات المائية نتيجة لاختلاف أحجامها الذي يؤدي الى اختلاف معدلات حركتها داخل السحابة و من الاشكال الاعتيادية لسقوط المطر و الثلج و البرد و الصقيع و الندى ولكي يتكون السقيط ينبغي توفر الظروف التالية :.

1. يجب أن يحتوي الجو على رطوبة .
2. يجب أن توجد ذرات كافية تساعد على التكاثف.
3. يجب أن تكون الظروف الجوية جيدة لتكاثف بخار الماء .
4. يجب أن يصل ناتج التكاثف إلى الارض.

2.2 . اشكال السقيط Forms of Precipitation :

من الاشكال العامة للسقيط المطر و الثلج و الرذاذ (المطر الخفيف) والصقيع ، والشفشاف والبرد .

المطر يمثل الشكل الرئيسي من السقيط ويصف بشكل قطرات ماء أكبر من 0.5 ملم ويصل أكبر قطر لقطرات المطر إلى 6 ملم تقريباً و تصنف الامطار إستناداً إلى شدتها إلى:

الصنف	الشدة المطرية
مطر خفيف	أقل من 2.5 ملم / ساعة
مطر متوسط	2.5 – 7.5 ملم / ساعة
مطر كثيف	أكبر من 7.5 ملم / ساعة

<u>الوفر</u> يتالف من بلورات تتحد عادة لتكون بلورات ثلجية flakes ويمتلك الوفر كثافة اولية تتراوح بين 0.06-0.15 غم اسم 3.

<u>الرذاذ</u> يتكون من قطرات مائية حجمها اقل من 0.5 ملم وشدة اقل من 1 ملم \ ساعة . وتكون القطرات صغيرة جدا تبدو وكأنها تطفو في بعض الاحيان .

<u>البرد</u> وهي زخات مطر متجمدة بحبيبات شفافة تتكون عند سقوط المطر خلال الهواء عند درجات حرارة تحت الانجماد

قياس الأمطار: Measurement of precipitation

ان الهدف من قياس كميات التساقط هو للتعبير بدقة عن سمك المياه التي تغلف المنطقة بفعل العاصفة المطرية.

شبكة قياس التساقط Precipitation Gage Network

لإعطاء صورة حقيقية عن توزيع التساقط سواء كان أمطاراً أو ثلوجاً في منطقة ما يجب أن يخطط لوضع شبكة من أجهزة القياس في محطات تختلف المسافات بينها باختلاف ظروف المنطقة المناخية على أن يوضع في الاعتبار عدم تركيز هذه المحطات في منطقة دون أخرى بمعنى أنه لا يجب أن تتركز في أماكن التساقط الغزيرة على حساب الأماكن قليلة التساقط، و يلعب الهدف من أية دراسة دورا كبيرا في تحديد عدد المحطات المطرية في وحدة المساحة.

أنواع مقاييس التساقط Types of rain gauge

تصنف مقاييس الأمطار ضمن مجموعتين رئيسيتين هما:

1- مقياس تساقط غير المسجل / العادي: Non_recording gauges

وهو عبارة عن جهاز بسيط, يتكون من اسطوانة بلاستيكية أو معدنية طولها 580 ملم فوهتها 200 ملم, وترتبط الفوهة بقمع يوصل الأمطار إلى اسطوانة داخلية قطرها 20 ملم تكون غالبا مدرجة تدل على كمية الأمطار الساقطة في المنطقة. وقد لا تكون مدرجة, حيث يتم قياس الكمية بواسطة المخبار المدرج, ويتميز هذا النوع ببساطته, ولكنه لا يعطي فكرة واضحة عن كثافة الأمطار (الغزارة) أو ديمومتها ولا يعطي فكرة تامة عن المسار العام للتساقط خلال فترة زمنية محدودة. إلا انه

يمكن قياس كمية الأمطار المتجمعة به في أي وقت يشاء الراصد ذلك، ويتفاوت شكل المقياس من دولة إلى أخرى، فهناك النموذج الكندي. ويتم التعبير عن كمية المطر المتساقطة في جهة ما بوحدات الطول أي mark II النموذج البريطاني عمق الماء الذي يتساقط على مساحة معينة وعادة يعبر عن ذلك بالمليمتر أو البوصة وتقاس الأمطار بواسطة جهاز يتكون من حوض استقبال وحوض تجميع وحوض واقي لحوض التجميع وتقاس الكميات المتجمعة من الأمطار كل 24 ساعة بواسطة مخبار مدرج وعلى ذلك يكون مقدار المطر المتساقط مساويا لحجم الماء مقسوما على مساحة حوض الاستقبال.

2- المقياس الآلي:

ويستخدم في المناطق غزيرة الأمطار أو البعيدة على شكل أجهزة قياس قادرة على تسجيل كمية الأمطار المتساقطة في أي ساعة من اليوم وذلك بطريقة أوتوماتيكية ويتكون الجهاز في فكرته المبسطة من حوض استقبال يجمع المطر في أسطوانة بها عوامة متصلة بقلم يرسم طرفه على ورق رسم بياني مثبت على أسطوانة رأسية تدور بواسطة ساعة.

3.2. كفاية محطات القياس المطرية :

إذا كان هناك عدد سابق من محطات قياس المطر في الجابية فإن العدد الامثل للمحطات و التي يظهر فيها نسبة مئوية من الخطأ في حسابات معدل سقوط الامطار ممكن إستخراجها بالتحليلات الاحصائية كما يأتي:

$$C_v = \frac{100 \times \sigma_{m-1}}{\bar{p}}$$

$$N = \left(\frac{C_v}{\in}\right)^2$$

$$\sigma_{m-1} = \sqrt{\left[\left(\sum_1^m p_i^2\right) - \frac{\left(\sum_1^m p_i\right)^2}{m}\right] \Big/ (m-1)}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{m}\left(\sum_1^m p_i\right)$$

N : العدد الامثل للمحطات

C_v : معامل التغاير في قيم سقوط المطر في المحطات الموجودة بعدد m (%)

P_i : مقدار السقيط في المحطة i_{th}

m : عدد المحطات

مثال (1) / جابية تحتوي على (6) محطات مقاييس سقوط مطر وفي إحدى السنين كان المطر السنوي المسجل في المقاييس كما يأتي:

المحطة	A	B	C	D	E	F
معدل سقوط المطر (cm)	82.6	102.9	180.3	110.3	98.8	136.7

وبإفتراض حصول خطأ 10% في تقدير متوسط المطر ، إحسب العدد الامثل للمحطات في هذه الجابية ؟

الحل /

$\bar{P} = 118.6$; $\epsilon = 10\%$; $\sigma_{m-1} = 35.04$; $m = 6$;

$C_v = 100 * 35.04 / 118.6 = 29.54$

$N = 8.7 = 9$ stations

إذن نحتاج 3 محطات إضافية

4.2 . تهيئة المعلومات Preparation of Data :

يكون من الضروري قبل إستعمال تسجيلات سقوط المطر في المحطات تدقيق إستمرارية المعلومات و تجانسها أولاً، لأن إنقطاع التسجيلات يمكن أن يكون بسبب التلف أو الخلل الذي يطرأ على الاجهزة خلال فترة من الزمن ، وإن المعلومات المفقودة يمكن حسابها بإستعمال المعلومات من المحطات المجاورة لها.

يستعمل سقوط المطر الاعتيادي في هذه الحسابات وهو معدل المطر الساقط في التأريخ المحدد شهراً أو سنة و على مدى (30) سنة.

5.2. حساب المعلومات المفقودة Estimating of Missing Data:

تحسب المعلومات المفقودة بإحدى الطريقتين التاليتين:

1 . طريقة المعدل الحسابي :

$$P_x = 1/m\ [P_1+P_2+\ldots\ldots+P_m]$$

m : عدد المحطات

P_x : معدل السقيط المفقود في تلك الفترة

تعتمد هذه الطريقة في حالة إذا كان معدل السقيط الاعتيادي في المحطات المختلفة بحدود 10% من معدل السقيط الاعتيادي في المحطة X . حيث أن P_1 , P_2 , ... , P_m معدلات السقيط للمحطات المجاورة 1 , 2 , ... , m على التوالي .

2 . طريقة النسبة الاعتيادية :

$$P_x=N_x/m[P_1/N_1+P_2/N_2+\ldots\ldots+P_m/N_m]$$

ملاحظة : تعتمد هذه الطريقة في حالة ($N_m / N_x > 1.1$) أي أن النسبة ليست في حدود 10 %

$N_1 , N_2 , \ldots\ldots , N_m$ معدلات السقيط السنوي الاعتيادي (لفترة 30 سنة)

N_x معدل السقيط السنوي الاعتيادي للمحطة المفقودة (لفترة 30 سنة)

مثال (2) / كان معدل سقوط المطر السنوي الاعتيادي في المحطات A و B و C و D في حوض ما هو 80.97 , 67.59 , 76.28 , 92.01 على التوالي وفي عام 1975 لم تعمل المحطة D في حين سجل السقيط السنوي في المحطات A و B و C المقادير 91.11 , 72.23 , 79.89 سم على التوالي , إحسب مقدار السقيط في المحطة D في تلك السنة ؟

الحل /

بما أن قيم سقوط المطر الاعتيادي تختلف بمقدار أكبر من 10 % , عليه تعتمد طريقة النسبة الاعتيادية

$$P_D = 92.01/3\ (91.11/80.97 + 72.23/67.59 + 79.89/76.28) = 99.41\ cm.$$

6.2. فحص تجانس السجلات Test for Consistency of Records:

إذا تعرضت الظروف المتعلقة بتسجيل محطة سقوط المطر خلال فترة الرصد إلى تغييرات مهمة , فإن التناقض في معلومات سقوط المطر سوف يظهر في تلك المحطة , وهذا التناقض سيبدو جلياً إبتداءً من فترة حصول التغير المهم , ومن الأسباب الشائعة لهذا التناقض :

1 . إنتقال محطة القياس المطرية إلى موقع جديد.

2 . المحطات المجاورة جرى فيها تغيير ملحوظ.

3 . تغيير في طبيعة المنطقة بسبب الكوارث مثل حرائق الغابات والزلازل.

4 . حدوث خطأ في القراءات في تأريخ محدد.

حيث يتم تدقيق التناقض في التسجيل بطريقة المنحني التراكمي المزدوج Double Mass Curve Technique :

أ. يحسب السقيط المتراكم للمحطة X أي (ΣP_x) و القيم المتراكمة لمعدل مجموعة المحطات الاساسية (ΣP_{av}) بدءً من آخر تسجيل.

ب. ترسم قيم (ΣP_x) مقابل (ΣP_{av})

يشير الانكسار المقرر في ميل المنحني إلى التغيير في نظام السقيط للمحطة X و تعدل قيم السقيط للمحطة X خارج فترة النظام بإستعمال العلاقة :

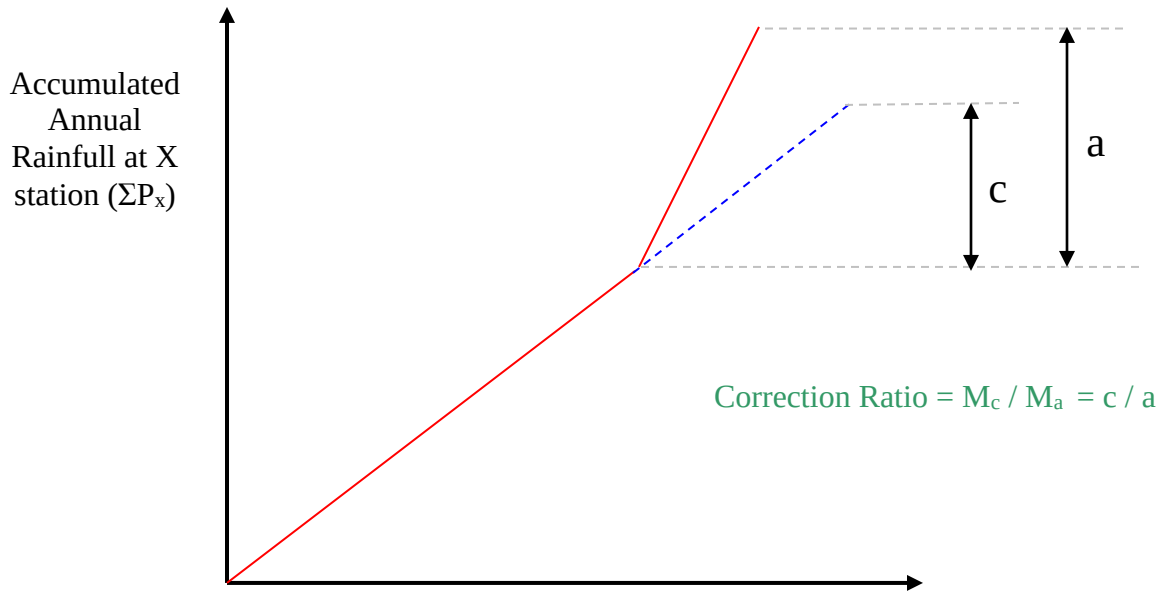
$$P_{cx} = P_x * M_c / M_a$$

P_{cx} : السقيط المصحح في أي فترة t_1 في المحطة x

P_x : السقيط المسجل الاصلي في فترة t_1 في المحطة x

M_c : الميل المصحح للمنحني التراكمي المزدوج

M_a : الميل الأصلي للمنحني التراكمي المزدوج



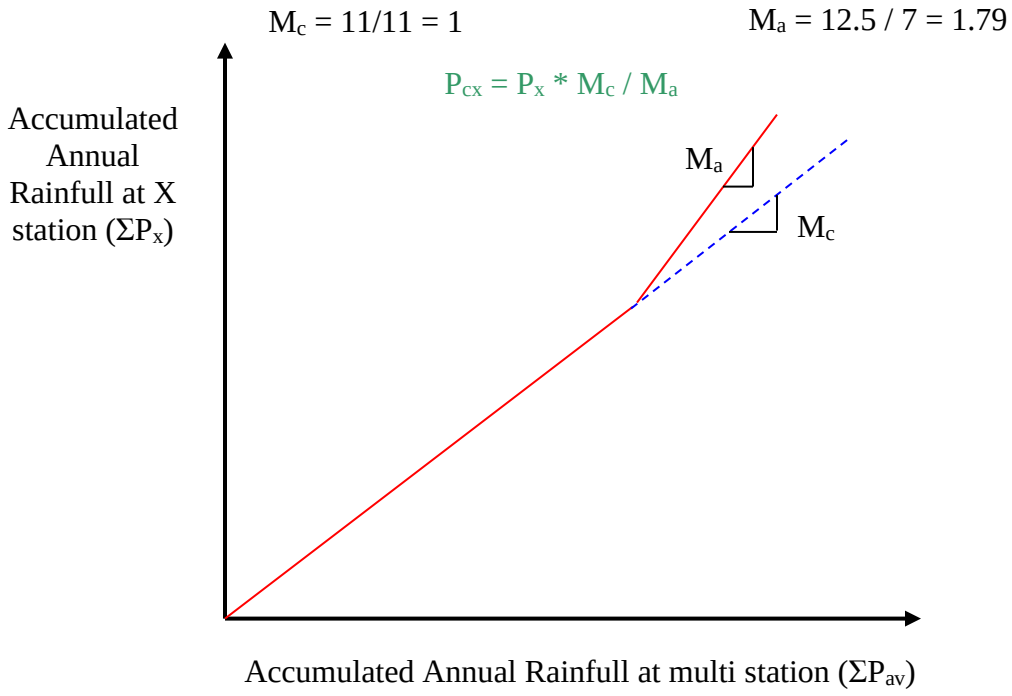
مثال (3) / إفحص تجانس السجلات للمعلومات المطرية المبينة للمحطة D مع المحطات الأخرى ، ثم صحح المعلومات بإستخدام طريقة المنحني التراكمي المزدوج للفترة المحصورة بين شهر آيار 1996 و شهر نيسان 1997.

الشهر	المحطة A	المحطة B	المحطة C	المحطة D
آيار 1996	79.7	77.2	78.4	140.15
حزيران 1996	69.4	66.5	67.9	125.2
تموز 1996	65.3	61.3	60	123
آب 1996	71.7	68.1	62.3	116.9
أيلول 1996	83	80.1	81.8	155.1
تشرين أول 1996	82.7	85.6	87.3	168.1
تشرين ثاني 1996	89.4	90.1	89.9	88.6
كانون أول 1996	91.5	93.7	94.7	93.7
كانون ثاني 1997	92.4	91.5	92.8	93.5
شباط 1997	90.1	90.3	89.9	90.2
آذار 1997	82.3	83.6	84.9	83.5
نيسان 1997	80.7	83.4	87.1	82.4

الحل /

الشهر	P_{av}	ΣP_{av}	ΣP_x	P_{cx}
نيسان 1997	83.73	83.73	82.4	82.4
آذار 1997	83.6	167.33	165.9	83.5
شباط 1997	90.1	257.43	256.1	90.2
كانون ثاني 1997	92.23	349.66	349.6	93.5
كانون أول 1996	93.3	442.96	443.3	93.7
تشرين ثاني 1996	89.8	532.76	531.9	88.6
تشرين أول 1996	85.2	617.96	700	94.14
أيلول 1996	81.63	699.59	855.1	86.86
آب 1996	67.37	766.96	972	65.46
تموز 1996	62.2	829.16	1095	68.88
حزيران 1996	67.93	897.09	1220.2	70.11
آيار 1996	78.43	975.52	1360.35	78.48

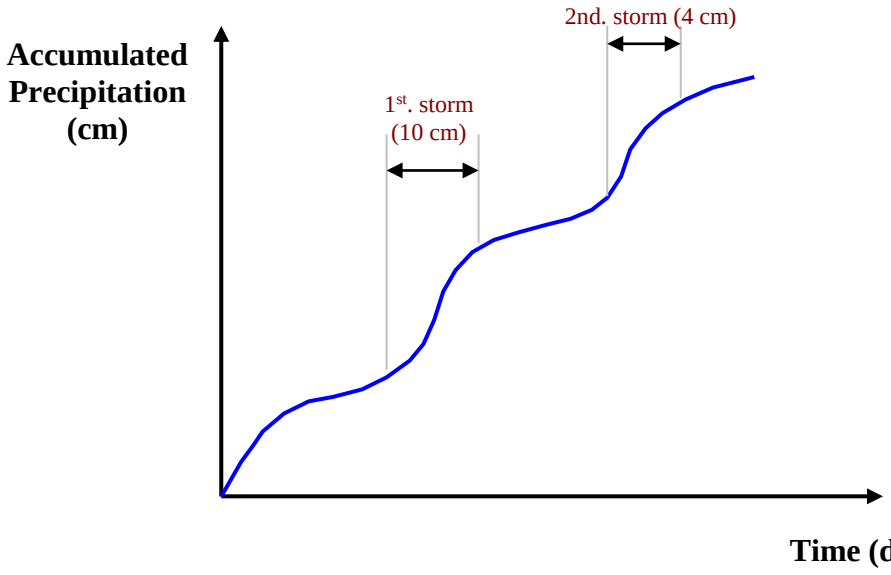
حدث التغيير في النظام في تشرين أول 1996



2 . 7 . طرق عرض البيانات المطرية Rainfall Data-show Methods :

1. المنحني التراكمي للمطر Accumulated Rainfall Curve:

عبارة عن رسم السقيط المتراكم مقابل الزمن ويرسم حسب التسلسل الزمني عادةً ، كما في الشكل :



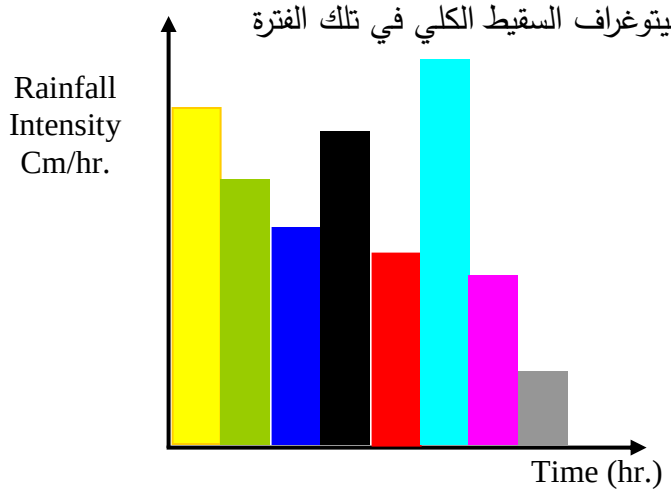
يعطي المنحني التراكمي معلومات عن : 1 . مقدار الزخة المطرية (cm) 2. إستدامتها بالأيام

3 . شدة المطر في مختلف الفترات الزمنية من معرفة إنحدار المنحني (cm/hr.)

2. الهيتوغراف (مخطط المطر) Hyetograph: عبارة عن رسم شدة المطر مقابل الزمن ، والهيتوغراف مشتق من المنحني التراكمي و يعرض على شكل خطوط عمودية (Bar Chart).

يعد الهيتوغراف طريقة مناسبة :

- عرض خصائص الزخة المطرية (مثلاً أول 8 ساعات الشدة المطرية 10 سم / ساعة)
- التنبؤ عن الفيضانات العالية
- تمثل المساحة تحت الهيتوغراف السقيط الكلي في تلك الفترة



- تعتمد الفترة الزمنية للاستدامة على الهدف من الدراسة

2. 8 . معدل السقيط فوق مساحة Average Precipitation over Area :

يتم حساب السقيط فوق مساحة معينة بإحدى الطرق الآتية :

1. طريقة المعدل الحسابي Arithmatic Mean Method :

$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + ... + P_i + ... + P_n}{N} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i$$

حيث أن P_1 و P_2 و ....و P_i و....وP_N هي قيم سقوط المطر في فترة معينة

N : عدد المحطات

عملياً، فإن إستخدام هذه الطريقة قليل جداً لعدم مقاربة نتائجها مع الواقع.

2 . طريقة معدل ثيسن Thiessen Average Method:

تمكن هذه بطريقة استخدام بيانات بعض المحطات المجاورة عند استخراج المتوسطات الموزونة. حيث نصل بين المحطات داخل المنطقة المعنية، أو التي تقع على أطرافها بخطوط مستقيمة, ثم ننصف تلك المستقيمات, ونقيم من المنتصف أعمدة تلتقي بالأعمدة المنصفة للخطوط الواصلة بين المحطات الأخرى المجاورة, وبهذا نكون قد قسمنا المنطقة إلى مضلعات, يقع بمنتصف كل مضلع محطة رصد مطرية, ثم نقوم بحساب نسبة مساحة كل مضلع من المساحة الكلية للمنطقة. ثم نضرب معدل التساقط في كل محطة بتلك النسبة, ثم نجمع حاصل الضرب ويكون الرقم المستخرج كمية التساقط على كل المنطقة. أو نقوم بجمع كمية التساقط للمحطات جميعها, ونضرب كمية التساقط في كل محطة بمساحة مضلعها, ونجمع حاصل الضرب بينهما, ثم نقسم حاصل الجمع الناتج على المساحة الكلية للمنطقة, ويكون الناتج هو مقدار متوسط الأمطار الموزونة. ورغم أن هذه الطريقة تعطي نتائج جيدة إلا أنه يعاب عليها عدم مرونتها حيث يجب رسم خريطة وتحديد مناطق التأثير في كل مرة يتغير فيها مكان أحد المحطات

$$\bar{P} = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + ... + P_nA_n}{(A_1 + A_2 + ... + A_n)} = \frac{\sum_{i=1}^{M} P_iA_i}{A} = \sum_{i=1}^{M} P_i \frac{A_i}{A}$$

تفضل طريقة ثيسن على طريقة المعدل الحسابي لأنها تعطي بعض الوزن لمختلف المحطات و بشكل منطقي و فضلاً عن ذلك فإن محطات القياس خارج الجابية يمكن الإستفادة منها بصورة مؤثرة.

3 . طريقة خطوط تساوي المطر Isohyetal LineMethod:

تعتبر هذه الطريقة من أدق الطرق في حساب متوسط كمية الأمطار وتتلخص في ضرب متوسط الأمطار بين كل خطي تساوي مطري متجاورين في مساحة المنطقة الواقعة بين هذين الخطين وبجمع نواتج الضرب لمنطقة معينة تغطيها خطوط التساوي المطرية وقسمتها على المساحة الكلية للمنطقة ينتج متوسط عمق الأمطار الساقطة

خط تساوي المطر عبارة عن خط يربط نقاط متساوية في مقدار المطر.

$$\bar{P} = \frac{a_1\left(\frac{P_1+P_2}{2}\right)+a_2\left(\frac{P_2+P_3}{2}\right)+.....+a_n\left(\frac{P_{n-1}+P_n}{2}\right)}{A}$$

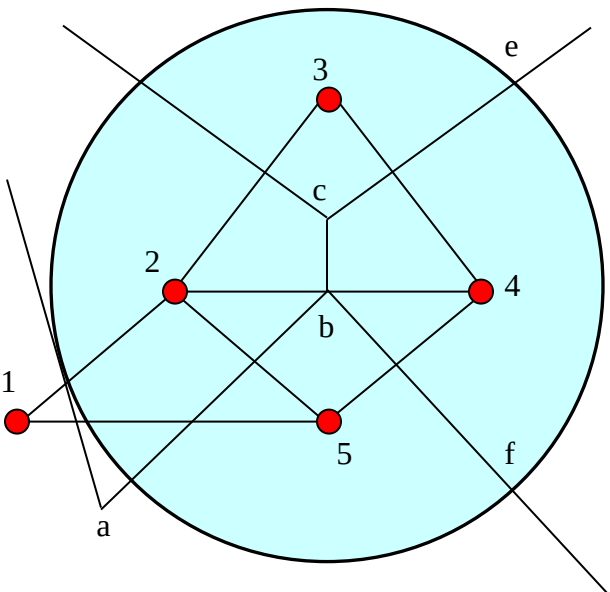
a_1 و a_2 و a_3 و..... a_n المساحات الداخلية المحصورة بين خطوط تساوي المطر.

تفضل هذه الطريقة على الطريقتين الأخريين خاصة عندما يكون هناك أعداد كبيرة من محطات مقاييس المطر.

مثال (4) / جابية مساحتها تساوي مساحة دائرة قطرها 100 كم تقريباً، تحتوي على محطات قياس المطر داخلها وعلى محطة واحدة خارجية، فإذا كانت إحداثيات مركز الجابية و المحطات الخمس هي كما مدرج أدناه وأن السقيط السنوي للمحطات الخمس لعام 1980 معلومة، إحسب معدل السقيط السنوي بطريقة ثيسن؟

المحطة	المركز	1	2	3	4	5
الإحداثيات	(100,100)	(30,80)	(70,100)	(100,140)	(130,100)	(100,70)
السقيط (سم)	-	85	135.2	95.3	146.4	102.2

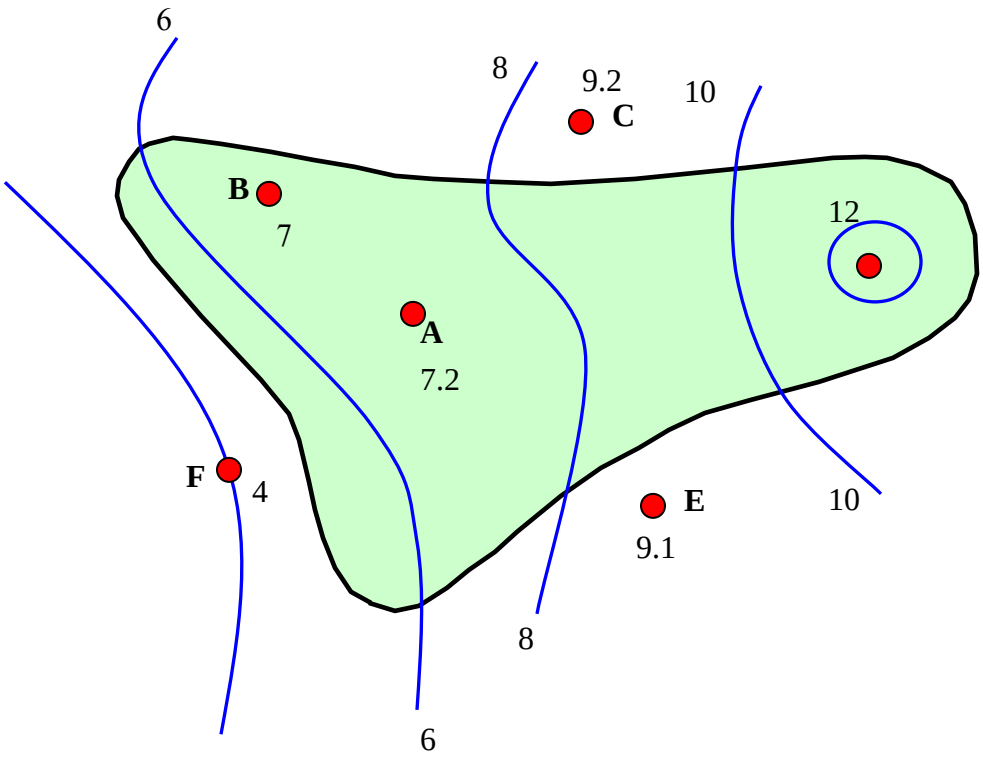
الحل /



Station	Boundary of Area	Area (Km^2)	Fraction of Total Area	Rainfall	Weighted P (cm)
1	–	–	–	85	–
2	Abcd	2141	0.2726	135.2	36.86
3	Dce	1609	0.2049	95.3	19.53
4	Ecbf	2141	0.2726	146.4	39.91
5	Fba	1963	0.2499	102.2	25.54
Total		**7854**	**1.0000**		**121.84**

Mean Precipitation = 121.84 cm

مثال (5) / إحسب معدل السقيط نتيجةً للمطر علماً أن الخطوط الكنتورية المطرية لمساحة الجابية موضحة في الشكل أدناه، و المساحة المحيطة بالخطوط المطرية مدرجة بالجدول أدناه:



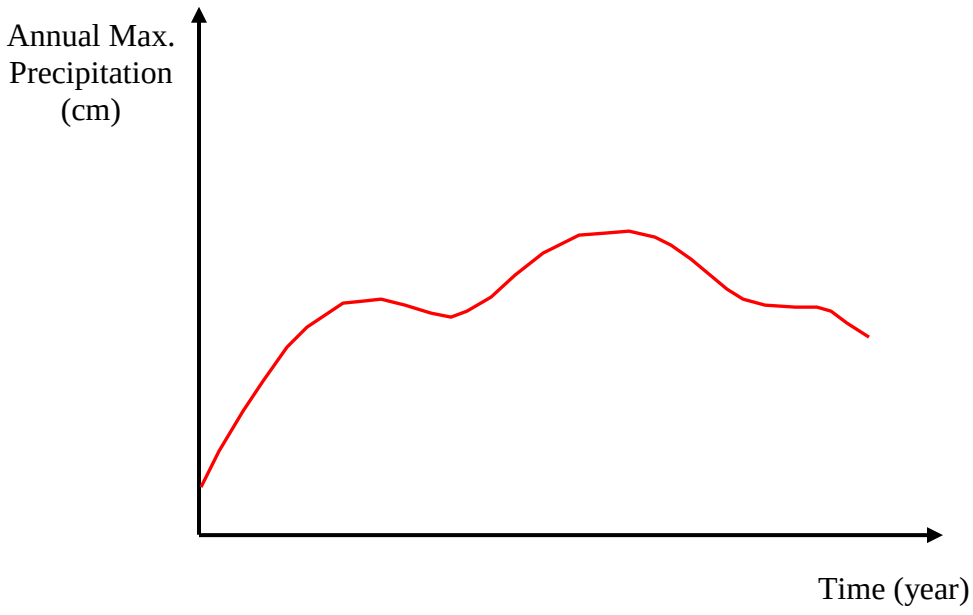
الحل /

العمود 5 = العمود 2 *العمود 4	Fraction of Area %(4)	Area (Km^2) (3)	2	1
0.8	0.0667	30	12	12
3.422	0.3111	140	11	12– 10
1.6	0.1778	80	9	10 – 8
2.8	0.4000	180	7	8 – 6
0.222	0.0444	20	5	6 – 4
8.84 cm		**450**		

2. 9 . تردد سقوط المطر الموقعي :

في كثير من تطبيقات الهندسة الهيدروليكية مثل الفيضانات ، يكون من الضروري معرفة إحتمال سقوط عاصفة مطرية شديدة كأن تكون أقصى عاصفة إستدامتها 24 ساعة وإن مثل هذه المعلومات يمكن الحصول عليها من تحليل تردد البيانات الخاصة بالمطر الموقعي.

حيث ترسم العلاقة بين القيم القصوى السنوية للعاصفة المطرية بإستدامة (24) ساعة مثلاً إلى الزمن بالسنة حيث يعرف المنحني الناتج بالسلاسل السنوية للعاصفة المطرية.



إن إحتمال حصول حادثة ما في هذه السلسلة يقع دراستها بتحليل التردد لبيانات هذه السلسلة السنوية و بالطرق الإحصائية المعروفة، إذ أن إحتمال حصول حادثة ما (عاصفة مطرية) مقدارها يساوي أو يتجاوز قيمة معينة X يرمز لها بالرمز P وعليه تكون فترة التكرار recurrence interval (فترة العودة) :

$$T = 1/P \quad \text{.....(1)}$$

مثلاً، إذا أفترض أن فترة العاصفة المطرية التي تصل (20) سم في (24) ساعة تساوي (10) سنوات عند محطة معينة A فإن هذا يعني أن معدل مقادير المطر تساوي أو تتجاوز (20) سم في (24) ساعة تحدث مرة واحدة كل (10) سنوات أو (10) مرات كل (100) سنة وهذا لايعني بالتحديد حصولها كل (10) سنوات و عليه فإن إحتمال حصول العاصفة المطرية أعلاه في أي سنة في محطة A هو :

$$P = 1/T \quad \text{..... (2)}$$

عدم إحتمال حصول الحادثة P هو :

$$q = 1-P \quad \text{..... (3)}$$

- إحتمال حصول الحادثة r في n من السنين المتعاقبة هو:

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-r)!r!} P^r q^{(n-r)} \quad \text{..... (4)}$$

وعلى سبيل المثال :

أ. إن إحتمال حصول حادثة ذات إحتمالية تجاوز P و تحصل مرتين في n من السنين المتعاقبة هي:

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-2)!2!} P^2 q^{(n-2)} \quad \text{.....(4-a)}$$

ب. إن إحتمال عدم حصول الحادثة في كل من n من السنوات المتعاقبة هي :

$$P_{0,n} = q^n = (1-P)^n \quad \text{.....(4-b)}$$

ج. إن إحتمال حصول الحادثة مرة واحدة على الأقل في n من السنوات هي :

$$P_1 = 1-q^n = 1-(1-P)^n \quad \text{.....(4-c)}$$

مثال (6)// التحليلات لأقصى عمق سقوط مطر ليوم واحد في منطقة معينة بينت أن العمق 280 ملم له فترة عودة لكل 50 سنة، إحسب الإحتمالية بحدوث عمق سقوط مطر ليوم واحد مساوٍ أو يزيد على 280 ملم :

أ. مرة في 20 سنة متوالية

ب. مرتين في 15 سنة متوالية

ج. مرة واحدة على الأقل في 20 سنة متعاقبة

الحل /

أ.

$n = 20$, $r = 1$, $T = 50$, $P = 1/50 = 0.02$

$P_{1,20} = (20\ !)/(19!\ *\ 1!)\ *\ 0.02\ *\ (0.98)^{19} = 0.272$

ب.

$n = 15$, $r = 2$

$P_{2,15} = (15!)/(13!*2!)*(0{,}02)^2\ *\ (0.98)^{13} = 0.0323$

ج.

$P_1 = 1- (0.98)^{20} = 0.332$

2. 10. صيغة تعيين المواقع Plotting Position Criterea :

الهدف من تحليلات التردد لسلسلة سنوية هو إستخراج العلاقة بين مقدار الحادثة و إحتماليتها المتجاوزة، و هذه التحليلات يمكن عملها إما بطريقة تجريبية (إختبارية) أو نظرية تحليلية.

إن إحدى التقنيات البسيطة هي أن تنظم السلسلة السنوية القصوى بصيغة تنازلية أو تصاعدية يعطى له تسلسل m (أي أن المدخل الأول m = 1 والثاني m = 2 و هكذا إلى آخر حادثة والتي فيها m = N عدد سنوات التسجيل).

الإحتمالية P للحادثة مساوية أو تزيد أعطيت بقانون ويبل (Weibull Formula)

$P = m / (N+1)$ and $T = 1 / P$

مثال (6) / للمحطة A السجلات السنوية لأقصى سقوط مطر لـ – 24 ساعة كما أعطيت أدناه:

أ. إحسب أقصى سقوط مطر لـ – 24 ساعة مع فترات عودة 13 و 50 سنة

ب. ماهي الإحتمالية لسقوط المطر بمقدار يساوي أو يتجاوز 10 سم يحدث في 24 ساعة في المحطة A .

Year	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Rainfall (cm)	13	12	7.6	14.3	16	9.6	8	12.5	11.2	8.9	8.9
Year	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Rainfall (cm)	7.8	9	10.2	8.5	7.5	6	8.4	10.8	10.6	8.3	9.5

الحل /

m	Rainfall (cm)	P= m/(N+1)	T=1/P	m	Rainfall (cm)	P= m/(N+1)	T=1/P
1	16	0.043	23.26	12	9	0.522	1.92
2	14.3	0.087	11.5	13	8.9	-	-
3	13	0.13	7.67	14	8.9	0.609	1.64
4	12.5	0.174	5.75	15	8.5	0.652	1.53
5	12	0.217	4.6	16	8.4	0.696	1.44
6	11.2	0.261	3.83	17	8.3	0.739	1.35
7	10.8	0.304	3.29	18	8	0.783	1.28
8	10.6	0.348	2.88	19	7.8	0.826	1.21
9	10.2	0.391	2.56	20	7.6	0.87	1.15
10	9.6	0.435	2.3	21	7.5	0.913	1.1
11	9.5	0.478	2.09	22	6	0.957	1.05

من المنحني (محور Y مقياس إعتيادي (Rainfall) و محور X (Return Period (T)) مقياس لوغاريتمي)

:

أ.

مقدار سقوط المطر (سم)	فترة العودة (سنة)
14.55	13
18	50

ب . سقوط مطر = 10 سم ، من المنحني قيمة T = 2.4 سنة

P = 0.417

الفصل الثالث

السحوبات من السقيط

(Abstraction from Precipitation)

3. 1.عملية التبخر Evaporation :

هي العملية التي يتحول فيها السائل إلى الحالة الغازية عند السطح الحر قبل نقطة الغليان و خلال إنتقال الطاقة الحرارية، وإن صافي جزيئات الماء المتحولة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية تكون التبخر.

إذن فالتبخر هو عملية تبريد بشرط أن الحرارة الكامنة للتبخر (تقريباً 585 سعرة / غم للماء المتبخر) يجب أن تزود من كتلة الماء.

إن معدل التبخر يعتمد على :

1. ضغط البخار على سطح الماء و الهواء الذي فوقه.
2. درجات حرارة الماء و الهواء.
3. سرعة الرياح.
4. الضغط الجوي.
5. نوعية الماء.
6. حجم الكتلة المائية.

والتبخر هو تحول جزيئات الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، أي أن عملية التبخير (انتقال جزيئات الماء من سطوح التبخر إلى الجو) وعملية التكثيف (انتقال جزيئات الماء من الجو إلى سطوح التبخر) تحدثان معا في نفس الوقت. أي أن هناك تبادل مستمر في جزيئات الماء بين سطوح التبخر والجو المحيط بها ولذلك فان المختصين Simultaneously في العلوم الهيدرولوجية يعرفون التبخر بأنه صافي معدل انتقال جزيئات بخار الماء من سطوح التبخير إلى الجو. ويتأثر معدل التبخر تأثيرا مباشرا بالعوامل المناخية مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والرياح والرطوبة الجوية, هذا بالإضافة إلى طبيعة السطوح التي يحدث منها التبخر.

وكما هو معروف, فانه يلزم حوالي 580 كالوري من الطاقة الحرارية لتحويل جرام واحد من الماء السائل إلى الحالة الغازية عند درجة الحرارة والضغوط العادية وذلك تحت ظروف السطوح المائية الحرة Free water surface ، وبالطبع فان كمية اكبر من تلك الطاقة تلزم عند تحويل الماء السائل إلى بخار في حالة تبخر سطوح التربة غير المشبع بالماء. ويرتبط وضغط بخار الماء في الهواء المحيط e_wمعدل ألفاقد بالبخار ارتباطا مباشرا بالفرق بين ضغط بخار الماء عند سطح التبخير ويستمر البخار طالما وجد هذا الفرق، ويتوقف بالطبع إذا تساوى ضغط بخار الماء عند سطح التبخر مع ضغط بخار e_a $e_w = e_a$الماء في الهواء المحيط أي عند الوصول لحالة الاتزان

أما تأثير الرياح على معدلات التبخير فيرجع إلى قدرتها على تبديد جزيئات بخار الماء المتراكمة في الهواء المحيط بالسطوح التي يحدث منها التبخر بمعنى أنها تحرك الهواء الذي يحمل نسبة رطوبة عالية بعيدا ليحل محلة هواء جاف مما يزيد من انحدار فرق الجهد في ضغط بخار الماء وبالتالي زيادة معدل فقد الماء بالتبخير، كما تعمل الرياح أثناء مرورها فوق المسطحات المائية على تطاير قطرات الماء مع الهواء مما يسهل عملية تبخرها، ولقد بينت الدراسات أنه كلما زادت سرعة الرياح زاد التبخر حيث بلغ 7.8 غرام/100سم مكعب من سطح التربة عندما كانت سرعة الرياح 120 /الساعة، بينما انخفضت عندما أصبحت الرياح ساكنة إلى 0.3 غرام/سم مكعب (أي بفارق مقداره 7.5 غرام/سم مكعب).

ويتأثر معدل التبخر بطبيعة السطح الذي يحدث منه التبخير حيث يرتبط بما يسمى بفرصة التبخير Evaporation opportunity ، فسطح الماء الحر تتمثل فيه فرصة تبخير بنسبة 100% في حين أن سطوح التربة تختلف فرص التبخير لها باختلاف المحتوى الرطوبي بها, فيقترب سطح الأرض المشبع بالماء في فرصة التبخير من سطوح الماء الحرة ولكن ذلك يقل كلما قل المحتوى الرطوبي بالجفاف أو عندما تقل معدلات سريان الماء إلى السطح من الطبقات التحتية لتعويض الفاقد بالتبخر, كما أن التبخير من السطوح الجليدية يتحكم به عوامل أكثر تعقيدا من تلك التي تؤثر في التبخر من سطوح الماء الحرة وتؤثر نوعية الماء المتبخر خصوصا فيما يتعلق بنسبة الأملاح الذائبة فيه على معدلات التبخير حيث يختلف ضغط بخار الماء العذب عن ضغط بخار الماء المالح, فمياه البحار التي تحتوي على 35 ألف جزء في المليون من الأملاح يقل ضغط بخار الماء لها بنسبة 2% عن المياه العذبة. وبذلك, فان معدلات التبخر تحت ظروف المياه المالحة تكون اقل من معدل التبخر تحت ظروف المياه الحلوة تحت نفس درجات الحرارة والضغوط

1. **الضغط البخاري Vapor Pressure :** يتناسب معدل التبخر مع الفرق بين ضغط البخار المشبع عند درجة حرارة الماء e_w و ضغط البخار الحقيقي في الهواء e_a

$$E_L = C(e_w - e_a)$$ (معادلة دالتون للتبخر)

وحداتها بالملم زئبق e_w , e_a , ثابت : C , معدل التبخر (ملم/يوم) : E_L

حيث يستمر التبخر لحين وصول $e_a = e_w$ ، أما عندما تكون $e_w < e_a$ يحدث التكاثف.

2 . **درجة الحرارة Temperature:** تزداد سرعة التبخر مع زيادة درجة الحرارة عند بقاء بقية العوامل ثابتة.

3 . **الرياح Wind:** الرياح تساعد في رفع بخار الماء من منطقة التبخر ومن ثم تخلق مدى أكبر للتبخر فإذا كانت سرعة الرياح كبيرة زادت معدلات التبخر لحد السرعة الحرجة والتي بعدها لا يكون لزيادة الرياح تأثير على سرعة التبخر.

4 . **الضغط الجوي Atmospheric Pressure:** إذا كانت بقية العوامل ثابتة فإن الإنخفاض في الضغط البارومتري عند المرتفعات العالية يزيد من التبخر.

5 . **الأملاح الذائبة Soluble Salts :** عند إذابة الملح في الماء فإن الضغط البخاري للمحلول يكون أقل مما هو عليه في حالة الماء النقي ولذا يقلل من معدله في تبخر الماء.

3. 2.مقاييس التبخر Evaporimeter :

يجري قياس مقدار الماء المتبخر من سطح الماء بالطرق الآتية :

1. إستخدام بيانات قياس التبخر
2. معادلات التبخر التجريبية
3. الطرق التحليلية

---

3. 3.محطات قياس التبخر Evaporation Measurement Stations :

توصي منظمة WMO أن يكون الحد الادنى من توزيع محطات قياس التبخر كما يأتي:

1. المناطق الجافة : محطة واحدة لكل 30000 كم^2.
2. المناطق المعتدلة – الرطبة : محطة واحدة لكل 50000 كم^2.
3. المناطق الباردة : محطة واحدة لكل 100000 كم^2.

---

3. 4.معادلات التبخر التجريبية Empirical Evaporation Eqs.:

تتوافر عدة من المعادلات التجريبية الموضوعة لحساب كمية التبخر بإستخدام بيانات الأنواء الجوية المتوفرة، و معظم هذه المعادلات تستند على معادلة دالتون و التي يعبر عنها بالشكل العام الآتي:

$$E_L = k\, f(u)\, (e_w - e_a)$$

حيث k : معامل ، f(u) : دالة تصحيح لسرعة الرياح

3 4. 1. معادلة ماير Meyer Eq. :

$$E_L = k_m\, (e_w - e_a)\, (1 + U_9/16)$$

U_9 : المتوسط الشهري لسرعة الرياح (كم/ساعة) عند إرتفاع 9 متر فوق الأرض

K_m : معامل تتراوح قيمته بين (0.36 للبحيرات الكبيرة و 0.5 للبحيرات الضحلة الصغيرة)

3 4. 2 . معادلة روهور Rohwer Eq. :

$$E_L = 0.771\, (1.465 - 0.000732\, P_a)\, (0.44 + 0.0733\, V_o)\, (e_w - e_a)$$

P_a : معدل قراءة البارومیتر (ملم زئبق)

V_o : معدل سرعة الريح (كم/ساعة) عند مستوى الارض والتي يمكن إعتبارها نفس السرعة على إرتفاع 0.6 م

ملاحظة / تستخرج قيم e_w من جدول (3 – 3) ص[103] في الكتاب المنهجي.

كما تستخرج سرعة الرياح على أي إرتفاع (U_h) بمعلومية أي سرعة رياح (U) و حسب المعادلة التالية:

$$U_h = U\, (h)^{1/7}$$

مثال (1) / بحيرة ماء مساحتها السطحية 250 هكتاراً تمتلك معدلات القيم الآتية خلال إسبوع، درجة الحرارة = 20^0 م الرطوبة النسبية = 40 % ، سرعة الرياح على إرتفاع 1 م فوق الأرض = 16 كم/ساعة ، إحسب المعدل اليومي للتبخر من البحيرة و حجم الماء المتبخر خلال ذلك الإسبوع ؟

الحل / من الجدول (3-3) : e_w = 17.54 ملم زئبق

$e_a = 0.4 * 17.54 = 7.02$ mmHg

$U_9 = U_1 * (9)^{1/7} = 16 * (9)^{1/7} = 21.9$ km/hr.

بإستخدام معادلة ماير :

$E_L = 0.36\ (17.54 - 7.02)\ (1 + 21.9/16) = 8.97$ mm/day

إذن حجم الماء المتبخر في 7 أيام ($م^3$) هو :

$7 * (8.97/1000) * 250 * 10^{-4} = 157000\ m^3$

3. 5. الطرق التحليلية لتقديرالتبخر Analytical methods for estimating Evaporation:

تصنف الطرق التحليلية لتقدير تبخر البحيرات إلى ثلاثة فئات :

1. طريقة الموازنة المائية
2. طريقة موازنة الطاقة
3. طريقة إنتقال الكتلة

---

1 . طريقة الموازنة المائية Water Budget Method:

$$P + V_{ig} + V_{is} = V_{og} + V_{os} + E_L + \Delta S + T_L$$

Or : $$E_L = P + (V_{is} - V_{so}) + (V_{ig} - v_{og}) - T_L - \Delta S$$

P : السقيط اليومي ، V_{ig} : جريان المياه الجوفية اليومي ، V_{og} : جريان التسرب الخارج (Seepage)

V_{is} : الجريان السطحي الداخل إلى البحيرة (التصريف اليومي) ، E_L : التبخر اليومي للبحيرة

V_{os} : الجريان السطحي اليومي الخارج من البحيرة ، T_L : فقدان النتح اليومي

ΔS : الزيادة في خزين البحيرة اليومي

ملاحظة / إن جميع الكميات هي بوحدة حجوم (m^3) أو بوحدات عمق (ملم) فوق مساحة معلومة.

---

3. 6. معادلات التبخرالكلي .Evapotranspiration Eqs:

تعرف عملية النتح من الناحية الفسيولوجية بأنها تسرب بخار الماء خلال ثغور النبات أو المسافات البينية لخلايا نسيج الأوراق – وتستخلص النباتات الماء من قطاع التربة بكميات متفاوتة بواسطة مجاميعها الجذرية ليستعمل في العمليات الحيوية اثنا مراحل النمو المختلفة أو تخزن في أنسجتها أو يخرج إلى الجو في عمليات النتح. ويمثل النتح الجزء الأكبر من الماء الممتص بواسطة الجذور فبينما لا يتعدى ما يحتاجه النبات في نشاطاته الحيوية 5% من مجموع الماء الممتص نجد أن الماء الفاقد بالنتح يمثل 95% من هذا الماء.

وكما في عملية التبخر فان العوامل المناخية كدرجة الحرارة والرطوبة الجوية وسرعة الرياح كلها عوامل تؤثر تأثيرا مباشرا في معدل النتح من النباتات, هذا بالإضافة إلى العوامل الأخرى المتعلقة بطبيعة النبات نفسه من حيث انتشار مجموعه الجذري وكثافة مجموعه الخضري والمساحة الكلية للأوراق، كذلك يتأثر معدل النتح بالمحتوى الرطوبي في التربة خصوصا إذا كان هذا المحتوى قريبا من نقطة الذبول.

وعادة ما يهتم الهيدرولوجي في حالة النباتات بتقدير ما يسمى بالاستهلاك المائي (Consumptive use) لها، بصرف النظر عما إذا كان هذا الاستهلاك جاء نتيجة للنتح من ثغور النباتات أو للجزء من سطح التربة. وقد سمى penman كمية ما يستهلكه النبات من ماء تحت ظروف محتوى رطوبي جيد لا يجعل النبات يعاني في أي فترة من فترات نموه بأي عطش بالتبخر – والنتح الممكن (Potential evaporanspiration) حيث يعتبره كثير من الباحثين انه يساوي تقريبا التبخر من سطح الماء الحر المقاس بواسطة وعاء التبخر الخاص بمكتب الأرصاد الأمريكي (Class A. Pan) وبالطبع فان هذا الافتراض قد يكون بعيدا عن الحقيقة حيث أن الأشعة المنعكسة من الأراضي المزروعة Albedoتصل إلى حوالي 45% من الإشعاع الشمسي الساقط وهذا يختلف كثيرا عن كمية الإشعاع المنعكسة من السطوح المائية.

ويعتمد الهيدرولوجيون في تقدير الاستهلاك المائي على المعادلات التجريبية مثل معادلة بلاني كريدل أو معادلة بنمان وتعتبر طريقة (بلاني – كريدل) من أكثر الطرق التجريبية انتشار، وتم فيها ايجاد العلاقة بين الاستهلاك المائي للنباتات ومتوسط درجة الحرارة الشهري وكمية ضوء النهار كما يتضح من المعادلة التالية:

$$C\ U = \Sigma K\ p\ t$$

هو الاستهلاك المائي الشهري أو الموسمي لنبات ما $C\ U$ حيث

معمل ثابت يتوقف على نوع النبات والموسم الزراعي ومنطقة زراعته K ,

نسبة عدد ساعات النهار في الشهر المراد تقدير الاستهلاك المائي خلاله إلى عددها في ألسنه وهي p

متوسط درجة الحرارة الشهري (فهرنهايت)وهي t

3 .6 .1. معادلة بنمان Penman Equation:

$$PET = \frac{AH_n + E_a Y}{A + Y}$$

PET : التبخر الكلي الكامن اليومي (mm/day)

A : إنحدار منحني ضغط البخار المشبع مقابل درجة الحرارة ($mmHg/C^o$) يستخرج من جدول (3-3) ص[103]

Y : ثابت مقياس رطوبة الهواء = 0.49 ($mmHg/C^o$)

H_n : صافي الإشعاع (ملم) من مقدار الماء المتبخر لكل يوم

E_a : معيار يشمل سرعة الرياح و العجز في الإشباع

$$H_n = H_a(1- r) (a+b(n/N)) - \sigma T_a^4 (0.56 - 0.092\sqrt{e_a}) (0.1 + 0.9 (n/N))$$

$$a = 0.29 \cos \Phi$$

H_a : أشعة الشمس الساقطة خارج الجو فوق السطح الأفقي (mm/day) (جدول (4-3) ص[104])

r : معامل الإنكسار = 0.25

b = 0.52 ، n = فترة إستدامة إضاءة الشمس الحقيقية (بالساعات)

N = أقصى عدد ساعات الإضاءة لضوء الشمس المتوقعة من جدول (5-3) ص[104]

σ = معامل ستيفن – بولتزمان = $2^* 10^{-9}$ ملم / يوم

$T_a = C^o + 273$

$$E_a = 0.35 (1 + (U_2 /160)) (e_w - e_a)$$

U_2 : معدل سرعة الرياح على إرتفاع 2 متر فوق الأرض (كم/يوم)

مثال (2) / إحسب التبخر الكلي الكامن من منطقة قرب مدينة في شهر نوفمبر (تشرين الثاني) ، بإستعمال معادلة بنمان علماً أن المعلومات المتوفرة هي :

خط عرض 4 28^o فوق سطح البحر ، المعدل الشهري لدرجة الحرارة 19 درجة مئوية ، الرطوبة النسبية 75%

معدل ساعات ضوء الشمس المسجلة (n) = 9 ساعة ، سرعة الرياح على إرتفاع 2 م = 85 كم / يوم

الحل /

من جدول (3-3) ⟸ A = 1 ملم / C^o و e_w = 16.5 ملم زئبق

من جدول (4-3) ⟸ H_a = 9.5 ملم / يوم

من جدول (5-3) ⟸ N = 10.716 ساعة

n / N = 9 / 10.716 = 0.84

e_a = 0.75 * 16.5 = 12.38 mmHg

$a = 0.29 \cos 28^{o}\ 4' = 0.2559$, $b = 0.52$, $\sigma = 2*10^{-9}$

$T_a = 273 + 19 = 292\ k$, $\sigma T_a^4 = 14.613$, $r = 0.25$

$H_n = 9.506(1 - 0.25)\ (0.2559 + 0.52*0.84) - 14.613(0.56 - 0.092\sqrt{12.38})(0.1 + 0.9\ (0.84))$

$H_n = 1.99$

$E_a = 0.35\ (1 + (85/100))\ (16.5 - 12.38) = 2.208$, $Y = 0.49$

$$PET = \frac{(1*1.99)+(0.49*2.208)}{(0.49+1)} = 2.06 \quad mm / day$$

3 .6 .2. معادلة بلاني – كريدل Blaney – Criddle formula :

$$PET = 2.54\ K\ F$$

$$F = \Sigma\ P_h\ \overline{T_f} / 100$$

K : معامل تجريبي يعتمد على نوع المحصول (جدول 3–7 ص[109])

F : المجموع الشهري لمعاملات المقنن المائي لتلك الفترة

P_h : نسبة شهرية للمعدل السنوي لساعات النهار و تعتمد على خط العرض للمنطقة (جدول 3–6 ص[109])

$\overline{T_f}$: المعدل الشهري لدرجات الحرارة (فهرنهايت)

مثال (3) / إستخدم معادلة بلاني – كريدل لحساب PET لفصل تشرين الثاني – شباط الذي ينمو فيه الحنطة لمنطقة معينة تقع على خط عرض 30^0 شمالاً وإن المعدل الشهري لدرجة الحرارة كما يأتي :

الشهر	تشرين 2	كانون 1	كانون 2	شباط
درجة الحرارة (م^0)	16.5	13	11	14.5

الحل /

من جدول (3–7) ص[109] ⟸ K للحنطة = 0.65

Month	T_f (F^o)	P_h	$P_h\ T_f / 100$
تشرين 2	61.7	7.19	4.44
كانون 1	55.4	7.15	3.96
كانون 2	51.8	7.3	3.78
شباط	58.1	7.03	4.08
			Total = 16.26

$PET = 2.54 * 0.65 * 16.26 = 26.85\ cm.$

3. 8. الإرتشاح Infiltration:

هو جريان الماء في الأرض خلال سطح التربة حيث يبزل جزء منها خلالها و هذه الحركة للماء من السطح إلى الداخل تسمى (الإرتشاح) و تلعب دوراً مهماً جداً في عملية السيح من خلال تأثيرها على التوقيت و التوزيع لمقدار الجريان السطحي (السيح) ، وفضلاً عن ذلك فإن الإرتشاح هي مرحلة أولية لشحن (تغذية) المياه الجوفية الطبيعية. و عملية الإرتشاح تتأثر بعدد كبير من العوامل من أهمها ما يأتي:

1. خصائص التربة Soil Properties : إن نوع التربة مثل الرمل أو الغرين أو الطين مثل نسيجها، تركيبها، المسامية تعد من الخصائص المهمة لتحديد كمية الماء المترشح فكلما كانت جزيئات التربة مفككة وذات مسامية عالية، كانت كمية الماء النافذة إلى داخل التربة أكبر.
2. سطح الدخول Surface of Entry : إن إرتطام قطرات المطر فوق سطح التربة تسبب إزاحة للدقائق الناعمة ، وهي بدورها يمكن أن تسد فراغات المسام في الطبقات العليا، ويعد هذا عاملاً مهماً يؤثر على سعة الإرتشاح، وعليه فإن السطح المغطى بالحشائش و بقية النباتات التي بإستطاعتها تقليل هذه العملية لها تأثير كبير وواضح على قيمة سعة الإرتشاح.
3. خصائص المائع Fluid Characteristics : يحتوي الماء المرتشح داخل التربة على عدد كبيرمن الشوائب الذائبة أو العالقة ، حيث أن تلوث الماء بالأملاح الذائبة مثلاً يمكن أن يؤثر على تركيب التربة و بدوره يؤثر على معدل الإرتشاح لكون أن مثل هذه الشوائب تسد المسامات الناعمة في التربة و تقلل سعة الإرتشاح فيها. أما درجة الحرارة فيبدو تأثيرها من حقيقة أنه يؤثر على لزوجة الماء والتي بدورها تؤثر على سرعة الإرتشاح.

---

3. 9. سعة الإرتشاح Infiltration Capacity:

يطلق على المعدل الأقصى الذي يمكن فيه لتربة أن تمتص الماء في وقت ما مصطلح (سعة الإرتشاح) ويرمز له بالرمز (f_c) ويقاس بوحدة (سم / ساعة) . ويعبر عن المعدل الحقيقي للإرتشاح (f) كما يأتي :

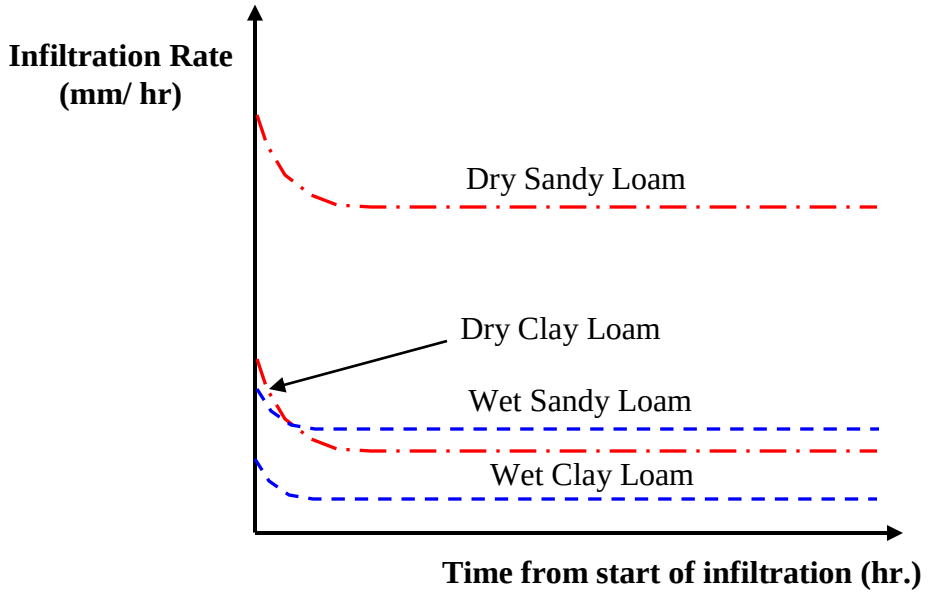
$f = f_c$ if $i > f_c$

$f = i$ if $i < f_c$

i : شدة المطر

3. 10. قيم سعة الإرتشاح Infiltration Capacity Values:

إن التغير المثالي في سعة الإرتشاح لنوعين من التربة ولظرفين أوليين وكما موضح في الشكل :



يتضح من الشكل أن سعة الإرتشاح للتربة المدروسة يقل مع الوقت منذ بداية المطر وإنها تقل مع درجة التشبع وإنها تعتمد على نوع التربة، حيث إشتق هورتون (Horton) عام 1930 معادلة تلاشي سعة الإرتشاح مع الوقت كما يأتي:

$$f_{ct} = f_{cf} + (f_{co} - f_{cf})\, e^{-k_h t} \qquad 0 \le t \le t_d$$

f_{ct} : سعة الإرتشاح في أي وقت من بداية سقوط المطر

f_{co} : سعة الإرتشاح الأولية عند $t = 0$

f_{cf} : القيمة النهائية لوضعية الإستقرار

t_d : فترة إستدامة المطر

k_h : ثابت يعتمد على خصائص التربة والغطاء النباتي

---

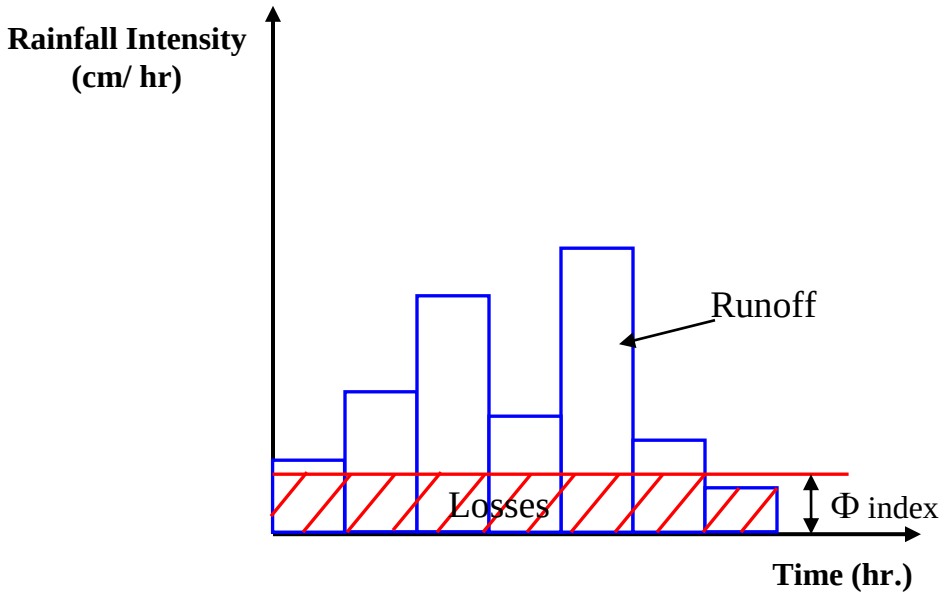
3. 11. أدلة الإرتشاح Infiltration Indices:

في الحسابات الهيدرولوجية التي تشمل الفيضانات، وجد من الملائم إستخدام قيمة ثابتة لسرعة الإرتشاح خلال فترة إستدامة المطر، ويطلق على معدل سرعة الإرتشاح (أدلة الإرتشاح) ويوجد نوعين من الأدلة شائعة الإستعمال :

1. دليل Φ
2. دليل W

1 . الدليل Φ : هو معدل سقوط المطر التي فوقها يكون حجم المطر الساقط مساوٍ لحجم السيح، ويشتق دليل Φ من توزيع المطر مع معرفة حجم السيح الناتج.

فإذا كانت شدة المطر (i) أقل من Φ تكون سرعة الإرتشاح مساوية لشدة المطر، أما إذا كانت شدة المطر (i) أكبر من Φ فيكون الفرق بين سقوط المطر والإرتشاح خلال فترة زمنية يمثل حجم السيح كما في الشكل :



مثال (4) / عاصفة مطرية عمقها 10 سم ذات سيح مباشر مقداره 5.8 سم ، فإذا كان توزيع العاصفة المطرية كما هو موضح أدناه ، إحسب دليل Φ للعاصفة المطرية

الوقت من البداية (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8
الزيادة في المطر الساقط في كل ساعة (cm)	0.4	0.9	1.5	2.3	1.8	1.6	1	0.5

الحل /

الإرتشاح الكلي = 10 – 5.8 = 4.2 سم

أفرض t_c = وقت الزيادة في المطر = 8 ساعة (كمحاولة أولى)

Φ = 4.2 / 8 = 0.525 سم / ساعة (هذه القيمة أكبر من الزيادة المطرية للساعة الاولى (0.4) و الساعة الثامنة (0.5) لذلك تصبح قيمة t_c = 6 ساعة)

الإرتشاح = 10–5.8 – 0.4 – 0.5 = 3.3 سم

Φ = 3.3 / 6 = 0.55 سم / ساعة (O.K)

الوقت (hr)	1	2	3	4	5	6	7	8
الزيادة في المطر (cm)	0	0.35	0.95	1.75	1.25	1.05	0.45	0

2 . الدليل W : هو قيمة منقحة للدليل Φ حيث تفصل المفقودات الأولية من المفقودات الكلية و يسمى معدل قيمة سعة الإرتشاح (W) :

$$W = \frac{P - R - I_a}{t_c} \quad (cm / hr)$$

P : السقيط الكلي (سم)

R : السيح الكلي (سم)

I_a : المفقودات الأولية (سم)

t_c : فترة إستدامة الزيادة في المطر عندما تكون $i > w$

الفصل الرابع
السيح
(Run – Off)

1.4.السيح : يعني السيح جريان أو تصريف السقيط من الجابية وخلال قناة سطحية موجودة في الجابية ويمثل الناتج منها في وحدة زمنية معينة.

إن الجريان أو السيح السطحي تحديداً مصطلح يطلق على الجريان الذي ينتقل فيه الماء كجريان فوق الأرض وخلال القنوات الموجودة في الجابية (مثل الجريان في قناة مفتوحة) ويصل فيه إلى مخرج المساحة، كما إن جزء السقيط الذي ينفذ إلى الجزء العلوي من التربة ويتحرك جانبياً خلالها ثم يعود إلى السطح من بعض الأماكن البعيدة عن النقطة التي دخل فيها إلى التربة، وهذه المركبة من السيح السطحي تعرف بأسماء مختلفة منها الجريان البيني أو الجريان تحت السطحي (Subsurface Runoff).

أما الجزء الذي يصل إلى أعماق التربة ووصوله إلى خزين الماء الأرضي في التربة فيسمى جريان الماء الأرضي (Ground Water Runoff). يمكن تقسيم السيح السطحي إلى :

1. السيح المباشر Direct Runoff : وهو ذلك الجزء من السيح الذي يدخل الجدول مباشرةً بعد سقوط الأمطار، وهذه تتضمن الجريان فوق سطح الأرض و الجريان البيني والمطر الذي يسقط مباشرةً فوق الأسطح المائية للجابية كذلك في حالة الثلوج الذائبة فإن الجريان الناتج عنها يعد سيحاً مباشراً.
2. الجريان القاعدي Base Flow : وهو الجريان المتأخر الذي يصل الجدول على نحوٍ فعال ويمكن أن يكون جزء من الجريان البيني المتأخر كثيراً جريان قاعدي.

أن الجريان بالمجرى المائي يعد جرياناً حقيقياً في الظروف الطبيعية وبدون تدخل الإنسان، مثل هكذا نوع من الجريان يسمى الجريان البكر (Virgin Flow) ويمكن الحصول على قيمته من العلاقة التالية:

$$Rv = V_s + V_d - V_r$$

Rv : الجريان البكر ($م^3$)

V_s : حجم الجريان المقاس ($م^3$)

V_d : حجم الجريان المأخوذ أو المحول من الجدول

V_r : حجم الجريان العائد إلى الجدول ($م^3$)

مثال (1) / الجدول الآتي يعطينا قيماً لتصريف مقاس في موقع قياس التصريف خلال سنة. في موقع المقدمة لقياس التصريف (Upstream) بني سد غاطس (Weir) عبر الجدول لكي يحول 3 و 0.5 مليون متر مكعب (Mm^3) من الماء لكل شهر لأغراض الري و الصناعة على التوالي، والماء العائد إلى الجدول والذي يصب في الـ (Upstream) تم تخمينه بمقدار 0.8 مليون متر مكعب من الري و 0.3 مليون متر مكعب لأغراض الصناعة ، خمن الجريان البكر إذا كانت مساحة الجابية 120 $كم^2$ ومعدل سقوط الأمطار السنوي هو 185 سم ، أوجد نسبة السيح – المطر؟

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الجريان المقاس Mm^3	2	1.5	0.8	0.6	2.1	8	18	22	14	9	7	3

الحل /

$V_r = 0.8 + 0.3 = 1.1\ Mm^3$

$V_d = 3 + 0.5 = 3.5\ Mm^3$

إذن Rv لكل شهر من أشهر السنة يتم ترتيبها بالجدول التالي :

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_s	2	1.5	0.8	0.6	2.1	8	18	22	14	9	7	3
V_d	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
V_r	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Rv	4.4	3.9	3.2	3	4.5	10.4	20.4	24.4	16.4	11.4	9.4	5.4

Σ Rv = 116.8 Mm^3

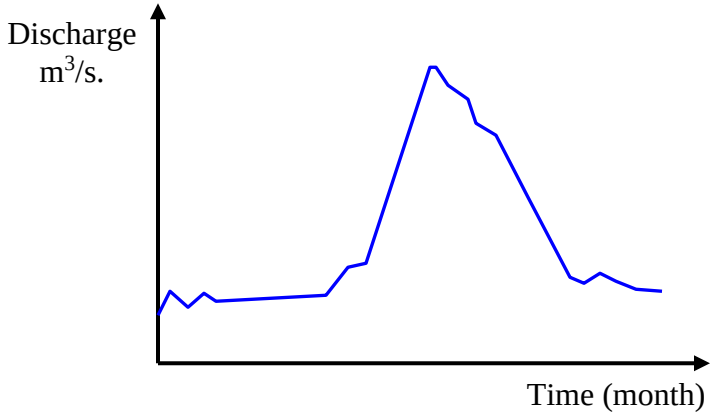
Annual Runoff = 116.8 * 10^6 / 120 *10^6 = 0.973 m. = 97.3 cm.

Runoff Coefficient = Runoff / Rainfall = 97.3 / 185 = 0.526

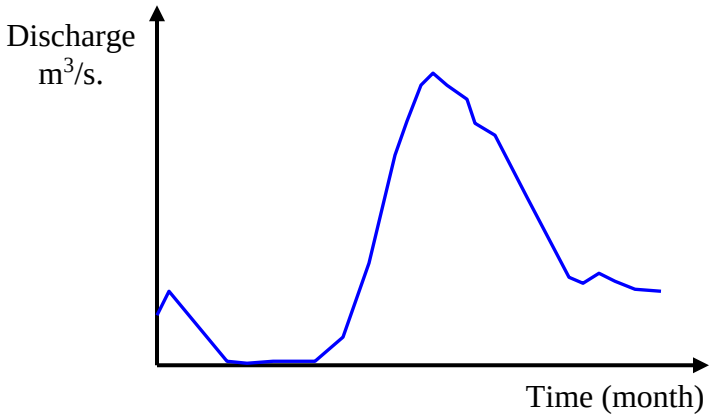
2.4. خصائص السيح للجداول Runoff Characteristics of Streams :

إن دراسة الهيدروغرافات السنوية تمكننا من تصنيف الجداول إلى ثلاثة أصناف :

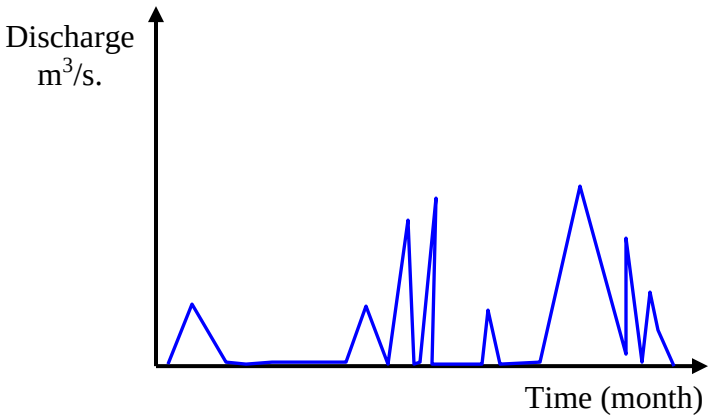
1. المجاري المائية المستمرة : وهي التي تحتوي على ماء طول الوقت وتجهز بالماء الأرضي خلال السنة وحتى خلال فصول الجفاف فإن منسوب الماء الأرضي يكون فوق قاع المجرى.



2 . المجاري المائية المتقطعة : وهي التي يكون تجهيزها بالماء الأرضي محدوداً.



3. السيول : وهي المجاري المائية التي ليس فيها أي مشاركة للجريان القاعدي ، حيث يتضح من الشكل أدناه ذبذبات الجريان العالي العائد للعاصفة المطرية وسرعان ما يصبح الجدول جافاً حال إنتهاء الجريان العائد للعاصفة.



وبصورة عامة فإن خصائص الجريان للجدول تعتمد على:

1. خصائص الأمطار : قيمة الشدة المطرية ، توزيع الشدة حسب الزمان و المكان وتغييراتها.

2. خصائص الجابية : مثل التربة و الغطاء النباتي و الميل ، جيولوجية و شكل الجابية و كثافة البزل.
3. العوامل المناخية : التي تؤثر على التبخر الكلي.

3.4. الحصيلة (حجم السيح السنوي) :

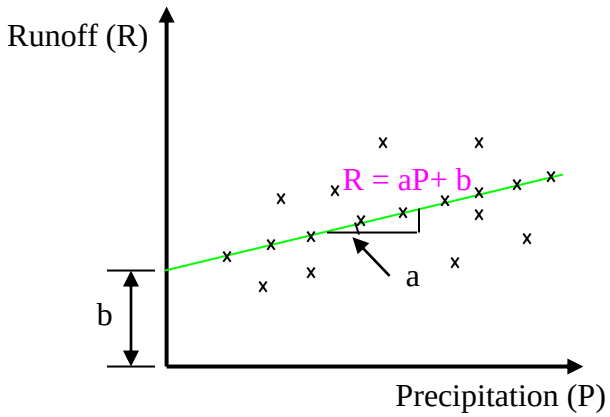
هي الكمية الكلية للماء التي نتوقعها من الجدول خلال فترة معلومة من السنة وهي تمثل حجم السيح السنوي :

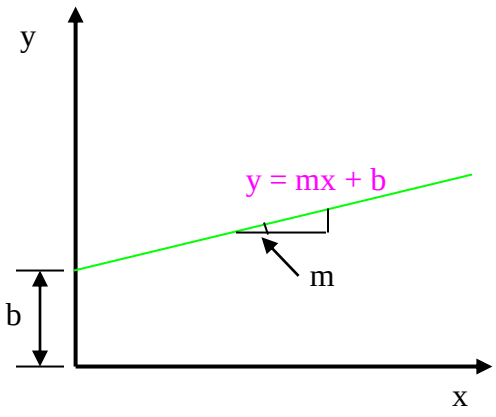
الحصيلة = التصريف x الزمن

وهنالك عدة طرق في تخمين الحصيلة منها:

1. الإرتباط بين المجرى المائي و الأمطار.
2. المعادلات التجريبية.
3. تمثيل الجابية.

1. إرتباط الأمطار – السيح :





$$R = a\,P + b \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$a = \frac{N(\sum PR) - (\sum P)(\sum R)}{N(\sum P^2) - (\sum P)^2} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$b = \frac{\sum R - a\sum P}{N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

N : عدد مجاميع الملاحظات لـ R , P

$$r = \frac{N(\sum PR) - (\sum P)(\sum R)}{\sqrt{\left[N(\sum P^2) - (\sum P)^2\right] * \left[N(\sum R^2) - (\sum R)^2\right]}} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

ملاحظة / قيمة $0 \leq r \leq 1$ $\Longrightarrow$ R لها إرتباط موجب مع P

$0.6 < r < 1$ $\Longrightarrow$ R لها إرتباط جيد مع P

للجوابي الكبيرة ،فإن العلاقة بين R و P علاقة أسية :

$$R = \beta P^m \quad \ldots\ldots (5)$$

$$\ln R = m \ln P + \ln \beta \quad \ldots\ldots (6)$$

مثال (2) / المعلومات المعطاة في الجدول أدناه هي الأمطار الشهرية P وقيم السيح R المرادفة لها والتي تعطي فترة 18 شهراً لجابية . طور معادلة الإرتباط بين P و R .

الشهر	P(cm)	R(cm)	الشهر	P(cm)	R(cm)
1	5	0.5	10	30	8
2	35	10	11	10	2.3
3	40	13.8	12	8	1.6
4	30	8.2	13	2	0
5	15	3.1	14	22	6.5
6	10	3.2	15	30	9.4
7	5	0.1	16	25	7.6
8	31	12	17	8	1.5
9	36	16	18	6	0.5

الحل /

$N = 18$, $\Sigma P = 348$, $\Sigma R = 104.3$, $\Sigma P^2 = 9534$, $\Sigma R^2 = 1040.51$, $\Sigma PR = 3083.3$

$(\Sigma P)^2 = 121104$, $(\Sigma R)^2 = 10878.49$

$a = 0.38$, $b = -1.55$, $R = 0.38\ P - 1.55$

$r = 0.964$ ، درجة الإرتباط جيدة ، لها إرتباط جيد و موجب مع P

3.4. المعادلات التجريبية Empirical Equation :

من أهم المعادلات الوضعية التي تربط بين الأمطار والسيح السطحي هي معادلة (خوسلاس 1960) حيث توصل إلى معادلة تجريبية تربط مابين الأمطار والسيح السطحي والفترة الزمنية المأخوذة (بالشهر).

$$R_m = P_m - L_m$$

$$L_m = 0.48\ T_m \qquad T_m > 4.5^o\ C$$

R_m : السيح السطحي الشهري (سم) ($R_m \geq 0$)

P_m : الأمطار الشهرية (سم)

L_m : الضائعات الشهرية (سم)

T_m : متوسط درجة الحرارة الشهرية للجابية (بالدرجة المئوية)

لقيم T_m أقل أو مساوية 4.5 درجة مئوية ، الضياع (L_m) يمكن فرضه كما يأتي :

T(°C)	4.5	-1	- 6.5
L_m (cm)	2.77	1.78	1.52

مثال (3) / تم الحصول على المعدل الشهري للأمطار ودرجات الحرارةلجابية ، إحسب السيح السطحي السنوي و معامل السيح بإستعمال معادلة خوسلاس.

الشهر	كانون 2	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1
T(°C)	12	16	21	27	31	34	31	29	28	29	19	14
المطر (cm)	4	4	2	0	2	12	32	29	16	2	1	2

الحل /

بما أن قيم T_m أكبر من 4.5 درجة مئوية

$L_m = 0.48\ T_m$

الشهر	كانون 2	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين 1	تشرين 2	كانون 1
L_m	5.76	7.68	10.08	12.96	14.88	16.32	14.88	13.92	13.44	13.92	9.12	6.72
R_m	0	0	0	0	0	0	17.12	15.08	2.56	0	0	0

السيح السطحي السنوي = 17.12 + 15.08 + 2.56 = 34.76 سم

معامل السيح السطحي السنوي = 34.8 / 106 = 0.328

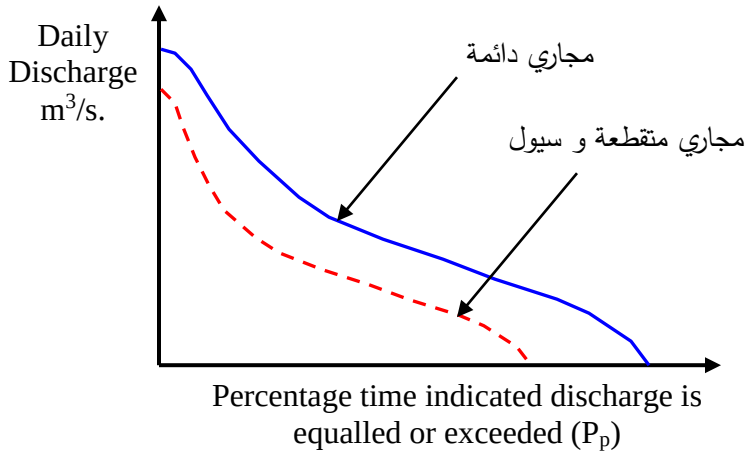
4.4. منحني الجريان – الإستدامة Flow – Duration Curve:

هو العلاقة بين التصريف ضد النسبة المئوية التي يكون فيها الجريان مساوياً أو متجاوزاً ، ويعرف هذا المنحني أيضاً بمنحني التصريف التكراري. فإذا كان عدد نقاط المعلومات المستعملة هو N في هذه القائمة ، فإن تعيين المواقع (Plotting Position) لأي تصريف Q هي:

$$P_p = \frac{m}{N+1} * 100$$

m : قيمة الصف التي يكون فيها الجريان مساوياً أو متجاوزاً لعدد الأيام في فترة الصف

P_p : النسبة المئوية للإحتمال لقيمة الجريان المساوية أو المتجاوزة



5.4. خصائص منحني الجريان – الإستدامة Flow – Duration Curve Characteristics:

1. ميل المنحني يعتمد على الفترة المختارة للمعلومات (كلما كانت الفترة الزمنية قليلة كلما كان الميل أشد).
2. إن وجود الخزان على المجرى المائي يؤثر على منحني الجريان – الإستدامة البكر وهذا يعتمد على طبيعة تنظيم الجريان.
3. منحني الجريان – الإستدامة عندما يعين على ورق لوغاريتمي يكون على شكل خط مستقيم و على الأقل في الجزء الوسطي من المنحني و يشتق منه معاملات مختلفة تبين التغيير في الجريان، كذلك يستفاد منه في مقارنة خصائص الجريان للمجاري المائية المختلفة.
4. إن التقويم التكراري لحدوث الجريان في منحني الجريان – الإستدامة لا يظهر تأثيرها في المنحني.

ومن فوائد هذا المنحني :

1. تقويم الجريانات المختلفة المعتمدة في التصميم أو هندسة مشاريع المصادر المائية.
2. تقويم خصائص الطاقة الكامنة للطاقة المائية للنهر (HydroPower) .
3. تصميم منظومات البزل.
4. دراسات السيطرة على الفيضان.
5. مقارنة الجوابي المتقاربة مع إمكانية تحديد الجريان في المجاري المائية.

مثال (4) / الجريان اليومي لنهر لثلاث سنوات متعاقبة موجودة في الجدول أدناه، أيضاً يحتوي الجدول على عدد أيام الجريان السنوية العائدة لكل تصريف

عدد أيام الجريان لكل فترة زمنية			الجريان اليومي (m^3/s)
1962 - 1961	1963 - 1962	1964 - 1963	
0	1	5	140 - 120.1
2	7	10	120 - 100.1
12	18	15	100 - 80.1
15	32	15	80 - 60.1
30	29	45	60 - 50.1
70	60	64	50 - 40.1
84	75	76	40 - 30.1
61	50	61	30 - 25.1
43	45	38	25 - 20.1
28	30	25	20 - 15.1
15	18	12	15 - 10.1
5	0	0	10 - 5.1

إحسب 50% و 75% جريانات معتمدة للنهر.

الحل /

يتم حساب قيمة P_p (محور X) حسب القانون :

مقياس لوغاريتمي $P_p = \frac{m}{N+1} * 100$

مقابل قيم التصريف المعطاة في السؤال (مقياس إعتيادي محور Y).

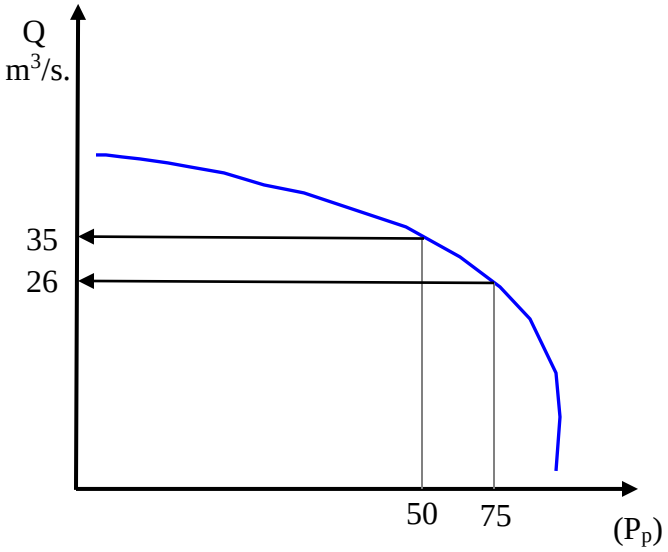
$P_p = \frac{m}{N+1} * 100$	عدد أيام الجريان التراكمي (m)	عدد أيام الجريان 1964-1961	عدد أيام الجريان لكل فترة زمنية			الجريان اليومي (m^3/s)
			1964 - 1963	1963 - 1962	1962 - 1961	
0.55	6	6	5	1	0	140-120.1
2.28	25	19	10	7	2	120-100.1
6.38	70	45	15	18	12	100-80.1
12.03	132	62	15	32	15	80-60.1
21.51	236	104	45	29	30	60-50.1
39.19	430	194	64	60	70	50-40.1
60.62	665	235	76	75	84	40-30.1
76.3	837	172	61	50	61	30-25.1
87.78	963	126	38	45	43	25-20.1
95.35	1046	83	25	30	28	20-15.1
99.45	1091	45	12	18	15	15-10.1
99.91	1096	5	0	0	5	10-5.1

Σ 1096

من المنحني : N = 1096

Q_{50} = 35 م^3 / ثا

Q_{75} = 26 م^3 / ثا



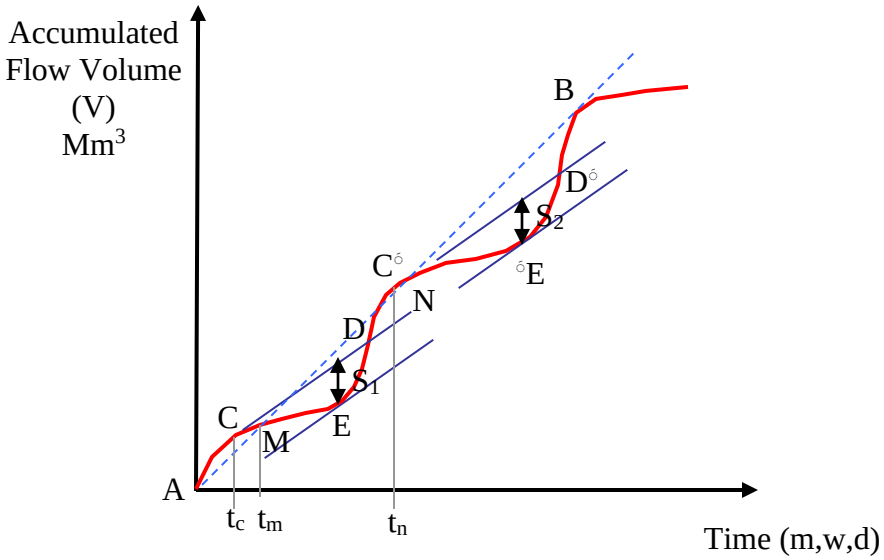
6.4. منحني الجريان التراكمي (الكتلة) Flow – Mass Curve:

هو تعيين للتصريف التراكمي الحجمي (V) ضد الوقت والمعينة في ترتيب متسلسل.

$$V = \int_{t_o}^{t} Qdt$$ (تكامل لمنحني الهيدروغراف)

t_o : الوقت الإبتدائي للمنحني

Q : معدل التصريف



ملاحظة /

1. ميل منحني التراكم في أي نقطة يمثل (Q = dv / dt) وهو مساوٍ لمعدل الجريان في أي لحظة.
2. ميل الخط AB يمثل معدل التصريف على طول الفترة التي تم بها تعيين سجل المنحني.

7.4. حساب حجم الخزين Storage Volume Evaluation:

هو لفرق التجميعي بين حجم التجهيز وحجم الطلب منذ بداية فصل الجفاف :

$$S = \Sigma V_s - \Sigma V_D$$

S : حجم الخزين الأعظم

ΣV_s : حجم التجهيز

ΣV_D : حجم الطلب

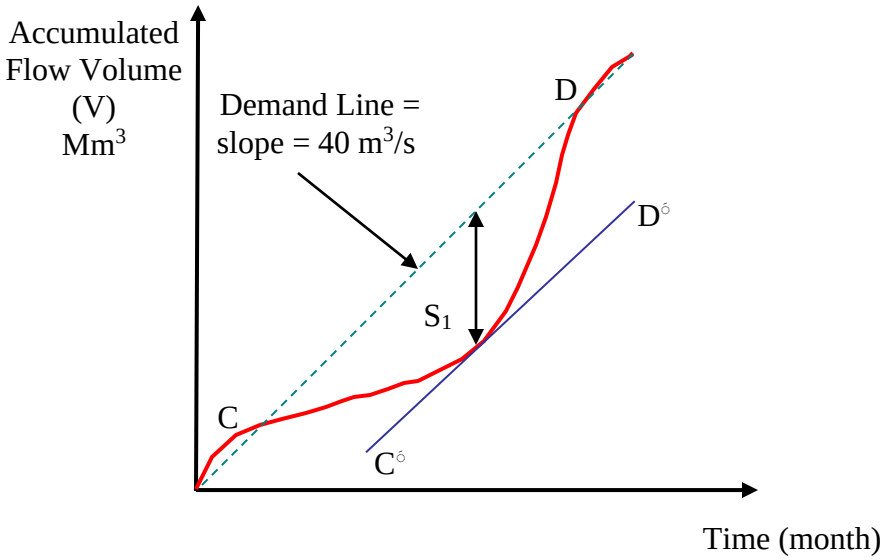
ويمكن الحصول على قيمة S من المنحني التراكمي بحساب أكبر فرق في الإحداثي الصادي (Accumulated Volume) بين المنحني التراكمي للتجهيز و الطلب ، لأن أقل حجم للخزن مطلوب للخزان هو أكبر قيمة لـ S فوق فترات الجفاف المختلفة.

مثال (5) / الجدول الآتي يعطينا معلومات عن المعدل الشهري للجريان في نهر خلال سنة ، إحسب أوطأخزن نحتاجه للحفاظ على معدل للطلب هو 40 م^3 /ثا؟

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
معدل الجريان m^3/s	60	45	35	25	15	22	50	80	105	90	80	70

الحل /

الشهر	معدل الجريان m^3/s	حجم الجريان الشهري $m^3/s.day$	الحجم التجميعي $m^3/s.day$
1	60	1860	1860
2	45	1260	3120
3	35	1085	4205
4	25	750	4955
5	15	465	5420
6	22	660	6080
7	50	1550	7630
8	80	2480	10110
9	105	3150	13260
10	90	2790	16050
11	80	2400	18450
12	70	2170	20620



من المنحني :

For $Q_d = 40\ m^3/s.$ $\Longrightarrow$ $S_1 = 2100\ m^3/s.\ day$

مثال (6) / حل المسألة السابقة بإستخدام الحسابات الرياضية و بدون إستخدام منحني الكتلة

الحل /

الشهر	معدل الجريان m^3/s	حجم الجريان $m^3/s.$ الشهري day	معدل الطلب m^3/s	حجم الطلب (cumec.day)	الفرق Col(3)-col(5)	حجم الطلب التجميعي الأقصى (cumec day)	حجم الجريان التجميعي الأقصى (cumec day)
1	60	1860	40	1240	620		620
2	45	1260	40	1120	140		760
3	35	1085	40	1240	-155	-155	
4	25	750	40	1200	-450	-605	
5	15	465	40	1240	-755	-1380	
6	22	660	40	1200	-540	-1920	
7	50	1550	40	1240	310		310
8	80	2480	40	1240	1240		1550
9	105	3150	40	1200	1950		3500
10	90	2790	40	1240	1550		6050
11	80	2400	40	1200	1200		7250
12	70	2170	40	1240	930		8180

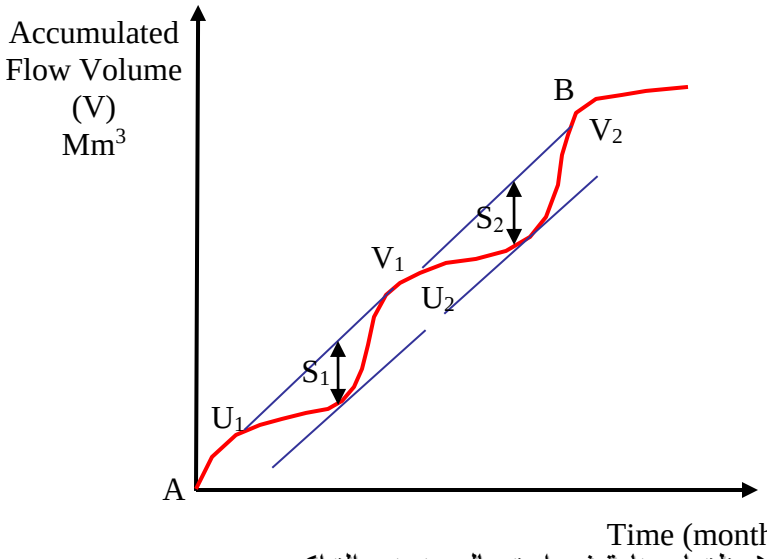
إذن أعظم طلب أو أوطأ خزن (من عمود 7) = 1920 $m^3/s.\ day$

ملاحظة/

العمود 8 يشير إلى الزيادة التجميعية لحجم الجريان الداخل إبتداءً من كل طلب سحب من الخزان.

8.4. حسابات الطلب المقبول Calculation of Maintainable Demand:

هو تعين الطلب الأعظم الذي من الممكن أن نحافظ عليه من خزان معروف الحجم من خلال إستعمال منحني التراكم.



من أهم النقاط التي يمكن ملاحظتها بعناية في إستعمال منحني التراكم :

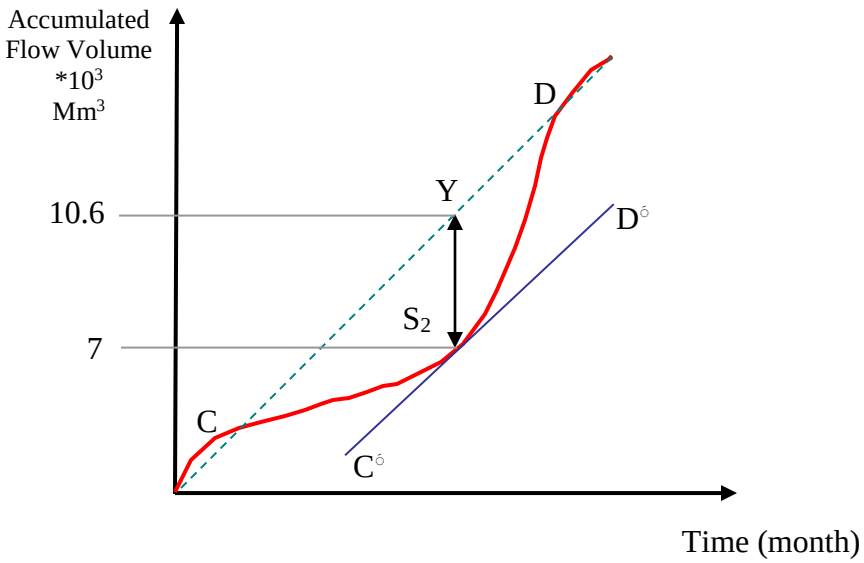
1. المسافة الرأسية ما بين مماسين متعاقبين لمنحني التراكم في نقطة الإرتفاع (نقطة V_1 و U_2) تمثل الماء المزاح عبر المسيل المائي.
2. إن خط الطلب يجب أن يقاطع منحني الكتلة فيما إذا كان الخزان مهيأ للإمتلاء ، أما إذا لم يتقاطع خط الطلب مع المنحني فهذا يشير إلى عدم كفاية الجريان الداخل إلى الخزان.

مثال (7) / إستعمل منحني الكتلة للمثال السابق لكي نحصل على أعلى معدل منتظم يمكن أن نحافظ عليه لخزن قيمته 3600 م^3 /ثا.يوم؟

الحل / 1. من أوطأ نقطة في تقعر المنحني نرسم مسافة عمودية مقدارها 3600 م^3 /ثا.يوم

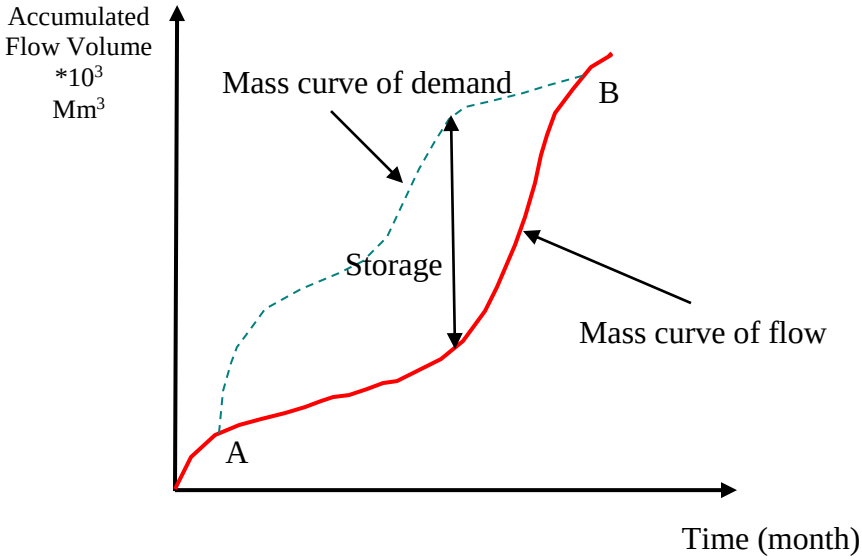
2. نرسم مماساً للمنحني من نقطة التحدب الأولى (C) بإتجاه نقطة (Y) ثم نقطة (D) وهي نقطة تقاطع الخط المستقيم الناتج مع منحني الكتلة.

3. يحسب ميل الخط المستقيم CYD وهو (50 $m^3/s.$) وهو يمثل معدل الطلب المنتظم.



9.4. الطلب المتغير Variable Demand:

وهو التغير في معدل خط الطلب مع الوقت لتلبية الإحتياجات المائية المستعملة في السقي و الطاقة و إحتياجات الإسالة.



ملاحظة / الخزان مملوء في نقطتي A و B .

مثال (8) / تم جمع المعلومات التالية لخزان مقترح. وبأفتراض أن معدل مساحة الخزان هي 20 كم^2 ، خمن الخزين الذي نحتاجه حتى نوفي هذه المتطلبات . أفرض أن معامل السيح للمساحة المغمورة بواسطة الخزان يساوي 0.5 ؟

الشهر	متوسط الجريان m^3/s	الطلب Mm^3	التبخر الشهري (cm)	الأمطار الشهرية (cm)
1	25	25	12	2
2	20	26	13	2
3	15	27	17	1
4	10	29	18	1
5	4	29	20	1
6	9	29	16	13
7	100	19	12	24
8	108	19	12	19
9	80	19	12	19
10	40	19	12	1
11	30	21	11	6
12	30	25	7	2

الحل /

حجم التبخر = 10^6 X 20 X E/100 = 0.2 E Mm^3

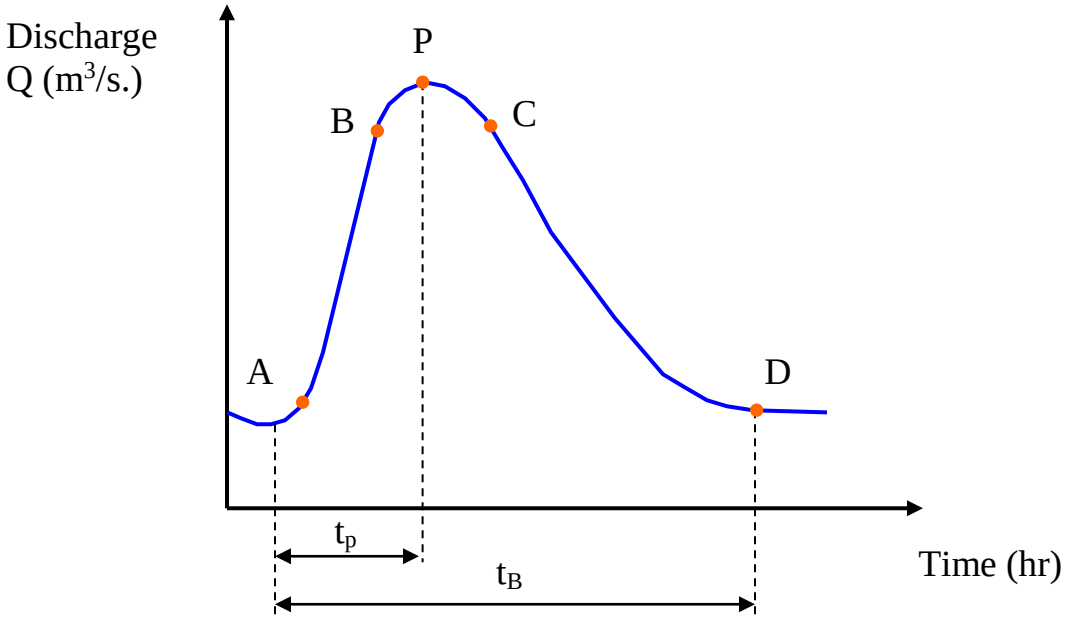
حجم الأمطار = 10^6 X 20 X (0.5−1) P/100 = 0.1 P Mm^3

الشهر	الحجم الداخل Mm^3	الكمية المسحوبة			السحب الكلي (5+4+3) Mm^3	الفرق Mm^3	الزيادة التجميعية للطلب Mm^3	الزيادة التجميعية لحجم الجريان Mm^3
		الطلب Mm^3	التبخر Mm^3	الأمطار Mm^3				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
كانون 2	67	25	2.4	-0.2	27.2	39.8	–	39.8
شباط	48.8	26	2.6	-0.2	28.4	20.4	–	60.2
آذار	40.2	27	3.4	-0.1	3.30	9.9	–	70.1
نيسان	25.9	29	3.6	-0.1	32.5	-6.6	-6.6	–
آيار	10.7	29	4	-0.1	32.9	-22.2	-28.8	–
حزيران	23.3	29	3.2	-1.3	30.9	-7.6	-36.4	–
تموز	267.8	19	2.4	-2.4	19	248.8	–	248.8
آب	289.3	19	2.4	-1.9	19.5	269.8	–	518.6
أيلول	207.4	19	2.4	-1.9	19.5	187.9	–	706.5
تشرين 1	107.1	19	2.4	-0.1	21.3	85.8	–	792.3
تشرين 2	77.8	21	2.2	-0.6	22.6	55.2	–	847.5
كانون 1	80.4	25	3.4	-0.2	28.2	52.2	–	899.7

أعظم طلب = 36.4 مليون متر مكعب

الفصل الخامس
الهيدروغراف
(Hydrograph)

1.5. 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 في حين أن الهيدروغراف البسيط يحتوي على ذروة واحدة كما في الشكل السابق.

2.5. العوامل المؤثرة على هيدروغراف الفيضان :

إن العوامل المؤثرة على 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 نقطة 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 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 هـ الجريان في القناة.

ج. الميل : إن ميل المجرى المائي الرئيسي يعد أحد الأمور المؤثرة على سرعة الجريان في القناة ، وحيث أن منحني الإنحسار في الهيدروغراف يمثل نزف 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 الترشيح :

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

3.5. معادلة منحني الإنحسار Recession Curve Eq. :

إشتق بارنس (عام 1940) معادلة منحني الإنحسار:

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

Q_t : التصريف في الزمن t

Q_o : التصريف الأولي

K_r : ثابت الإنحسار ($K_r < 1$)

المعادلة أعلاه يمكن كتابتها بصورة أسية:

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

$$a = - \ln K_r$$

$$K_r = k_{rs} . k_{ri} . k_{rb}$$

k_{rs} = ثابت إنحسار الجريان السطحي = 0.05 – 0.2 , k_{ri} = ثابت إنحسار الجريان البيني = 1

k_{rb} = ثابت إنحسار الجريان القاعدي = 0.99

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.

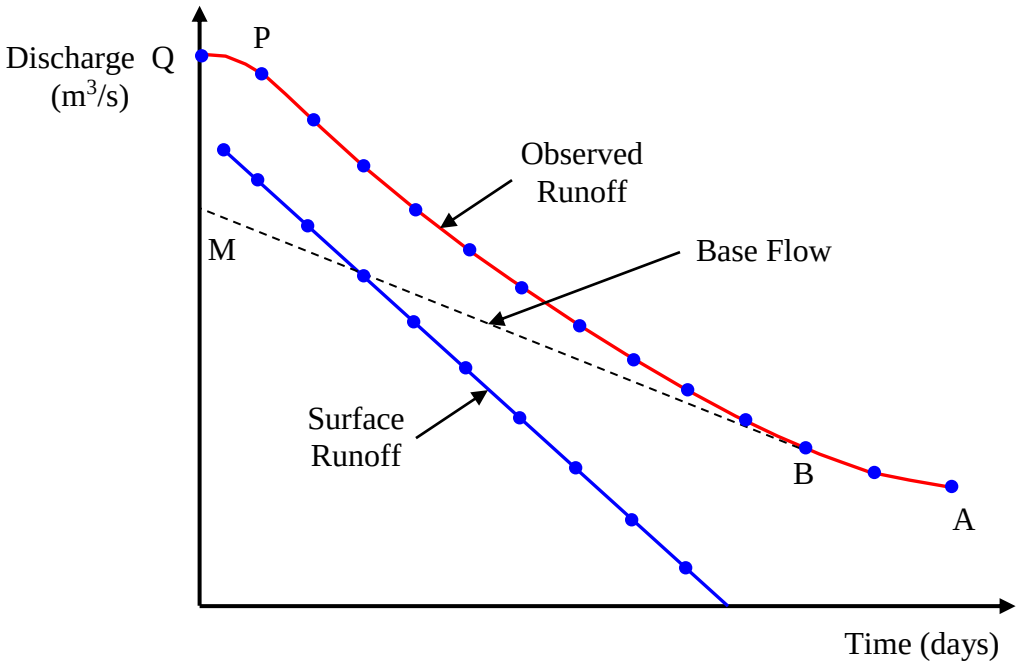
الوقت من الذروة (day)	التصريف (m^3/s)	الوقت من الذروة (day)	التصريف (m^3/s)
0	90	4	3.8
0.5	66	4.5	3
1	34	5	2.6
1.5	20	5.5	2.2
2	13	6	1.8
2.5	9	6.5	1.6
3	6.7	7	1.5
3.5	5		

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) :

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



من الشكل ، لو أخذنا :

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

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

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

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

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

4.5. 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 :

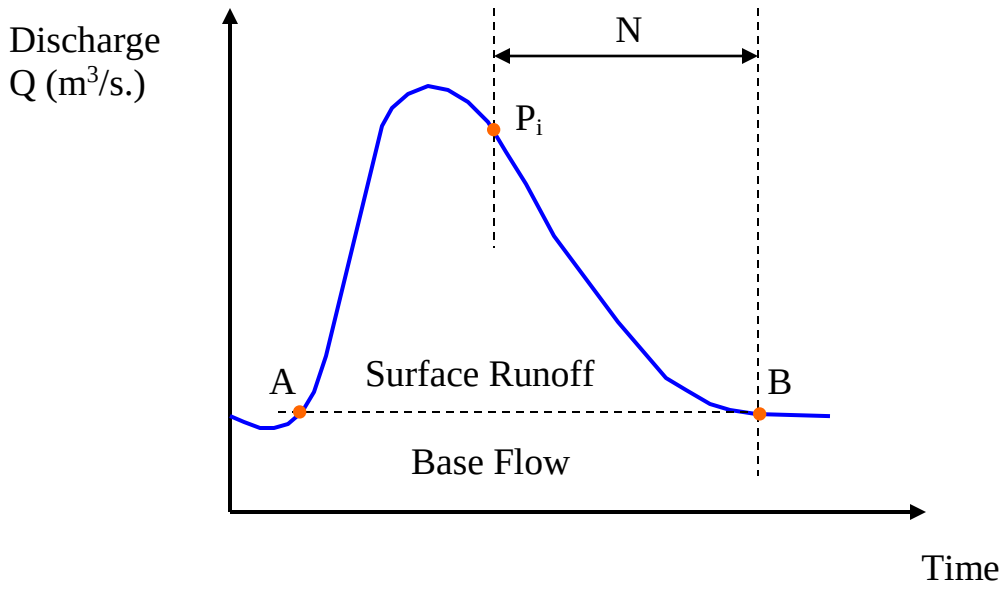
الطريقة الأولى : طريقة الخط المستقيم:

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:

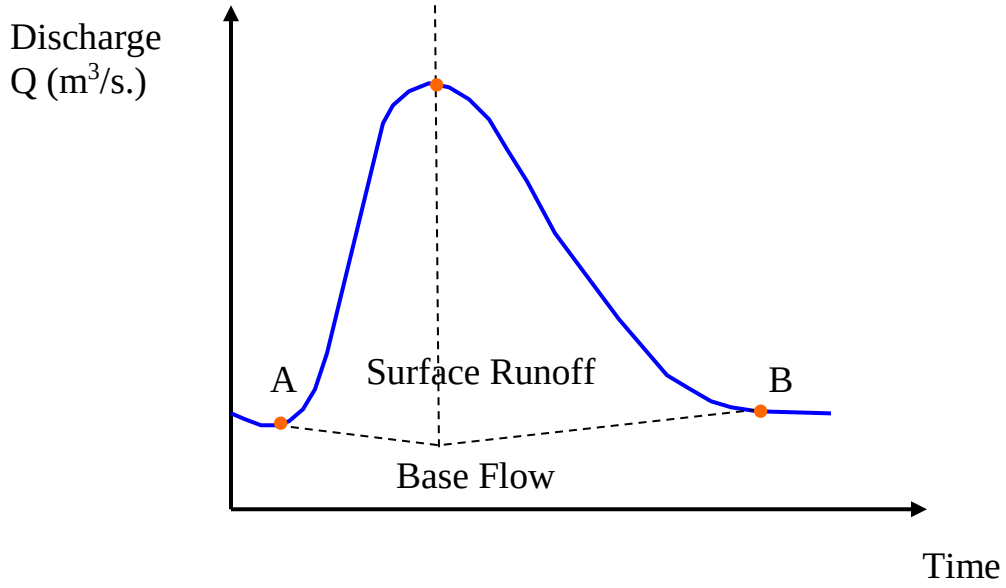
$$N = 0.83\ A^{0.2}$$

A : المساحة المبزولة (كم^2)

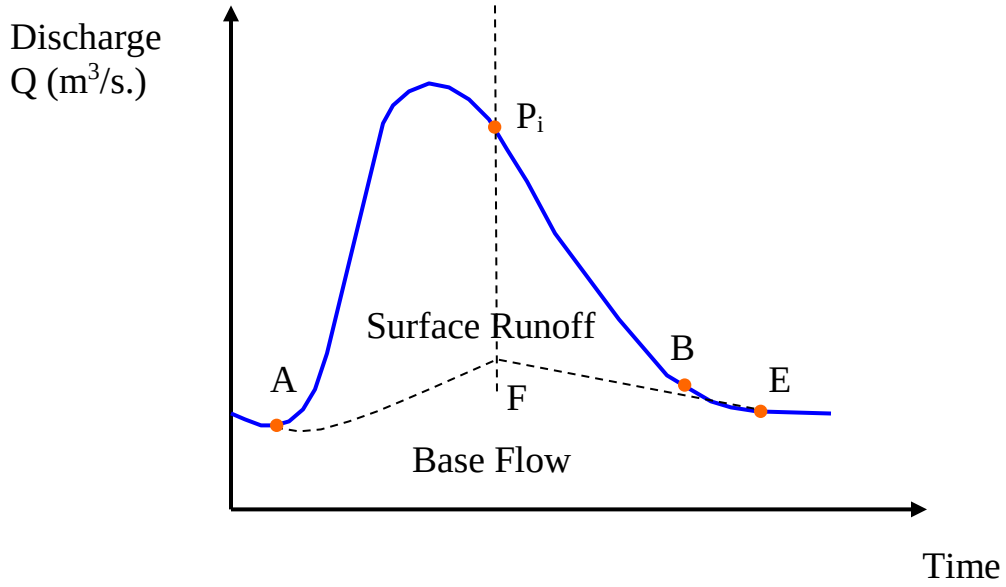
حيث توصل النقطتان A و B بخط مستقيم لفصل الجريان القاعدي عن السيح السطحي



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.

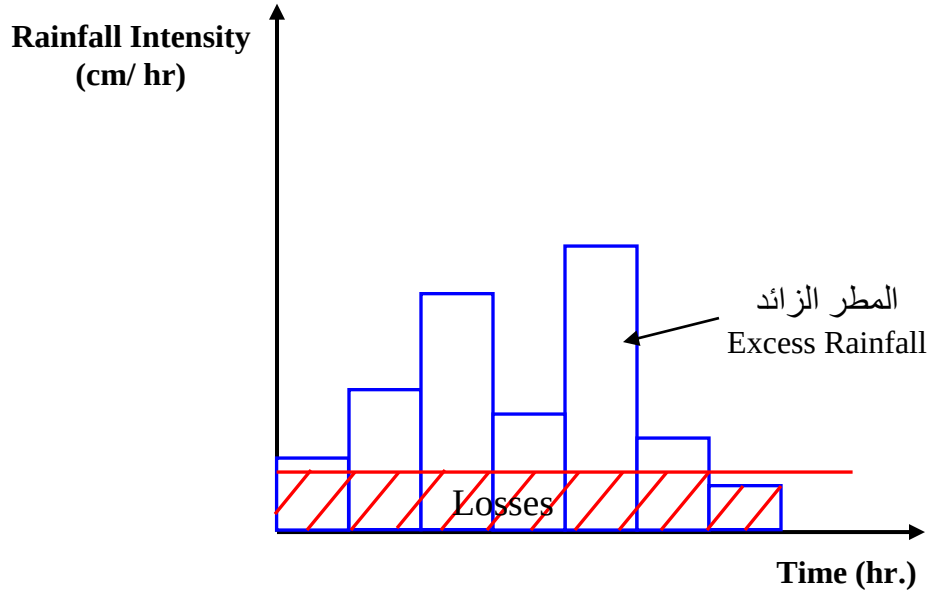


الطريقة الثالثة : في هذه الطريقة فإن منحني الإنحسار العائد للجريان الأرضي يتم تمديده إلى الخلف حتى يتقاطع مع الخط النازل من نقطة الإنقلاب P_i (الخط EF) والنقطتان A و F يتم وصلهما بمنحني يتم رسمه على نحوٍ تقريبي.



5.5. 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 (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).

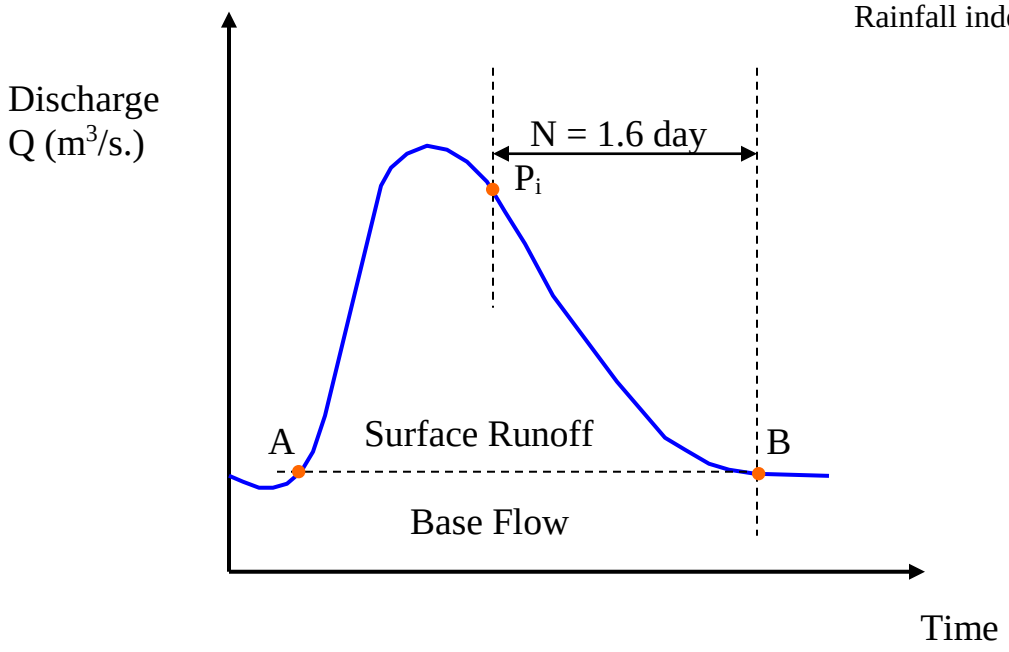
مثال (2) / الأمطار التي قيمتها 3.8 و 2.8 سم حدثت خلال إستدامة متعاقبة فترتها 4 ساعة و على مساحة مقدارها 27 كم^2 وأنتجت الهيدروغراف التالي للجريان في نقطة تصريف الجابية ، خمن الزيادة المطرية و قيمة المؤشر Φ ؟

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

الحل / بإستخدام طريقة الخط المستقيم لفصل الجريان القاعدي

Φ index = 0.135 cm /hr

Rainfall index = 5.52 cm.



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

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 = **حجـــــــــــــــم الـــــــــــــــ**

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.

6.5. الهيدروغراف القياسي Unit Hydrograph:

هو هيدروغراف السيح المباشر والناتج عن وحد عمق (1) سم للمطر الزائد والتي تحدث بشكل منتظم ولإستدامة معروفة مقدارها (D – ساعة) فوق الجابية. وإن تعريف الهيدروغراف القياسي يتضمن ما يأتي:

1. إن الهيدروغراف القياسي يمثل رد فعل الجابية الطبيعي لكمية الأمطار الزائدة ذات الإستدامة D – ساعة لإنتاج هيدروغراف السيح المباشر. وبما أن عمق 1 سم من الأمطار الزائدة يمكن إعتباره، فإن المساحة تحت الهيدروغراف القياسي ستكون مساوية إلى الحجم الذي ينتجه 1 سم فوق الجابية.
2. إن الزيادة بالأمطار يفترض بأن لها معدل للشدة قيمته $\frac{1}{D}$ سم / ساعة بالنسبة لإستدامة العاصفة.
3. توزيع العاصفة يمكن إعتباره منتظماً فوق الجابية.

و بصورة عامة، فإن إشتقاق الـ DRH من الـ UH يتم على أساس ضرب إحداثيات الأخير بالمطر المؤثر:

إحداثيات DRH = إحداثيات UH * ER

7.5.فرضيات الهيدروغراف القياسي Unit Hydrograph Assumptions:

1. إن السيح المباشر في الجابية لعاصفة مطرية مؤثرة يكون الوقت فيها ثابتاً.
2. إن العلاقة بين السيح المباشر و الأمطار الزائدة هي علاقة خطية ، حيث تزداد المساحة الناتجة من هيدروغراف السيح المباشر وذلك بضرب إحداثيات الـ UH بوحدات العمق المؤثر.

مثال (3) / المعلومات التالية هي إحداثيات 6 – ساعة هيدروغراف قياسي لجابية ، إحسب الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف السيح المباشر بسبب الزيادة المطرية 3.5 سم التي تحدث خلال 6 ساعة ؟

الوقت (hr.)	0	3	6	9	12	15	18	24	30	36	42	48	54	60	66
إحداثيات UH (m3/s)	0	25	50	85	125	160	185	160	110	60	36	25	16	8	0

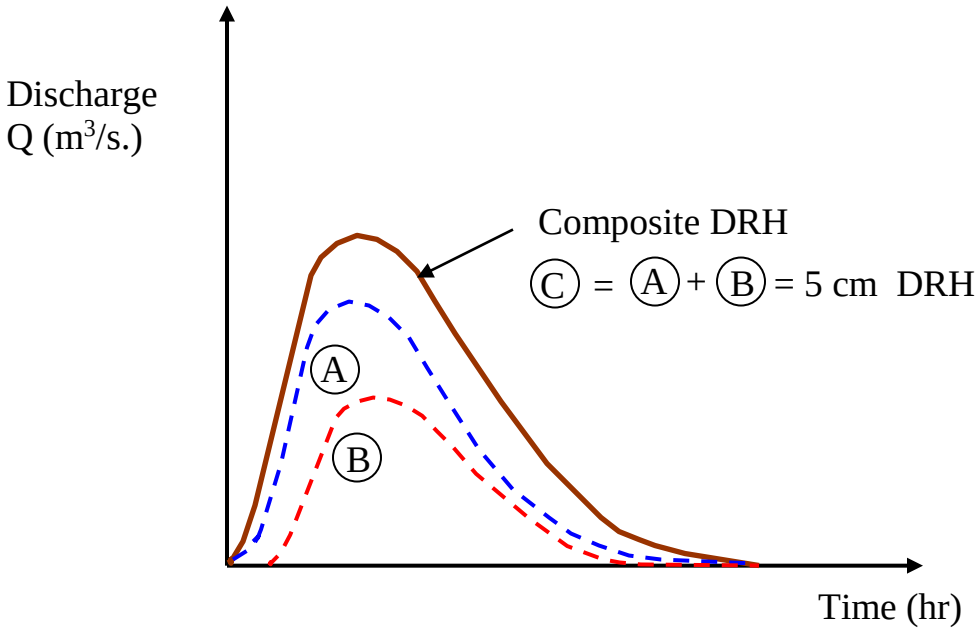
الحل /

الوقت (hr.)	0	3	6	9	12	15	18	24	30	36	42	48	54	60	66
إحداثيات UH (m3/s)	0	25	50	85	125	160	185	160	110	60	36	25	16	8	0
إحداثيات DRH (m3/s)	0	87.5	175	297.5	437.5	560	647.5	560	385	210	126	87.5	56	28	0

مثال (4) / عاصفتان مطريتان مدة كل منهما 6 ساعة ولهما زيادة في الأمطار قيمتهما 3 و 2 سم بالتعاقب حدثت الواحدة بعد الأخرى ، والمطرة التي قيمتها 2 سم مطر مؤثر حدثت بعد المطرة 3 سم . الهيدروغراف القياسي للجابية و الذي مدته 6 ساعة هو معطى في المثال السابق . إحسب الـ DRH الناتج.

الحل /

الوقت (ساعة)	إحداثيات UH (m3/s)	إحداثيات DRH – 3 cm (m3/s)	إحداثيات DRH – 2 cm (m3/s)	إحداثيات DRH – 5 cm (m3/s)
0	0	0	0	0
3	25	75	0	75
6	50	150	0	150
9	85	255	50	305
12	125	375	100	475
15	160	480	170	650
18	185	555	250	805
(21)	(172.5)	(517.5)	(320)	(837.5)
24	160	480	370	850
30	110	330	320	550
36	60	180	220	400
42	36	108	120	228
48	25	75	72	147
54	16	48	50	98
60	8	24	32	56
(66)	(2.7)	(8.1)	(16)	(24.1)
69	0	0	(10.6)	(10.6)
75	0	0	0	0



مثال (5) / معدل العاصفة المطرية فوق جابية في ثلاث فترات متعاقبة ولإستدامة 6 ساعة قيمها كانت على التوالي 3.5 و 7.5 و 5.5 سم. معدل الضياع للعاصفة المطرية (المؤشر Φ) الساقطة على جابية تم تخمينه بـ 0.25 سم / ساعة . إستعمل الوقت 6 ساعة للإحداثيات الرأسية لمخطط الماء القياسي للمثال السابق ، خمن هيدروغراف السيح المباشر . إذا تم إفتراض أن قيمة الجريان القاعدي هي 15 م^3/ثا في البداية وتزداد 2 م^3/ثا كل 12 ساعة حتى نهاية هيدروغراف السيح المباشر. خمن هيدروغراف الفيضان الناتج.

الحل / إن هيتوغراف الفيضان المؤثر تم حسابه كما في الجدول الآتي :

الفترة	أول 6 ساعة	ثاني 6 ساعة	ثالث 6 ساعة
عمق المطر (سم)	3.5	7.5	5.5
معدل الضائعات لـ 6 ساعة (سم)	1.5	1.5	1.5
المطر المؤثر (سم)	2	6	4

الوقت	إحداثيات UH	العمود 2 * 2	العمود 2 *6 يتقدم 6 ساعة	العمود 2 *4 يتقدم 12 ساعة	الإحداثي النهائي DRH (5+4+3)	الجريان القاعدي	هيدروغراف الفيضان (7+6)
1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	15	15
3	25	50	0	0	50	15	65
6	50	100	0	0	100	15	115
9	85	170	150	0	320	15	335
12	125	250	300	0	550	17	567
15	160	320	510	100	930	17	947
18	185	370	750	200	1320	17	1337
(21)	(172.5)	(345)	(960)	(340)	(1645)	(17)	(1662)
24	160	320	1110	500	1930	19	1949
(27)	(135)	(270)	(1035)	(640)	(1945)	(19)	(1964)
30	110	220	960	740	1920	19	1939
36	60	120	660	640	1420	21	1441
42	36	72	360	440	872	21	893
48	25	50	216	240	506	23	529
54	16	32	150	144	326	23	349
60	8	16	96	100	212	25	237
66	(2.7)	(5.4)	(48)	(64)	(117)	(25)	(142)
69	-	-	-	-	-	-	-
72	0	0	16	32	48	27	75
75	-	-	-	-	-	-	-
78	0	0	0	(10.8)	(11)	27	38
81	0	0	0	0	0	27	27
84	0	0	0	0	0	27	27

8.5.إشتقاق الهيدروغراف القياسي Unit Hydrograph Derivation:

هي عملية إيجاد إحداثيات الهيدروغراف القياسي وذلك بقسمة إحداثيات الـ DRH على قيمة المطر المؤثر والناتج من إيجاد المساحة تحت منحني DRH وقسمته على مساحة الجابية.

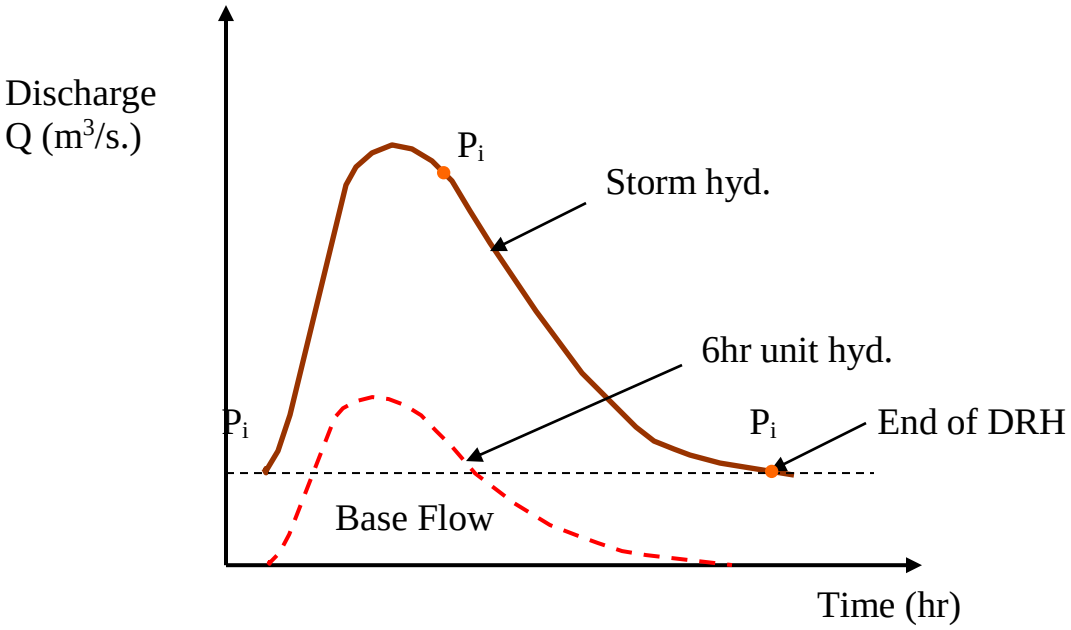
إن فرضيات هيدروغراف الفيضان المستعمل في التحليل يمكن إختياره لكي يواجه النقاط المرغوبة الآتية:

1. الأمطار يجب أن تكون منتظمة خلال مدة إستدامتها ويجب أن تغطي مساحة الجابية.
2. العاصفة المطرية يجب أن تكون معزولة وتحدث بصورة فردية.
3. الأمطار الزائدة للعاصفة المطرية المختارة تكون عالية كما إن مدى قيمها يتراوح من 1 – 4 سم.

مثال (6) / المعلومات الآتية هي الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف عاصفة مطرية لنهر يبزل مساحة مقدارها 432 كم^2 نتيجة 6 ساعة عاصفة مطرية منفصلة . إشتق الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف قياسي قدره 6 ساعة ؟

الوقت من بداية العاصفة المطرية (hr)	-6	0	6	12	18	24	30	36	42	48
التصريف (m^3/s)	10	10	30	87.5	115.5	102.5	85	71	59	47.5
الوقت من بداية العاصفة المطرية (hr)	54	60	66	72	78	84	90	96	102	
التصريف (m^3/s)	39	31.5	26	21.5	17.5	15	12.5	12	12	

الحل/



A = بداية DRH عندما t = 0 و B = نهاية DRH عندما t = 90 ساعة

P_i = نقطة الإنقلاب عندما t = 24 ساعة ⟸ N = 90 – 24 = 66 ساعة = 2.75 يوم

N = 0.83 * $(423)^{0.2}$ = 2.78 يوم (2.75 يوم أفضل)

الإحداثيات الرأسية لـ 6 ساعة مخطط ماء قياسي (m^3/s) العمود 3 ÷ 4	الإحداثيات الرأسية لـ (m^3/s) DRH	الجريان القاعدي (m^3/s)	الإحداثيات الرأسية لهيدروغراف العاصفة (m^3/s)	الوقت من بداية الزخة المطرية (hr)
5	4	3	2	1
0	0	10	10	−6
0	0	10	10	0
6.7	20	10	30	6
25.7	77	10.5	87.5	12
33.7	101	10.5	111.5	18
30.7	92	10.5	102.5	24
24.7	74	11	85	30
20	60	11	71	36
16	48	11	59	42
12	36	11.5	47.5	48
9.2	27.5	11.5	39	54
6.6	20	11.5	31.5	60
4.6	14	12	26	66
3.2	9.5	12	21.5	72
1.8	5.5	12	17.5	78
0.8	2.5	12.5	15	84
0	0	12.5	12.5	90
0	0	12	12	96
0	0	12	12	102

Σ 587 m^3/s

عمق السيح = (587*6*3600) / (10^6*423) = 3 سم

مثال (7) / خمن ذروة هيدروغراف 3 ساعة قياسي ، إذا علمت أن ذروة هيدروغراف الفيضان الناتجة بسبب 3 ساعة مطر مؤثر هي 270 م^3/ثا وإن معدل عمق المطر يساوي 5.9 سم ، أفرض أن معدل ضائعات النفاذية يساوي 0.3 سم / ساعة وإن الجريان القاعدي قيمته ثابتة و يساوي 20 م^3 / ثا ؟

الحل /

قيمة المطر المؤثر = 5.9 – 3*0.3 =5 سم

ذروة الـ DRH = 270 – 20 = 250 م^3/ ثا

ذروة الـ UH – 3 ساعة = 250 / 5 = 50 م^3 / ثا

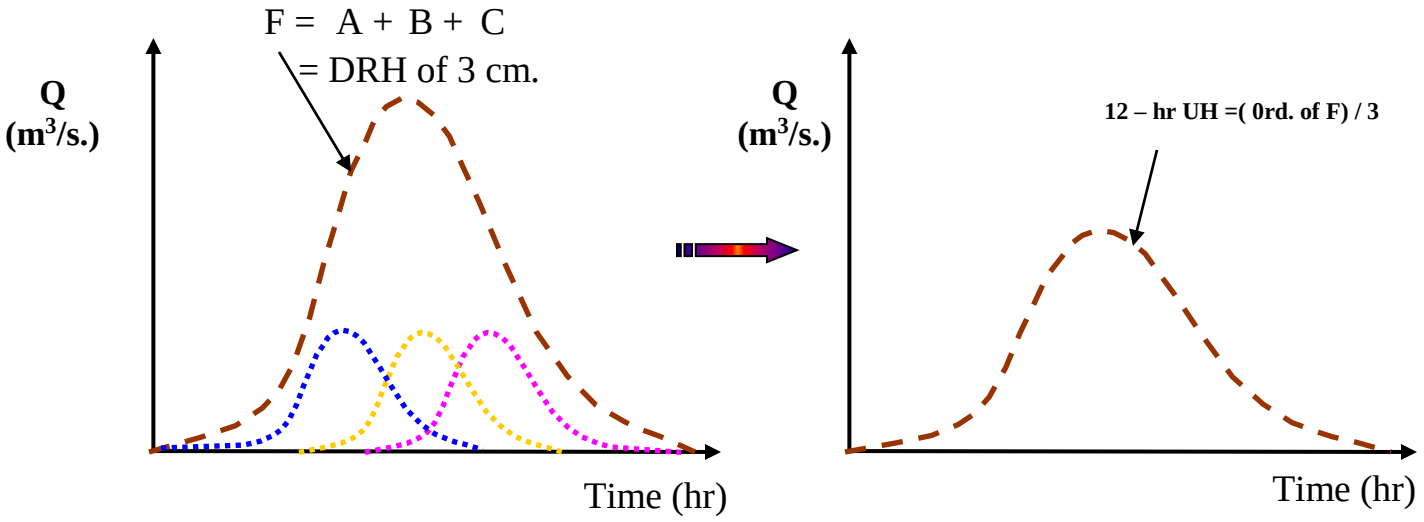
9.5. الهيدروغراف القياسي لإستدامات مختلفة Unit Hydrograph for Different Duration:

هنالك عدة طرق لإشتقاق مخطط الماء القياسي الذي إستدامته nD – ساعة من مخطط ماء قياسي إستدامته D – ساعة ، ومن أهم هذه الطرق :

1. طريقة الإنطباق
2. طريقة منحني S

1. طريقة الإنطباق Super Position Method :

إذا توافر الهيدروغراف القياسي الذي إستدامته D – ساعة وكان المطلوب هو إشتقاق مخطط الماء القياسي لـ nD – ساعة حيث n عدد صحيح ، فإنه من السهولة إنطباق n من المخططات القياسية مع كل رسم مفصول عن السابق بـ D – ساعة :



مثال (8) / المعلومات المعطاة هي الإحداثيات الصادية لهيدروغراف قياسي إستدامته 4 – ساعة ، إشتق الإحداثي الصادي لـ 12 – ساعة مخطط ماء قياسي.

إحداثيات UH – 12 ساعة (العمود 5 ÷ 3)	الأعمدة 2+3+4	C يزحف بـ 8 ساعة	B يزحف بـ 4 ساعة	A	الوقت (ساعة)
6	5	4	3	2	1
0	0	-	-	0	0
6.7	20	-	0	20	4
33.3	100	0	20	80	8
76.7	230	20	80	130	12
120	360	80	130	150	16
136.7	410	130	150	130	20
123.3	370	150	130	90	24
90.7	272	130	90	52	28
56.3	169	90	52	27	32
31.3	94	52	27	15	36
15.7	47	27	15	5	40
6.7	20	15	5	0	44
1.7	5	5	0	-	48
0	0	0	-	-	52

2. طريقة منحني S S - Curve Method :

يتم إستخدام هذه الطريقة إذا كان المطلوب إشتقاق هيدروغراف قياسي إستدامته mD حيث m كسر ، والمنحني S (هيدروغراف S) هو هيدروغراف ينتج من أمطار مؤثرة و مستمرة بمعدل ثابت في زمن غير محدد.

مثال (9) / أعد حل المثال السابق بطريقة المنحني S .

الوقت (ساعة)	إحداثيات UH-4 hr	منحني S	إحداثيات منحني S (3+2)	منحني S متخلف بـ 12 ساعة	عمود 4 – عمود 5	العمود 6 ÷ (4/12)
1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	–	0	0
4	20	0	20	–	20	6.7
8	80	20	100	–	100	33.3
12	130	100	230	0	230	76.7
16	150	230	380	20	360	120
20	130	380	510	100	410	136.7
24	90	510	600	230	370	123.3
28	52	600	652	380	272	90.7
32	27	652	679	510	169	56.3
36	15	679	694	600	94	31.3
40	5	694	699	652	47	15.7
44	0	699	699	679	20	6.7
48	–	699	699	694	5	1.7
52	–	–	699	699	0	0

مثال (10) / الإحداثيات الرأسية للهيدروغراف القياسي 4 – ساعة مبينة أدناه . إستعمل هذه الإحداثيات و إشتق إحداثيات مخطط هيدروغراف إستدامته 2 – ساعة لنفس الجابية .

الحل/

الوقت (ساعة)	إحداثيات UH-4 hr	منحني S	إحداثيات منحني S (3+2)	منحني S متخلف بـ 2 ساعة	عمود 4 – عمود 5	العمود 6 ÷ (4/2) (UH – 2hr)
1	2	3	4	5	6	7
0	0	-	0	-	0	0
2	8	-	8	0	8	16
4	20	0	20	8	12	24
6	43	8	51	20	31	62
8	80	20	100	51	49	98
10	110	51	161	100	61	122
12	130	100	230	161	69	138
14	146	161	307	230	77	154
16	150	230	380	307	73	146
18	142	307	449	380	69	138
20	130	380	510	449	61	122
22	112	449	561	510	51	102
24	90	510	600	561	39	78
26	70	561	631	600	31	62
28	52	600	652	631	21	42
30	38	631	669	652	17	34
32	27	652	679	669	10	20
34	20	669	689	679	10	20
36	15	679	694	689	5	10
38	10	689	699	694	5	10
40	5	694	699	699	0	(0) 3
42	2	699	701	699	(2)	(4) 0
44	0	699	699	701	(-2)	(-4) 0

10.5.إستعمالات و محددات الهيدروغراف القياسي:

أ. الإستعمالات:

1. في تطوير هيدروغراف الفيضان و معرفة قيمة المطر القصوى المستخدمة في تصاميم منشآت التصريف.
2. في إستكمال سجلات الجريان بالإعتماد على سجلات المطر.
3. لأغراض التنبؤ بالفيضان وفي إطلاق التحذيرات إعتماداً على الأمطار الساقطة.

يفترض مخطط الهيدروغراف القياسي بأن الأمطار الساقطة على جابية لها توزيع منتظم ، كذلك الشدة المطرية، فإنها يفترض أن تكون ثابتة خلال إستدامة المطر الزائد، ومن الناحية العملية فإن هذين الظرفين لا يطبقان بدقة ، حيث أنه من المعتاد أن تكون الأمطار غير منتظمة على المساحة ، و كذلك فإن الشدة مختلفة خلال فترة سقوط العاصفة المطرية وتحت مثل هذه الظروف فإن الهيدروغراف القياسي لا يزال يستعمل فيما إذا كان هناك توزيع مساحي متجانس للعواصف المختلفة.

على أية حال، فإن حجم المساحة يعد العامل المؤثر الأعلى على تطبيق الهيدروغراف القياسي، حيث يمكن القول أن المساحة 5000 كم^2 تعد الحد الأعلى لمساحة الجابية المستعملة في تطبيقات الهيدروغراف القياسي.

ب. المحددات:

1. إن السقيط يجب أن يكون مطراً فقط وذوبان الثلوج لا يمكن تمثيلها في الهيدروغراف القياسي.
2. الجابية يجب أن لا تحتوي على خزن كبير مثل الأحواض أو الصهاريج وكذلك الخزن في الضفاف الفيضانية والتي تؤثر على العلاقة الخطية بين الخزن و التصريف.
3. إذا كان السقيط غير منتظم فأن نتائج الهيدروغراف القياسي تكون غير جيدة.

و بصورة عامة، في إستعمالات الهيدروغراف لا يمكن توقع نتائج دقيقة جداً حيث أن الإختلافات في قاعدة الهيدروغراف تكون بحدود ±20 % وفي ذروة التصريف تكون بحدود ±10 % و تعتبر هذه النتائج مقبولة.

مثال (11) / جابية مساحتها 200 هكتار سقطت عليها أمطار في ثلاثة أيام متعاقبة و كانت أعماق المطر هي 7.5 و 2 و 5 سم على التوالي . أفرض معدل المؤشر Φ 2.5 سم / يوم ، رسم التوزيع كنسبة مئوية من السيح السطحي والذي يمتد أكثر من 6 يوم لكل عاصفة مطرية والتي إستدامتها يوم واحد هي 5 ، 15 ، 40 ، 25 ، 10 ،5 . حدد إحداثيات تصريف الهيدروغراف بعد إهمال تصريف الجريان القاعدي.

الحل /

الوقت (day)	الأمطار (cm)	Φ (cm/day)	ER (cm)	نسبة معدل التوزيع %	توزيع السيح للمطر الزائد (cm)			السيح	
					5	0	2.5	cm	m^3 / s
1– 0	7.5	2.5	5	5	0.25			0.25	5.79
2– 1	2	2.5	0	15	0.75	0		0.75	17.36
3 – 2	5	2.5	2.5	40	2	0	0.125	2.125	49.19
4 – 3				25	1.25	0	0.375	1.625	37.62
5 – 4				10	0.5	0	1	1.5	34.72
6 – 5				5	0.25	0	0.625	0.875	20.25
7 – 6				0	0	0	0.25	0.25	5.79
8 – 7							0.125	0.125	2.89
9 – 8							0	0	0

السيح في يوم واحد * (200*10^4 / 86400) = السيح في يوم واحد * 23.148 م^3 / ثا

الفصل السادس
الفيضانات
(Floods)

1.7. الفيضان Flood : عبارة عن إرتفاع منسوب النهر بصورة غير عادية بحيث يطفح النهر على ضفتيه ويغرق المنطقة المجاورة. إن مخطط ماء الفيضان (الهيدروغراف) للفيضانات العالية و بيانات مناسيب المياه المقابلة لذروات الفيضان توفر معلومات و بيانات مهمة تساعد في التصميم الهيدرولوجي وفضلاً عن ذلك فإن من بين الخصائص المختلفة لهيدروغراف الفيضان، أن معيار ذروة الفيضان يعد من أهم المعايير المستخدمة وأوسعها إنتشاراً، ففي موقع معين تتغير ذروات الفيضان بين سنةٍ وأخرى و تشكل مقاديرها السلسلة الهيدرولوجية والتي من خلالها يمكن تحديد التردد لذروة الفيضان وعملياً يمكن القول أنه عند تصميم جميع المنشآت الهيدروليكية فإن تصريف الذروة لتردد (مرة واحدة لكل 100 سنة مثلاً) يعد ذا أهمية لإنشاء هذه المنشآت و تحقيق الأغراض المنشودة منها ، ولغرض حساب مقدار ذروة الفيضان تتوفر الطرق الآتية :

1. الطريقة العقلانية Rational Method
2. الطريقة الوضعية (التجريبية) Empirical Method
3. طريقة الهيدروغراف Hydrograph Method
4. دراسات تردد الفيضان Flood – Frequency Studies

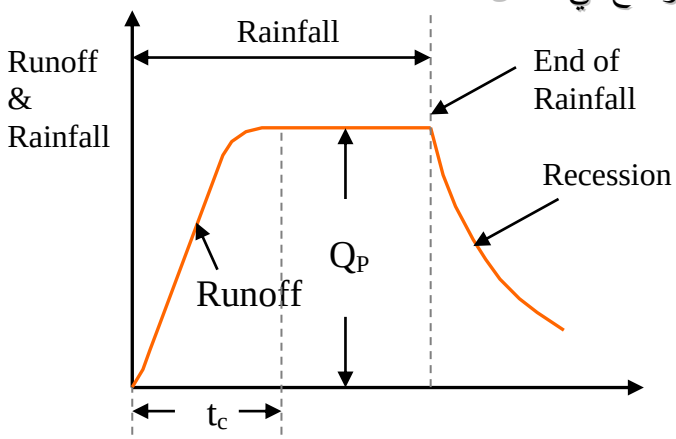
وتعتمد دراسة طريقة ما على عدة عوامل منها :

أ. الغرض المنشود ب. البيانات المتوفرة ج. أهمية المنشأ

---

1. الطريقة العقلانية Rational Method :

بإفتراض سقوط المطر بشدة منتظمة ولفترة إستدامة طويلة جداً على حوض ماء ، فإن معدل السيح يزداد تدريجياً من الصفر إلى قيمة ثابتة وكما موضح في الشكل:



حيث يزداد السيح بإستمرار وصول التصريف من المناطق البعيدة من الجابية إلى المخرج (0utlet) ، فإذا رمزنا إلى الفترة التي تصل فيها قطرة الماء من أبعد جزء من الجابية إلى مخرجها بالرمز (t_c) (زمن التركيز) فإن من الواضح إنه إذا استمر سقوط المطر إلى ما بعد (t_c) فإن السيح سيصبح ثابتاً عند قيمة الذروة (Q_P):

$$Q_P = C\ A\ i \qquad t \geq t_c$$

C = Runoff / Rainfall , A : مساحة الجابية , i : شدة المطر

وعند إستخدام الوحدات الحقلية يمكن كتابة المعادلة أعلاه كما يأتي:

$$Q_P = \frac{1}{3.6} C\ (i_{tcp})\ A$$

Q_P : (m^3/s) تصريف الذروة , C : معامل السيح , i_{tcp} : P وإحتمالية t_c لإستدامة (ملم / ساعة) متوسط شدة المطر

A : مساحة التصريف (كم^2)

وقت التركيز (t_c) Time of Concentration:

هناك عدة معادلات تجريبية لتخمين وقت التركيز ومن أهم هذه الطرق :

أ. الطريقة الأمريكية U.S.A. Practice: في حالة كون أحواض التصريف لجابية صغيرة فإن زمن التركيز يساوي تقريباً فترة تصريف الذروة :

$$t_c = t_P = C_{tL} \left(\frac{LL_{ca}}{\sqrt{s}}\right)^n$$

t_c : (ساعة) زمن التركيز , n = 0.38 , s : ميل الجابية الموزون

C_{tL}= constant

= 0.83 للمناطق الجبلية

= 0.5 للتلال

= 0.24 للوديان

L : طول الجابية وتقاس على طول المجرى المائي من خط تقسيم الجابية (كم)

L_{ca} : المسافة على طول المجرى المائي من محطة القياس إلى نقطة على المجرى المائي في مركز الجابية (كم)

ب. معادلة كيربج Kirpich Equation :

$$t_c = 0.01947\ L^{0.77}\ S^{-0.385}$$

t_c : (min) فترة التركيز

L : (m) أقصى مسافة يقطعها الماء

$S = \Delta H / L$: إنحدار الجابية

ΔH : فرق المنسوب من أبعد نقطة في الجابية إلى المخرج

شدة المطر Rainfall Intensity :

إن شدة المطر المكافئة لإستدامة معينة تساوي t_c وبإحتمالية تجاوز P (أي فترة رجوع $T = 1 / P$) يمكن إيجادها بواسطة العلاقة بين تردد المطر و الإستدامة للجابية :

$$i_{tcp} = \frac{KT^x}{(t_c + a)^m}$$

K , a , x , m ثوابت

مثال (1) / منطقة سكنية معامل السيح لها 0.3 و مساحتها 0.85 كم^2 ، فإذا علمت إن إنحدار الجابية 0.006 وأقصى مسافة يقطعها الماء تساوي 950 م وكان معدل سقوط المطر خلال فترة الرجوع 25 سنة هي كما في الجدول التالي :

الإستدامة (min)	5	10	20	30	40	60
معدل سقوط المطر (mm)	17	26	40	50	57	62

إحسب معدل تصريف الذروة (Q_P) لتصميم منشأ عند منفذ هذه المنطقة لفترة رجوع 25 سنة.

الحل /

$t_c = 0.01947 * (950)^{0.77} * (0.006)^{-0.385} = 27.4$ min.

أقصى عمق للمطر لإستدامة 27.4 دقيقة (ملم) :

$$\frac{50-10}{10} * 7.4 + 40 = 47.4 \text{ mm}$$

متوسط الشدة i_{tcp} (ملم / ساعة) :

$$i_{tcp} = \frac{47.4}{27.4} * 60 = 103.8 \text{ mm/hr.}$$

$$Q_p = \frac{0.3*103.8*0.85}{3.6} = 7.35 \ m^3/s.$$

2. الصيغ التجريبية (الوضعية) Empirical Formulas :

تعد الصيغ الوضعية المستخدمة لحساب ذروة الفيضان صيغاً محلية تعتمد على الإرتباط الإحصائي لخصائص الذروة و منطقة الجابية. ولغرض تسهيل شكل المعادلة تستخدم بعض المعايير التي تؤثر على ذروة الفيضان ، فعلى سبيل المثال تستخدم جميع الصيغ مساحة منطقة الجابية معياراً مهماً يؤثر على ذروة الفيضان وبنفس الوقت فأن معظم هذه الصيغ تهمل تكرار الفيضان بوصفه معياراً. من هذا المنطلق تطبق الصيغ الوضعية فقط في المناطق التي إشتقت فيها هذه الصيغ.

العلاقات بين ذروة الفيضان و المساحة Flood Peak – Area Relationships:

إن أسهل الصيغ الوضعية هي تلك التي تربط ذروة الفيضان الأقصى Q_P من منطقة الجابية التي مساحتها A بالعلاقة الآتية :

$$Q_P = f(A)$$

أ. صيغة ديكنز Dickens Formula :

$$Q_P = C_D A^{3/4}$$

Q_P : التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s)

A : مساحة الجابية $(كم^2)$

C_D : ثابت ديكنز (30 – 6)

ب. صيغة رايف Ryves Formula :

$$Q_P = C_R A^{2/3}$$

Q_P : التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s)

A : مساحة الجابية $(كم^2)$

C_R : ثابت رايف

= 6.8 للمناطق التي تبعد بحدود (80) كم عن الساحل

= 8.5 للمناطق التي تبعد بحدود (80 – 160) كم عن الساحل

= 10.2 لبعض المناطق قرب الجبال

جـ . صيغة إنجليس Inglis Formula :

$$Q_P = \frac{124A}{\sqrt{A+10.4}}$$

Q_P : التصريف الأقصى للفيضان (m^3/s)

A : مساحة الجابية $(كم^2)$

د. صيغة فولر Fuller's Formula:

$$Q_{TP} = C_f\, A^{0.8}\ (1+ 0.8 \log T)$$

Q_{TP} : التصريف الأقصى خلال 24 ساعة بتردد T سنة (m^3/s)

C_f : ثابت فولر $(1.88 - 0.18)$

هـ . صيغة بيرد – ماكوارن Bird – McWarn Formula :

$$Q_{MP} = \frac{3025A}{(278+A)^{0.78}}$$

مثال (2) / إحسب التصريف الأقصى للفيضان بإستخدام صيغة وضعية و لمساحة جابية مقدارها 40.5 كم^2 ؟

الحل/

1. صيغة ديكنز $(C_D = 6)$

$$Q_P = 6 * (40.5)^{0.75} = 96.3\ m^3/s$$

2. صيغة ديكنز $(C_R = 6.8)$

$$Q_P = 6.8\ (40.5)^{2/3} = 80.2\ m^3/s$$

3. صيغة إنجليس

$$Q_P = \frac{124*40.5}{\sqrt{40.5+10.4}} = 704\ \ m^3/s$$

4. صيغة بيرد – ماكوارن :

$$Q_{MP} = \frac{3025*40.5}{(278+40.5)^{0.78}} = 1367\ m^3/s$$

3. الهيدروغراف القياسي (مخطط الماء) Unit Hydrograph :

يمكن إستخدام تقنية الهيدروغراف القياسي للتنبؤ بذروة الهيدروغراف، إذا كانت خصائص المطر المسببة للفيضان وخصائص الإرتشاح إضافةً إلى الهيدروغراف القياسي متوفرة.

4. دراسات تردد الفيضان Flood – Frequency Studies :

بالإضافة للطرق السابقة لحساب التصاريف القصوى للفيضان هنالك دراسات تردد الفيضان والتي تعتمد على الطرق الإحصائية لتحليل التردد.

إن قيم الفيضان السنوي القصوى في منطقة الجابية لعدد من السنين المتوالية و التي تشكل سلسلة من البيانات الهيدرولوجية يطلق عليها مصطلح السلسلة السنوية، وهذه البيانات يتم ترتيبها تنازلياً ثم تحسب الإحتمالية لكل حالة تساوي أو تتجاوز من خلال صيغة تعيين المواقع Plotting Position وهي :

$$P = m / (N+1) \qquad \text{and} \qquad T = 1 / P$$

وبناءاً على ما تقدم فإن إحتمال حصول الحالة (r) مرة في n من السنين المتوالية هي:

$$P_{r,n} = \frac{n!}{(n-r)!r!} P^r q^{(n-r)}$$

إن دوال التوزيع التكراري التي يمكن تطبيقها في الدراسات الهيدرولوجية يعبر عنها بالمعادلة الآتية التي يطلق عليها المعادلة العامة لتحليل التردد الهيدرولوجي:

$$X_T = \overline{X} + k\,\sigma$$

X_T : قيمة المتغير X لسلسلة هيدرولوجية عشوائية فترة تكرارها T

$\overline{X}$: المتوسط الحسابي للمتغيرات

σ : الإنحراف القياسي

k : معامل التردد ويعتمد على فترة التكرار T والتوزيع التكراري المفترض

ومن بين دوال التوزيع التكراري الشائعة الإستخدام ما يأتي :

1. توزيع كامبل للحدود القصوى.
2. توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث.
3. التوزيع الطبيعي اللوغاريتمي.

2.7. معادلة كامبل الحقيقية Real Gumbel's Equation:

$$X_T = \overline{X} + k\,\sigma_{n-1}$$

X_T : قيم التصاريف القصوى لفترة تكرار T سنة

$$Y_T = -\left[\ln . \ln \frac{T}{T-1}\right] \qquad k = \frac{Y_T - \overline{Y_n}}{S_n}$$

ملاحظة /

تستخرج قيم $\bar{Y}_n$ (قيمة المتوسط المختزل) من جدول 7 – 3 ص[317] وقيم S_n (قيم الإنحراف القياسي المختزل) من جدول 7 – 4 ص[318] إعتماداً على حجم العينة (N).

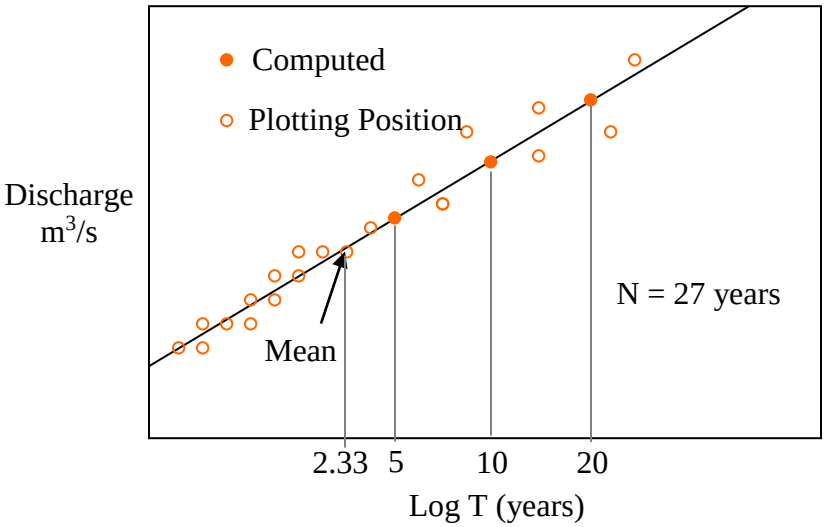
مثال (3) / كانت التصاريف القصوى المسجلة لأحد الأنهار في الفترة 1951 إلى 1977 كما هو موضح أدناه، تحقق من وجود مطابقة بين توزيع كامبل للحدود القصوى و بين هذه القيم ، كذلك إحسب تصريف الفيضان لفترة تكرار أمدها :

1. 100 سنة 2. 150 سنة بواسطة الإستقراء الخطي

السنة	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
أقصى فيضان (m^3/s)	2947	3521	2399	4124	3496	2947	5060	4903	3757	4798	4290	4652	5050	6900
السنة	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
أقصى فيضان (m^3/s)	4366	3380	7826	3320	6599	3700	4175	2988	2709	3873	4593	6761	1971	

الحل / ترتب القيم تنازلياً

$T_P = (N+1)/m = 28 / m$



التسلسل	تصريف الفيضان (x) (m^3/s)	T (year)
1	7820	28
2	6900	14
3	6761	9.33
4	6599	7
5	5060	5.6
6	5050	4.67
7	4903	4
8	4798	3.5
9	4652	3.11
10	4593	2.8
11	4366	2.55
12	4290	2.33
13	4175	2.15
14	4124	2
15	3873	1.87
16	3757	1.75

1.65	3700	17
1.56	3521	18
1.47	3496	19
1.4	3380	20
1.33	3320	21
1.27	2988	22
1.21	2947	23
1.17	2747	24
1.12	2709	25
1.08	2399	26
1.04	1971	27

T = 5 years : $\overline{X} = 4263$, $\sigma_{n-1} = 1432.6$

$Y_T = -[\ln.\ln(5/4)] = 1.5$

$K = (1.5 - 0.5332)/1.1004 = 0.88$, $\overline{X}_5 = 4263 + (0.88 * 1432.6) = 5522\ m^3/s.$

T = 10 years : $\overline{X}_{10} = 6499\ m^3/s.$, $\overline{X}_{20} = 7436\ m^3/s.$

من خلال الرسم يتبين أن البيانات المعطاة تتطابق بصورة جيدة مع مخطط كامبل للقيم القصوى ، وبواسطة الإستقراء للعلاقة بين X_T و T تكون :

$T = 100$ year $\Longrightarrow X_T = 9600\ m^3/s.$

$T = 150$ year $\Longrightarrow X_T = 10700\ m^3/s.$

وبإستخدام المعادلات :

$X_{100} = 9558\ m^3/s.$ & $X_{150} = 10088\ m^3/s.$

ملاحظة / عندما T = 2.33 سنة فإن قيمة الفيضان المقابلة تسمى متوسط الفيضان السنوي(Mean Annual Flood).

مثال (4) / كانت نتائج حسابات تردد الفيضان لأحد الأنهر بإستخدام طريقة كامبل كما هو مبين أدناه :

فترة العودة T (سنة)	**50**	**100**
ذروة الفيضان ($م^3$/ثا)	**40809**	**46300**

إحسب مقدار الفيضان في هذا النهر لفترة تكرار 500 سنة .

الحل/

$X_{100} = \underline{X} + k_{100}\ \sigma_{n-1}$

$X_{50} = \overline{X} + k_{50}\ \sigma_{n-1}$

$(k_{100} - k_{50})\ \sigma_{n-1} = X_{100} - X_{50}$

$= 46300 - 40809 \Longrightarrow (k_{100} - k_{50})\ \sigma_{n-1} = 5491$

$$k_T = \frac{Y_T}{S_n} - \frac{\overline{Y_n}}{S_n}$$

$Y_{100} = -[\ln . \ln (100/99)] = 4.6$, $Y_{50} = 3.9$

$$\left(\frac{Y_{100} - \overline{Y_n}}{S_n} - \frac{Y_{50} - \overline{Y_n}}{S_n}\right)\sigma_{n-1} = 5491 \quad \Longrightarrow \quad \sigma_{n-1}/ S_n = 5491 / (4.6 - 3.9) = 7864$$

عندما T = 500 سنة:

$Y_{500} = -[\ln . \ln (500/499)] = 6.21$

$(Y_{500} - Y_{100}) * (\sigma_{n-1}/ S_n) = X_{500} - X_{100}$

$(6.21 - 4.6) * 7864 = X_{500} - 46300$

$X_{500} = 59000\ m^3/s.$

3.7. حدود الثقة Confidence Limits:

إن قيمة المتغير X لفترة تكرار معلومة والمحسوبة بطريقة كامبل يمكن أن يرافقها بعض الخطأ جراء بيانات العينة المحددة ، لذلك فإن من الضروري في هذه الحالة إستخدام ما يعرف بحدود الثقة، وهي التي توضح حدود القيمة المحسوبة والتي بينها يمكن أن تكون القيمة الحقيقية بإعتبار إحتمالية معينة تعتمد على الخطأ الحاصل في العينة فقط. فإذا علمت أن إحتمالية الثقة هي C فإن فترة الثقة للمتغير ستتراوح بين القيمة X_1 والقيمة X_2 والتي يعبر عنها رياضياً كما يأتي :

$$\mathbf{X_{1/2} = X_T \pm f(c)\ S_e}$$

f(c) : دالة إحتمالية الثقة C المحسوبة بإستخدام الجدول التالي

C %	50	68	80	90	95	99
f(c)	0.674	1	1.282	1.645	1.96	2.58

S_e : الخطأ المحتمل $\Longrightarrow S_e = b\frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{N}}$ and $b = \sqrt{1+1.3k+1.1k^2}$

$k = \frac{Y_T - \overline{Y_n}}{S_n}$ (معامل التردد) , N : حجم العينة

مثال (5) / إذا علمت أن المتوسط الحسابي والإنحراف القياسي لسلسلة الفيضانات السنوية لبيانات مأخوذة عبر 92 سنة لأحد الأنهار كانت 6437 و 2951 م^3/ثا على التوالي ، إستخدم طريقة كامبل لحساب تصريف الفيضان لفترة تكرار 500 سنة . ماهي :

أ. 95% ب.80% حدود الثقة لهذا التخمين.

الحل/

من جدول 7 – 3 N = 92 ⟸ $Y_n = 0.5589$

من جدول 7 – 4 N = 92 ⟸ $S_n = 1.202$

$Y_{500} = - [\ln .\ln (500 / 499)] = 6.21$

$K_{500} = (6.21 – 0.5589) / 1.202 = 4.7$

$X_{500} = 6437 + 4.7 * 2951 = 20320\ m^3/s.$

$b = \sqrt{1+1.3*4.7+1.1(4.7^2)} = 5.61$, $S_e = 5.61*\frac{2951}{\sqrt{92}} = 1726$

أ. = 95 % ⟸ f (c) = 1.96

$X_{1/2} = 20320 \pm (1.96 * 1726)$

$X_1 = 23703\ m^3/s$, $X_2 = 16937\ m^3/s$

ب. = 80 % ⟸ f (c) = 1.282

$X_{1/2} = 20320 \pm (1.282 * 1726)$

$X_1 = 22533\ m^3/s$, $X_2 = 18110\ m^3/s$

4.7. توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث :

في هذا التوزيع يتم تحويل المتغير X إلى الشكل اللوغاريتمي ثم يجري تحليل البيانات :

$Z = \log X \Longrightarrow \boxed{\overline{Z}_T = Z + k_z \sigma_z}$

k_z : معامل التكرار وهو دالة لفترة التكرار ومعامل الإلتواء (C_s)

σ_z : الإنحراف المعياري للمتغير Z

$\sigma_z = \sqrt{\sum (Z - \overline{Z})^2 / (N - 1)}$

$$C_s = \frac{N\sum(Z-\bar{Z})^3}{(N-1)(N-2)(\sigma_z)^3}$$

$\bar{Z}$: المتوسط الحسابي لقيم Z

N : حجم العينة

Where k_z (C_s , T) جدول (6 – 7) ص[327]

مثال (6) / بالرجوع إلى بيانات السلسلة السنوية للفيضانات للمثال (3) ، إحسب:
أ) 100 سنة ب) 200 سنة بإستخدام توزيع بيرسون اللوغاريتمي من النوع الثالث .
الحل/

السنة	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
أقصى فيضان (X) (m^3/s)	2947	3521	2399	4124	3496	2947	5060	4903	3757	4798	4290	4652	5050	6900
Z = log X	3.4694	3.5467	3.38	3.6153	3.5436	3.4694	3.7042	3.6905	3.5748	3.6811	3.6325	3.6676	3.7033	3.8388
السنة	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	
أقصى فيضان (X) (m^3/s)	4366	3380	7826	3320	6599	3700	4175	2988	2709	3873	4593	6761	1971	
Z = log X	3.6401	3.5289	3.8935	3.5211	3.8195	3.5682	3.6207	3.4754	3.4328	3.588	3.6621	3.83	3.2947	

$\sigma_z = 0.1427$, $\bar{Z} = 3.607$

$$C_s = \frac{27\sum 0.003}{26*25*(0.1427)^3} = 0.043$$

X_T (m^3/s)	Z_T	$K_z\ \sigma_z$	K_z	T (year)
8709	3.94	0.3325	2.33	100
9440	3.975	0.369	2.584	200

الفصل السابع
إستتباع الفيضان
(Flood Routing)

1.8. إستتباع الفيضان : هو تقنية لحساب مخطط ماء الفيضان عند مقطعٍ ما في النهر بإستخدام بيانات تصريف الفيضان عند مقطعٍ أو أكثر في أعالي النهر. ويتضمن تحليل مخطط ماء الفيضان لحالات التكهن بالفيضان ودرء الفيضان ، وتصميم الخزان والمسيل المائي وغيرها تستخدم هذه التقنية. وبهذا الخصوص هنالك نوعان رئيسيان من طرق الإستتباع هما:

1. إستتباع الخزان 2. إستتباع القناة

ففي النوع الأول يدرس تأثير الفيضان الداخل إلى الخزان، ومن معرفة خصائص الحجم – المنسوب للخزان وعلاقات التصاريف الخارجة ومنسوبها للمسيل المائي وبقية المنافذ الأخرى في الخزان تمت دراسة تأثير موجة الفيضان الداخلة إلى الخزان وذلك لأغراض التكهن بالإرتفاعات المختلفة للخزان وكذلك التصريف الخارج مع الزمن وهذا النوع من إستتباع الخزان يعد مهماً في الحالات التالية:

أ. في تصميم سعة المسيل المائي وغيرها من منشآت منافذ المياه.

ب. إختيار الموقع وحجم الخزان الذي يناسب بعض المتطلبات الخاصة.

أما بالنسبة لإستتباع القناة فتتم دراسة التغيرات الحاصلة على شكل مخطط ماء الفيضان عند مرورها جنوب القناة. وبإفتراض طول القناة ومقدار التصريف الداخل في النهاية العليا يمكن بهذا النوع من الإستتباع التكهن بمخطط ماء الفيضان عند مختلف المقاطع من القناة.

2.8. إستتباع الخزين الهيدرولوجي Hydrologic Storage Routing :

تتوافر كثير من طرق الإستتباع لفيضان خلال الخزان ومن بين هذه الطرق:

1. طريقة باول المحورة Modified Paul's Method :

$$\left(\frac{I_1+I_2}{2}\right)\Delta t+\left(S_1-\frac{Q_1\Delta t}{2}\right)=\left(S_2+\frac{Q_2\Delta t}{2}\right)$$

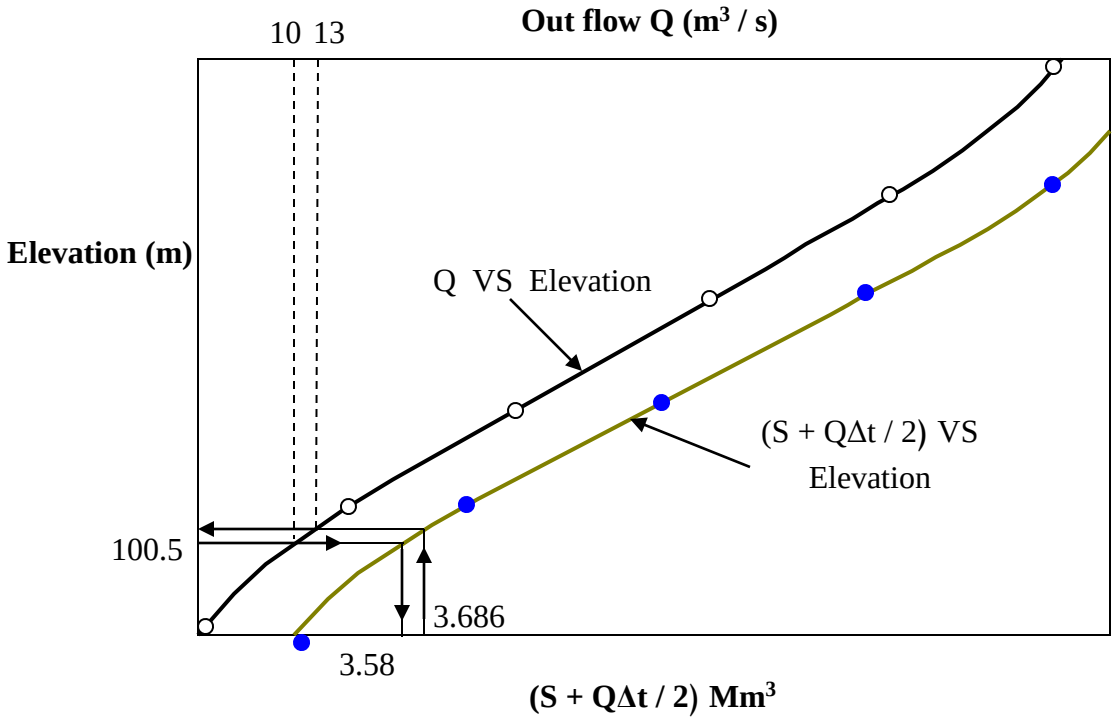
Q_1 , Q_2 : قيم التصاريف الخارجة من الخزان في بداية و نهاية الفترة الزمنية (Δt)

I_1 , I_2 : قيم التصاريف الداخلة إلى الخزان في بداية و نهاية الفترة الزمنية (Δt)

S_1 , S_2 : قيم الخزين في الخزان في بداية و نهاية الفترة الزمنية (Δt)

بصورة عامة تستخدم الطريقة شبه اللوغاريتمية الآتية بإعتبارها طريقة ملائمة:

1. من معرفة قيم علاقات الخزين – المنسوب وبيانات التصريف مقابل المنسوب ، يمكن رسم $(S + Q\Delta t / 2)$ مقابل المنسوب كما في الشكل، وهنا يمثل أي فترة زمنية مقدارها 20% – 40% من فترة الصعود في مخطط ماء التصريف الداخل.
2. وعلى نفس الشكل يمكن رسم منحني التصريف الخارج مقابل المنسوب.
3. من معرفة الخزين والمنسوب والتصريف الخارج عند بداية الإستتباع تكون الفترة الزمنية $t\Delta$ و $\Delta t\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)$و $(S_1 - Q_1\Delta t / 2)$ معلومة وبناءً عليه يمكن حساب $(S_2 + Q_2\Delta t / 2)$ من المعادلة أعلاه.
4. يحسب منسوب سطح الماء المقابل $(S_2 + Q_2\Delta t / 2)$ بإستخدام الرسم في الخطوة (1) الآنف ذكرها ، أما التصريف الخارج Q_2 عند نهاية الفترة الزمنية فيحسب من الرسم في الخطوة (2).
5. يطرح $Q_2\ \Delta t$ من $(S_2 + Q_2\Delta t / 2)$ ينتج $(S_1 - Q_1\Delta t / 2)$ لبداية الفترة الزمنية اللاحقة.
6. تكرر الطريقة لحين الحصول على مخطط إستتباع التصريف الداخل.



مثال (1) / إذا علمت أن العلاقة بين المنسوب و التصريف و الخزين في خزانٍ ما معطاة بالجدول الآتي :

المنسوب (m)	الخزين ($*10^6$ m^3)	التصريف الخارج (m^3/s)
100	3.35	0
100.5	3.472	10
101	3.88	26
101.5	4.383	46
102	4.882	72
102.5	5.37	100
102.75	5.527	116
103	5.856	130

وعندما كان منسوب الخزان عند مستوى 100.5 م كان مخطط ماء الفيضان في الخزان كما في الجدول الآتي :

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72
التصريف (m^3/s)	10	20	55	80	73	58	46	36	55	20	15	13	11

إرسم مخطط إستتباع الفيضان لحساب :

أ. **مخطط ماء التصريف الخارج.**

ب. **منسوب الخزان مقابل منحني الوقت خلال مسار موجة الفيضان.**

الحل /

تفرض الفترة الزمنية مساوية إلى 6 ساعات ، ومن بين البيانات المتوفرة يتم وضع جدول بين المنسوب – التصريف – $S + Q\Delta t / 2$.

$\Delta t = 6 * 60 * 60 = 0.0216 * 10^6$ sec.

المنسوب (m)	التصريف الخارج (m^3/s)	$(S + Q\Delta t / 2)$ (Mm^3)
100	0	3.35
100.5	10	3.58
101	26	4.16
101.5	46	4.88
102	72	5.66
102.5	100	6.45
102.75	116	6.78
103	130	7.26

ثم ترسم العلاقة بين Q والمنسوب $(S + Q\Delta t / 2)$ مقابل المنسوب كما في الشكل وعند بداية الإستتباع يكون المنسوب 100.5 و $Q = 10\ m^3/s$ و $(S - Q\Delta t / 2) = 3.36$ مليون $م^3$ ، وإبتداءً من هذه القيمة لـ $(S - Q\Delta t / 2)$ تستخدم معادلة باول لإيجاد $(S + Q\Delta t / 2)$ عند نهاية فترة المرحلة الأولى لـ 6 ساعات بشكل :

$$\left(S+\frac{Q\Delta t}{2}\right)_2=(I_1+I_2)\frac{\Delta t}{2}+\left(S-\frac{Q\,\Delta t}{2}\right)_1$$

$$= (10+20) * (0.0216 /2) + (3.362) = 3.686$$

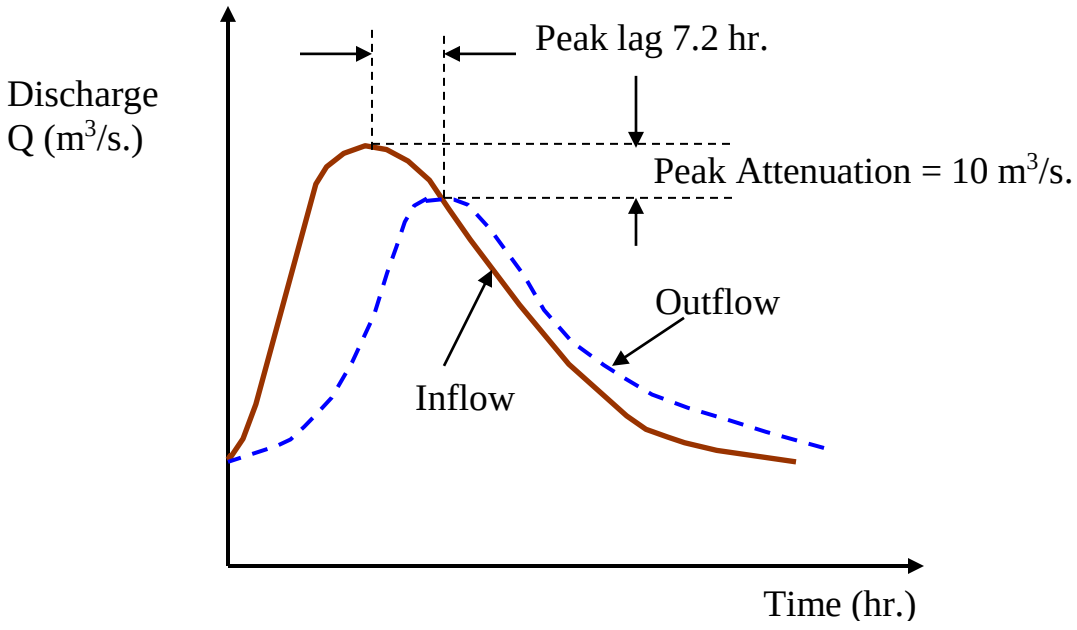
بالرجوع إلى الشكل، فإن منسوب سطح الماء المقابل لـ $(S + Q\Delta t / 2)$ = 3.686 مليون م^3 هو 100.62 م والجريان الخارج المقابل Q يساوي 13 م^3 / ثا وللخطوة التالية تكون القيمة الإبتدائية لـ $(S - Q\Delta t / 2) = (S + Q\Delta t / 2)$ للخطوة السابقة أي:

$$– 13 * 0.0216 = 3.405\ Mm^3$$

تكرر العملية لحين إنتهاء إستدامة هيدروغراف التصريف الداخل وتوضح النتائج على شكل جدول :

Q (m^3/s)	المنسوب (m)	(S + QΔt / 2) (Mm^3)	(S - QΔt / 2) (Mm^3)	IΔt (Mm^3)	I (m^3/s)	التصريف الداخل (m^3/s)	الزمن (hr)
10	100.5	3.686	3.362	0.324	15	10	0
13	100.62	4.215	3.405	0.81	37.5	20	6
27	101.04	5.09	3.632	1.458	67.5	55	12
53	101.64	5.597	3.945	1.652	76.5	80	18
69	101.96	5.522	4.107	1.415	65.5	73	24
66	101.91	5.219	4.096	1.123	52	58	30
57	101.72	4.874	3.988	0.886	41	46	36
45	101.48	4.588	3.902	0.686	31.75	36	42
37	101.3	4.302	3.789	0.513	37.5	55	48
29	100.1	4.054	3.676	0.378	17.5	20	54
23	100.93	3.859	3.557	0.302	14	15	60
18	100.77	3.729	3.47	0.259	12	13	66
14	100.65		3.427			11	72

البيانات في الأعمدة 1 و 7 و 8 يمكن رسم مخطط ماء التصريف الخارج كما في الشكل :



2. طريقة جودرج Goodrich's Method:

$$(I_1 + I_2) + \left(\frac{2S_1}{\Delta t} - Q_1\right) = \left(\frac{2S_2}{\Delta t} + Q_2\right)$$

مثال (2) / إستعن بالبيانات المدرجة في المثال السابق لإستتباع مخطط ماء الفيضان بإستخدام طريقة جودرج ، إذا علمت أن الظروف الإبتدائية عندما t = صفر يكون منسوب الخزان 100.6 م.

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66
التصريف الداخل (m^3/s)	10	30	85	140	125	96	75	60	46	35	25	20

الحل /

$\Delta t = 6 * 60 * 60 = 0.0216 * 10^6$ sec.

المنسوب (m)	التصريف الخارج (m^3/s)	($2S/\Delta t + Q$) (Mm^3)
100	0	310.2
100.5	10	331.5
101	26	385.3
101.5	46	451.8
102	72	524
102.5	100	597.2
102.75	116	627.8
103	130	672.2

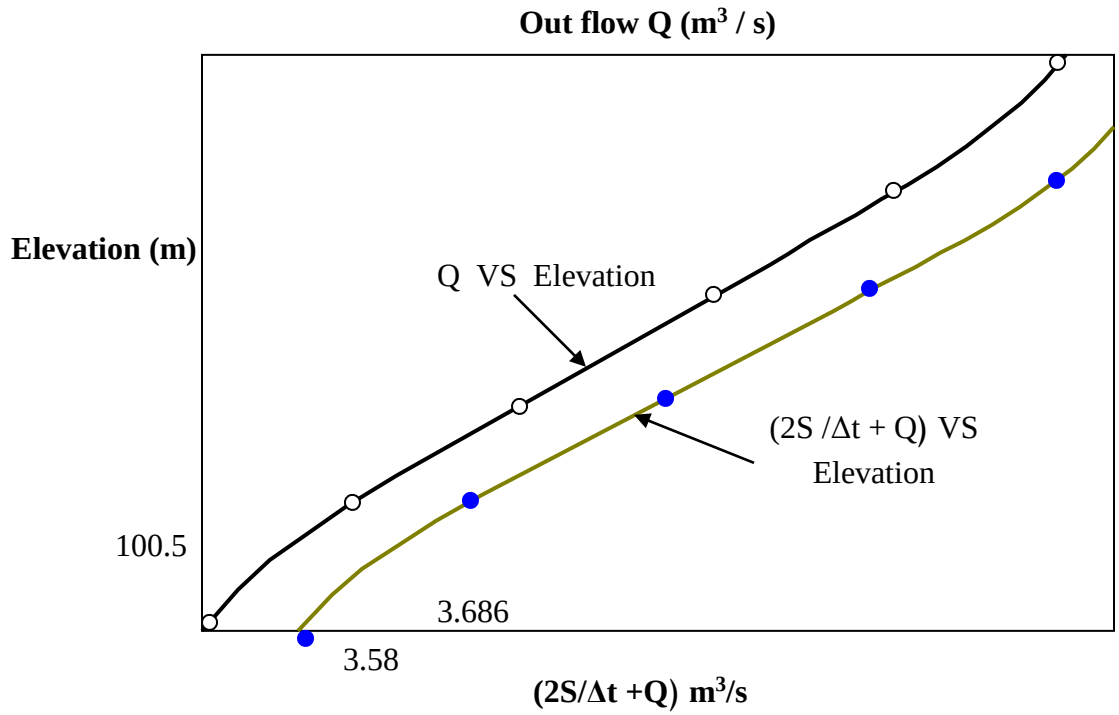
ترسم العلاقة بين :

1. التصريف الخارج (Q) مع المنسوب.
2. ($2S/\Delta t + Q$) مع المنسوب .

عندما t = صفر ، فإن المنسوب يساوي 100.6 من الشكل :

$Q = 12\ m^3/s \Longrightarrow (2S/\Delta t + Q) = 340\ m^3/s$

$(2S/\Delta t - Q) = 340 - 2 * Q = 340 - 2*12 = 316\ m^3/s$



$(2S/\Delta t + Q)_2 = (10 + 30) + 316 = 356$

مقابل $(2S/\Delta t + Q)_2$ = 356 ⟸ المنسوب = 100.74 م و Q = 17 م^3 / ثا

$(2S/\Delta t - Q)_1 = 356 - 2*17 = 322\ m^3 / s$

3.8. إستتباع القناة الهيدرولوجي Hydrologic Channel Routing :

توضح من خلال إستتباع الخزان أن الخزن كان الدالة الوحيدة للتصريف الخارج ، $S = f(Q)$ ، أما إستتباع القنوات فإن الخزن يصبح دالة للتصريفين الداخل و الخارج، $S = f(I,Q)$ ، وبناءً عليه يستوجب اللجوء إلى طريقة أخرى في الإستتباع.

طريقة ماسكنجام في الإستتباع Muskingum's Method for Routing :

$$Q_2 = C_o I_2 + C_1 I_1 + C_2 Q_1$$

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

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

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

$$C_o + C_1 + C_2 = 1$$

معامل موزون : x , ثابت فترة الخزن : k

مثال (3) / إستتبع مخطط المياه لإمتداد من النهر فيها k = 12 و x = 0.2 وفي بداية الفيضان الداخل كانت قيمة التصريف الخارج 10 م^3 /ثا ؟

الحل /

الزمن (ساعة)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54
التصريف الداخل (m^3/s)	10	20	50	60	55	45	35	27	20	15

$I_1 = 10$ $\quad C_1 I_1 = 4.29$

$I_2 = 20$ $\quad C_o I_2 = 0.96$

$Q_1 = 10$ $\quad C_2 Q_1 = 5.23$

$Q = 10.48\ m^3/s$

Q	0.523 Q_1	0.429 I_1	0.048 I_2	I (m^3/s)	الزمن (ساعة)
6	5	4	3	2	1
10	5.23	4.29	0.96	10	0
10.48	5.48	8.58	2.4	20	6
16.46	8.61	21.45	2.88	50	12
32.49	17.23	25.74	2.64	60	18
45.61	23.85	23.6	2.16	55	24
49.61	25.95	19.3	1.68	45	30
46.93	24.55	15.02	1.3	35	36
40.87	21.38	11.58	0.96	27	42
33.92	17.74	8.58	0.72	20	48
27.04				15	54

وللخطوة التالية تكون Δt 6 إلى 12 ساعة Q_1 = 10.48 $م^3$ / ثا . وتكرر الطريقة لفترة مخطط التصريف الداخل. وعند رسم مخططي التصريف الداخل و الخارج تكون قيمتي فاقد الطاقة attenuation وزمن التخلف lag time مساوية لـ 10 $م^3$/ثا و 12 ساعة على التوالي.

الفصل الثامن
المياه الجوفية
(Ground Water)

8. 1. المياه الجوفية : يطلق على المياه في غلاف التربة مصطلح المياه تحت السطحية أو المياه الجوفية وتوجد في منطقتين هما:

1. منطقة التشبع Saturated Zone .
2. منطقة التهوية Aeration Zone .

1. منطقة التشبع Saturated Zone : تعرف هذه المنطقة أيضاً بمنطقة المياه الجوفية وتكون فيها كل فراغات التربة مملوءة بالماء ويشكل منسوب الماء الجوفي water table حدودها العليا أو ما يعرف بالسطح الحر أي السطح المعرض للضغط الجوي.
2. منطقة التهوية Aeration Zone : تكون فراغات التربة في هذه المنطقة مشبعة جزئياً بالماء وتمتد هذه المنطقة بين الفراغ الكائن بين سطح الأرض وبين منسوب المياه الجوفية وتقسم هذه المنطقة إلى ثلاثة أقسام:

أ. منطقة ماء التربة Soil Water Zone : تقع هذه المنطقة قرب سطح الأرض في المنطقة الجذرية الرئيسة للنبات والتي ينفذ الماء خلالها إلى الجو.

ب. منطقة الحاشية الشعرية Capillary Fringe : وهي التي يتحرك فيها الماء بواسطة الخاصية الشعرية وتمتد هذه المنطقة بين منسوب الماء الجوفي صعوداً إلى حد الإرتفاع الشعري.

ج. المنطقة المتوسطة Intermediate Zone : وتقع هذه المنطقة بين منطقة ماء التربة وبين المنطقة الشعرية ويعتمد سمك منطقة التهوية وأقسامها على بنية التربة ومحتواها الرطوبي وتتغير من موقع لآخر.

وكما هو معلوم، فإن جميع المواد سواءً كانت تربة وصولاً إلى الصخر تختلف بالمسامات والتي تعتبر مملوءة بالماء في المنطقة الكائنة تحت منسوب الماء الجوفي، وعلى هذا الأساس تصنف التكوينات المشبعة إلى أربعة مجاميع هي:

1. **التكوين الخازن Aquifer:** وهو عبارة عن تكوين جيولوجي مشبع لا يخزن الماء فحسب بل ينتجه بكميات كافية وعلى هذا الأساس فإن التكوين الخازن يسمح بنفاذ الماء خلاله بسهولة وذلك لنفاذيته العالية، وتعد الرسوبيات غير المنضمة unconsolidated كالرمل و الحصى أمثلة جيدة على هذا النوع.

2. **التكوين الخازن الضعيف Aquitard :** هذا التكوين يسمح بتسرب الماء فقط لذلك يكون إنتاجه قليلاً مقارنةً بالتكوين الخازن ويعد هذا التكوين نفاذاً جزئياً.

3. **التكوين الكاتم Aquiclude :** وهو تكوين جيولوجي غير نفاذ للماء ويمكن إعتباره مغلقاً تجاه حركة الماء حتى لو إحتوى على كميات كبيرة منه، ومن الأمثلة على ذلك تكوين التربة الطينية.

4. **التكوين الأصم Aquifuge :** وهو تكوين جيولوجي غير نفاذ وغير مسامي ولايحتوي على فتحات مترابطة، لذلك لا يمكنه نقل الماء، ومن الأمثلة على ذلك الكتل الصخرية الخالية من الشقوق.

---

8. 2. موازنة المياه الجوفية Ground Water Budget :

يعتمد مقدار المياه الجوفية في حوضٍ ما على الجريان والتصاريف في مختلف النقاط. والعلاقة المتداخلة بين الجريان الداخل inflow والجريان الخارج outflow والتراكم يعبر عنها بمعادلة تسمى معادلة الموازنة كما يأتي :

$$\Sigma I \Delta t - \Sigma Q \Delta t = \Delta S$$

$\Sigma I \Delta t$: كل أنواع التغذية وتشمل ما يقدم من البحيرات والجداول والأمطار والتغذية الصناعية في الحوض

$\Sigma Q \Delta t$: تمثل التصريف الصافي للمياه الجوفية من الحوض ويشمل الضخ والجريان السطحي والتسرب إلى البحيرات و الأنهار.

ΔS : التغير في مخزون المياه الجوفية في الحوض والحاصلة عبر فترة زمنية (Δt)

إن المعدل الأقصى للسحب من المياه الجوفية في حوضٍ ما والذي يمكن إجراؤه دون أن يتسبب في نتائج غير مرغوبة يطلق عليه (الإنتاج الأمين Safe Yield) وهذا المصطلح يعتمد على أهداف مطلوبة، وإن النتائج غير المرغوب فيها تشتمل على :

1. إنخفاض دائم في منسوب الماء الجوفي أو الإرتفاع البيزومتري.
2. أن يكون منحني الهبوط أقصى ما يمكن مؤدياً إلى عدم كفاءة تشغيل البئر.
3. تداخل الماء المالح وخاصةً في التكوينات الساحلية.

8. 3. الآبار Wells :

تعد الآبار واحدة من أهم الطرق الشائعة في الحصول على المياه الجوفية من التكوين الخازن ، و على الرغم من استخدام الآبار في كثير من التطبيقات فإن أكثرها شيوعاً هي في إمدادات المياه و التطبيقات الهندسية في الري.تأمل وجود الماء في تكوين خازن حر يضخ بمعدل ثابت من البئر، و قبل الضخ يشير منسوب الماء في البئر إلى منسوب الماء الجوفي الساكن، و ينخفض هذا المنسوب مع إستمرارالضخ. و إذا كان التكوين الخازن موحد الخواص و متجانساً و كان منسوب الماء الجوفي أفقياً فإن ذلك المنسوب يتخذ شكلاً مخروطياً جراء الجريان الشعاعي إلى البئر، و يطلق عليه مخروط الانخفاض cone of depression ، و يطلق على الانخفاض في منسوب الماء الجوفي في أية نقطة عن المنسوب الساكن مصطلح منحني الهبوط draw – down أما مدى تأثير مخروط الانخفاض فيطلق عليه مساحة التأثير area of influence في حين يسمى قطره المؤثر بقطر التأثير radius of influence .

و عند حصول الضخ بمعدل ثابت فإن منحني الهبوط يبدأ بالتكوين مع مرور الزمن و ذلك للسحب الكائن في الخزين، و يطلق على هذا الطور بالجريان غير الثابت لأن منسوب الماء الجوفي يتغير مع مرور الزمن، و باستمرار الضخ تصل حالة من التوازن بين معدل الضخ و معدل المياه الداخلة إلى البئر من الحافات الخارجية من منطقة التأثير. و يتخذ سطح منحني الهبوط موقعاً ثابتاً مع مرور الزمن حيث يعمل البئر تحت ما يسمى بظروف الجريان الثابت. و عند توقف الضخ يعوض الخزن في مخروط الانخفاض بمزيد من المياه الجوفية الداخلة إلى منطقة التأثير و يبدأ التراكم التدريجي للخزين لحين الوصول إلى منسوب ساكن و يطلق على هذا مرحلة الاستعادة recuperation of recovery و تعد هذه ظاهرة غير ثابتة، حيث يعتمد وقت الاستعادة على خصائص التكوين الخازن.

1.3.8. الجريان الثابت في البئر Steady Flow into a Well :

1. الجريان المحصور Confined Flow :

يوضح الشكل أدناه بئراً يخترق تكويناً خازناً محصوراً سمكه B بافتراض أن للبئر تصريفاً ثابتاً مقداره Q ، فإذا كان الارتفاع H و كان عند بئر الضخ هو h_w و منحني الهبوط فيه هو S_w :

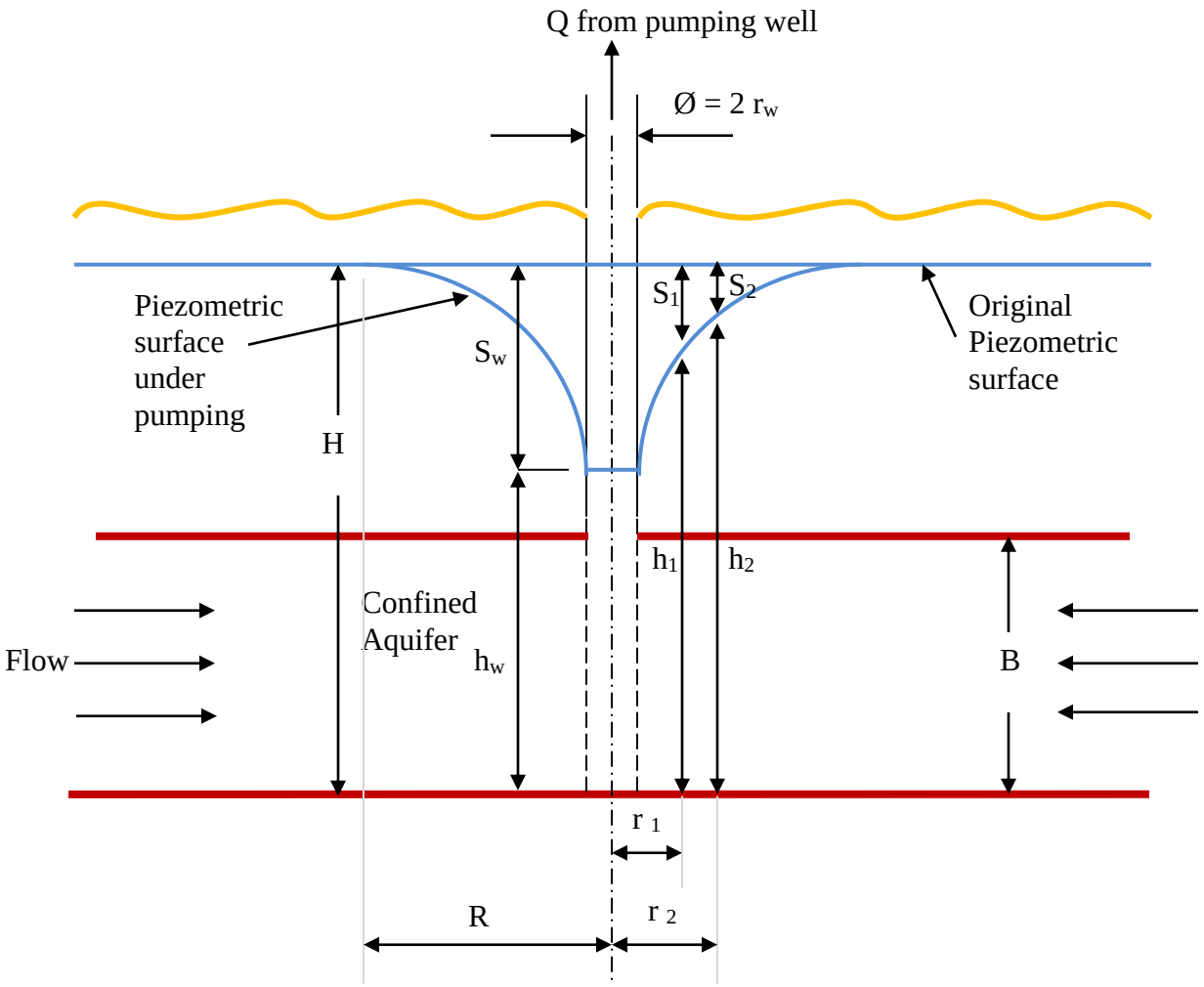
$$Q = \frac{2\pi\, k\, T\ \ (h_2 - h_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad , \text{if} \quad S_1 = H - h_1 \ , \ S_2 = H - h_2 \ ,$$

$T = k\, B$ (transportation factor m^2/s.)

$$Q = \frac{2\pi\ \ T\ \ (S_2 - S_1)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

و عند حافة منطقة التأثير ($S = 0$, $R = r_2$, $H = h_2$) كما أن ($S_1 = S_w$, $h_1 = h_w$, $r_1 = r_w$) عند جدار البئر :

$$Q = \frac{2\pi\ T\ Sw}{\ln\left(\frac{R}{r_w}\right)}$$



مثال (1) بئر قطرها 30 سم تخترق كلياً تكويناً خازناً محصوراً معامل النفاذية له 45 م/يوم ، فإذا علمت أن سمك الطبقة الخازنة = 20 متر و أن منحني الهبوط و نصف قطر التأثير عند الضخ بالحالة الثابتة هما 3 و 300 متر على التوالي ، إحسب كمية تصريف البئر ؟

الحل :

R = 300 m. , r_w = 0.15 m. , S_w = 3 m. , B = 20 m.

k = 45 / (3600 * 24) = 5.208 * 10^{-4} m/s.

T = 5.208 * 10^{-4} * 20 = 10.416*10^{-3} m^2/s.

Q = 2 * π * 10.416*10^{-3} * 3 / ln (300/0.15) = 0.02583 m^3/s. = 1550 liter/min.

مثال (2) في المثال السابق إحسب التصريف إذا كان :

1. **قطر البئر 45 سم مع بقاء بقية العوامل ثابتة .**
2. **إذا زاد منحني الهبوط إلى 4.5 متر و ببقاء بقية العوامل ثابتة .**

الحل :

1. Q = 1637 m^3/s.
2. Q = 2325 m^3/s.

1. الجريان غير المحصور (الحر) Unonfined Flow :

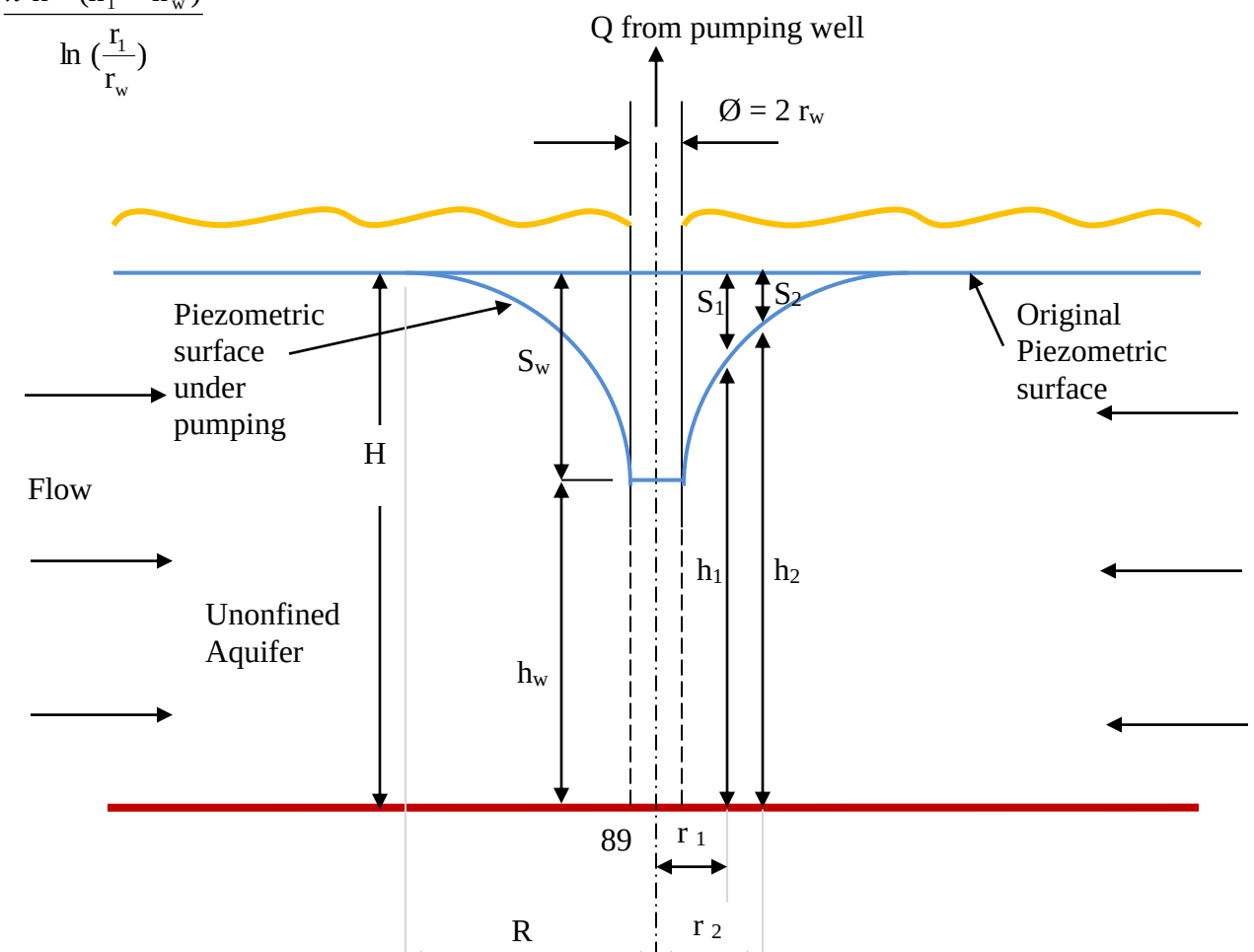
$$Q = \frac{\pi k \ (h_2^2 - h_1^2)}{\ln (\frac{r_2}{r_1})}$$

و عند حافة منطقة التأثير ($R = r_2$, $H = h_2$) كما أن ($h_1 = h_w$, $r_1 = r_w$) عند جدار البئر :

$$Q = \frac{\pi k \ (H^2 - h_w^2)}{\ln (\frac{R}{r_w})}$$

Or :

$$Q = \frac{\pi k \ (h_1^2 - h_w^2)}{\ln (\frac{r_1}{r_w})}$$



مثال (3) بئر قطرها 30 سم تخترق كلياً تكويناً خازناً حراً عمقه 40 متر وبعد فترة طويلة من الضخ بمعدل ثابت مقداره 1500 لتر /دقيقة ، ظهر أن منحني الهبوط في بئري مراقبة تبعدان 25 و 75 متر عن بئر الضخ هما 3.5 و 2 متر على التوالي ، إحسب معامل الاستنقال للتكوين الخازن ، ما مقدار منحني الهبوط عند بئر الضخ ؟

الحل :

1. $Q = 1500*10^{-3}/ 60 = 0.025\ m^3/s.$

$h_2 = 40 – 2 = 38\ m.$, $h_1 = 40 – 3.5 = 36.5\ m.$

$r_2 = 75\ m.$, $r_1 = 25\ m.$

$0.025 = (\pi * k * (38^2 – 36.5^2)) / \ln (75/25)$

$k = 7.823 * 10^{-5}\ m/s.$

$T = k H = 7.823 * 10^{-5} * 40 = 3.13 * 10^{-3}\ m^2 / s.$

2. $Q = \dfrac{\pi k \quad (h_1^2 - h_w^2)}{\ln (\frac{r_1}{r_w})}$

$0.025 = (\pi * 7.823 * 10^{-5} * (36.5^2 – h_w^2)) / \ln (25/0.15)$

$h_w = 28.49\ m.$

$S_w = 40 – 28.49 = 11.51\ m$

……