2012

**DAMASCUS UNIVERSITY**

**Dr Mohamad Hisham TAJJAR**

# [مقدمة عن أخطار الفيضان وتقييم آثارها]

# الفصل الأول: الهيدرولوجيا والمناخ

**الهيدرولوجيا: هي علم المياه حيث يدرس هذا العلم خواص المياه، أشكال ظهورها فوق سطح الأرض أو تحته، حركتها، توزعها وتغيرات هذا التوزع من خلال التأثير المتزايد للإنسان في ذلك.**

- **مجالات العمل التي تعنى بها الهيدرولوجيا:**

- **إعداد المعطيات الهيدرولوجية: يجب أن يكون لدينا معطيات هيدرولوجية دقيقة للبدء بالعمل.**
- **تحليل المعطيات والقياسات الهيدرولوجية من أجل فهم المعطيات الهيدرولوجية وتطوير النظريات.**
- **استخدام المعطيات والقياسات في حل المسائل التطبيقية**
- **حساب الموازنة المائية للكرة الأرضية، للقارات، للأقاليم، للأحواض الصبابة**
- **البحث في أشكال الجريانات بخاصة الحدية منها (الصغرى والعظمى)**
- **التنبؤ الهيدرولوجي للتصاريف ومناسيب المياه (نماذج رياضية).**
- **دراسة الثلوج والجليد من الناحيتين الجغرافية والفيزيائية (توقع غرق بعض المدن الساحلية بسبب اختفاء الجليد وانطلاق غاز الميثان الأخطر بـ 20 مرة من $Co_2$).**
- **دراسة الحت والترسيب (مورفولوجيا الأنهار – امتلاء بحيرات السدود – ركائز الجسور- دلتا الأنهار)**
- **النماذج الرياضية: إعادة تكوين مسألة أو ظاهرة فيزيائية معينة بكتابتها على شكل معادلات. وبعد اختراع الحاسبات الإلكترونية وتطوريها، تم تطوير برامج حاسوبية اختصاصية في النمذجة الرياضية وتطور علم القياسات المائية، أصبح بالإمكان إنشاء نماذج رياضية تعطي نتائج ممتازة وموثوقة (مثلاً: في ألمانيا يوجد نموذج رياضي لنهر الراين يعطي منسوب الماء في النهر بعد 24 ساعة بدقة 10سم وهي نتيجة ممتازة للتنبؤ).**

**1-1- أقسام الهيدرولوجيا:**

1- **هيدرولوجيا المياه الجارية (الأنهار)**
2- **هيدرولوجيا المياه الساكنة (علم البحيرات)**
3- **هيدرولوجيا المياه الجوفية.**
4- **الهيدرولوجيا العملياتية أو علم القياسات المائية.**

- **تطبيقات الهيدرولوجيا**

- **هندسية: تعتني بالحسابات الهيدرولوجية اللازمة لتصميم المنشآت الهندسية المائية وتشغيلها.**
- **زراعية**
- **جغرافية**
- **جيولوجية**

**إن العناصر الأساسية في الكثير من التحليلات الهيدرولوجية:**

1- **القياسات، التسجيلات، تجميع و نشر المعطيات.**
2- **تفسير وتحليل المعطيات**
3- **استخدامها للتصميم أو للمسائل العملية الأخرى**

**لا تختلف معالجة الناحية الهيدرولوجية لمجرى مائي يتقاطع مع طريق عن غيرها. ويجب معالجة كل واحدة من هذه العناصر جزئياً، على الأقل قبل أن يتم تصميم المنشآت المائية. أما مدى توسع المصمم في كل واحدة منها فيتعلق بـ:**

1- **أهمية وكلفة المنشآت وخطر الانهيار المقبول (من حيث حجم الأضرار المادية والبشرية).**
2- **المعطيات المتوافرة للتحليل (من حيث الدقة وطول فترة القياس).**
3- **المعلومات الإضافية والمعطيات التي نحتاجها.**
4- **الدقة المطلوبة.**
5- **الزمن المتاح والقيود الأخرى.**

**تحدد هذه العوامل عادةً مستوى التحليل المطلوب والمبرر من أجل أي حالة تصميم محددة. وقد يواجه المصمم الممارس مشاكل مثل عدم كفاية المعطيات ومحدودية الموارد (الزمن، اليد العاملة و التمويل). ومن غير المجدي في التصاميم الروتينية استخدام الطرق التحليلية التي تحتاج وقتاً كبيراً وفريق عمل أو معطيات غير متوفرة (أو من الصعب الحصول عليها). أما الطرق والتقنيات الدقيقة فتستخدم من أجل المشاريع الخاصة حيث يكون تجميع معطيات إضافية والدقة في التصميم مبررة اقتصادياً. كمثال على التقنيات التي تحتاج لوقت كبير ومعطيات إضافية استخدام النماذج الرياضية مثل HEC 1 و HEC-HMS.**

**مع ذلك توجد طرق أبسط مبرهنة ومعتمدة في حل بعض مشاكل التصميم الشائعة في الهيدرولوجيا. وهي تمكننا من تحديد تصاريف الذروة و الهيدروغرافات بدون إضاعة الكثير من الوقت وباستخدام المعطيات المتاحة أو، في حال عدم وجود معطيات، باستخدام الطرق المركبة Synthesize methods لتحديد ثوابت التصميم. ومع بعض المعطيات الإضافية المحددة يمكن تطبيق هذه الطرق لمشاريع أكثر كلفة وأهمية. يتم تحديد طريقة الحل لكل مشروع بحسب الظروف المتعلقة به. ويجب على المصمم أن يدرك مستوى الحل المبرر بحسب المعطيات المتوفرة أو الواجب تجميعها، و طرق الحل المتاحة ونقاط قوتها وضعفها من حيث الكلفة والدقة.**

**في بعض الأحيان يلزم القيام، في أعلى وأسفل الحوض الصباب، بتحليل هيدرولوجي للمجاري المتقاطعة مع الطريق وحصرياً تحديد تصريف الذروة أو هيدروغراف الفيضان. إن تصريف الذروة (والمسمى أحياناً التصريف الأعظمي الآني) هو تصريف حرج، لأن معظم منشآت التصريف مصممة لتصريف كمية محددة من المياه مع مستوى مقبول من المخاطرة. وتحدد هذه القيمة عادةً باعتماد فترة رجوع محددة، حسب نوع المنشأة ودرجتها (كل 10 سنوات أو كل 100 سنة مثلاً).**

## 1-2- كمية المياه في الطبيعة

**تقدركمية المياه المتوافرة في كوكبنا الأرضي بنحو $1386*10^6$ $km^3$ أما كمية المياه الحلوة فتبلغ $35*10^6$ $km^3$ أي نحو 2.5% من مياه الكرة الأرضية.**

**وتقسم المياه الحلوة في الكرة الأرضية إلى الأقسام التالية:**

- **69% مياه متجمدة**
- **30% مياه تحت سطحية (جوفية)**

- **أقل من 1% مياه سطحية**

**إن كمية المياه الحلوة الممكن استخدامها بكلفة اقتصادية معقولة هي حوالي $22000km^3$**
**ملاحظة 1: مشكلة تلوث المياه أسوأ من شحه.**
**ملاحظة 2: سيكون هناك شح في المياه في العالم العربي في العام 2015 بدلاً من العام 2025.**
**وقد بدأت بوادر هذه الأزمة في بعض الدول مثل اليمن حيث سيكون هناك فناء للمياه الجوفية (المصدر الأساسي للموارد المائية) في العاصمة صنعاء خلال فترة وجيزة.**

**بسبب وجود مثل هذه الأزمة المائية فإن فقد لجأت بعض الدول إلى حلول غير تقليدية ومنها سنغافورة، وهي عبارة عن جزيرة مساحتها 710 كم2 وعدد سكانها 5 ملايين نسمة وكمية الهطولات فيها حوالي 2400 مم. وبالرغم من كمية الهطولات الوافرة جداً فمن غير الممكن تخزين هذه المياه بسبب صغر المساحة والظروف الطبوغرافية غير الملائمة. وبناء عليه فقد تم اللجوء لإعادة استخدام مياه المجاري بعد تنقيتها كمصدر غير تقليدي للموارد المائية. حالياً 30% من مياه سنغافورة هي مياه معالجة وستكون النسبة 50% مستقبلاً.**

**بما أن المياه السطحية على سطح الأرض غير موزعة بانتظام، فقد لجأت بعض دول الخليج لتحلية مياه البحر. (يوجد في كندا أكثر من 1000 بحيرة وعدد كبير من الأنهار الدائمة بينما لايوجد أي نهر دائم في دول الخليج) ففي السعودية يتم تحلية 3.4 مليون م3 يومياً من مياه البحر وسترتفع الكمية إلى 10 مليون م3 عام 2024. هذا الأمر سوف يستنزف جزء هام من موارد المملكة المالية.**

**بعض الحلول المقترحة أزمة المياه:**
**1- تحلية مياه المجاري (في ناميبيا يتم إضافة مياه معالجة بالطريقة التقليدية بنسبة الثلث)**
**2- تسعير المياه : والهدف منه جعل الناس تحرص على الموارد المائية والحد من الهدر.**

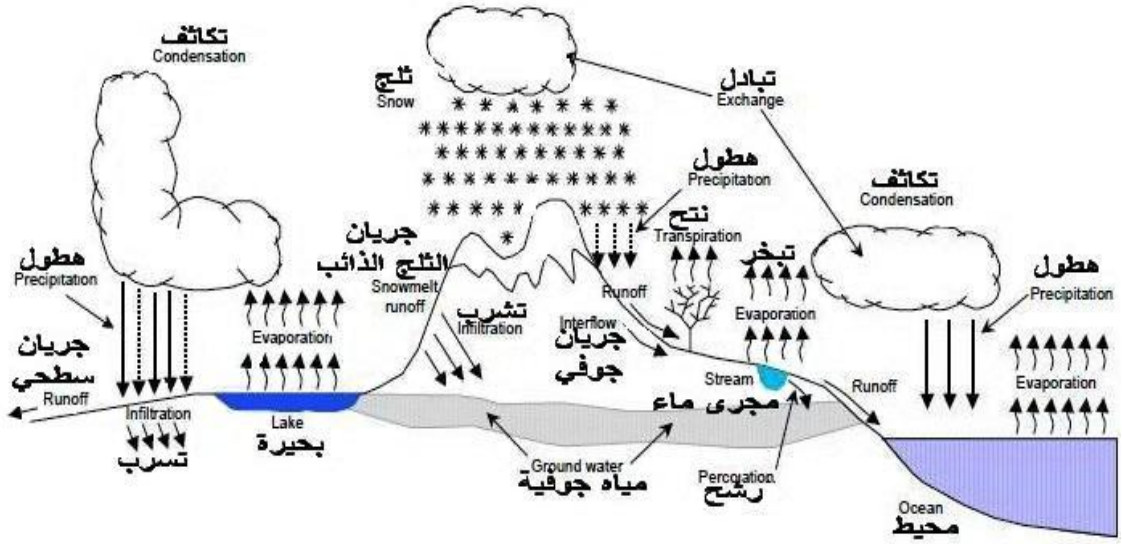
**تم تحديد حد الفقر المائي بـ 1000 م3/سنة للفرد الواحد. تقع سورية تحت خط الفقر المائي، كما هو الحال للغالبية العظمى للدول العربية، بواقع حوالي 700 م3/سنة للفرد. أما الأردن فتقل هذه القيمة عن 160م3/سنة للفرد.**

## 1-3- الدورة الهيدرولوجية

**تعريفها: نظام مغلق لحركة مياه الكرة الأرضية وتحول هذه المياه من صورة لأخرى نتيجة العوامل المناخية والطبيعية. شكل (1).**

**إن تحول المياه من صورتها السائلة إلى صورتها الغازية (بخار الماء) يتم عن طريق تأثير الإشعاع الشمسي. كما أن التباين بشدة الإشعاعات الواصلة من منطقة لأخرى يسبب تغيرات بالضغط الجوي وبالتالي تتشكل الرياح التي تقوم بدورها بنقل الغيوم من منطقة لأخرى. وحين تتوفر الشروط المناسبة تحدث الهطولات**

بأشكالها المختلفة على سطح الأرض. يمكن اعتبار البداية من تبخر المياه من المسطحات المائية لتشكيل الغيوم التي تنتقل بفعل الرياح لمناطق أخرى حيث يحصل الهطول بأشكاله المختلفة.




**شكل (1) الدورة الهيدرولوجية**

- **<u>عناصر الدورة الهيدرولوجية</u>**

**الهطول (P): له عدة أشكال: مطر – ثلج - برد – ضباب ....**

**التبخر النتحي (ET): وهو عبارة عن التبخر من المسطحات المائية بالإضافة إلى النتح من النباتات.**

**الجريان (R) : سطحي أو جوفي ولكن هذا الرمز مخصص للجريان السطحي.**

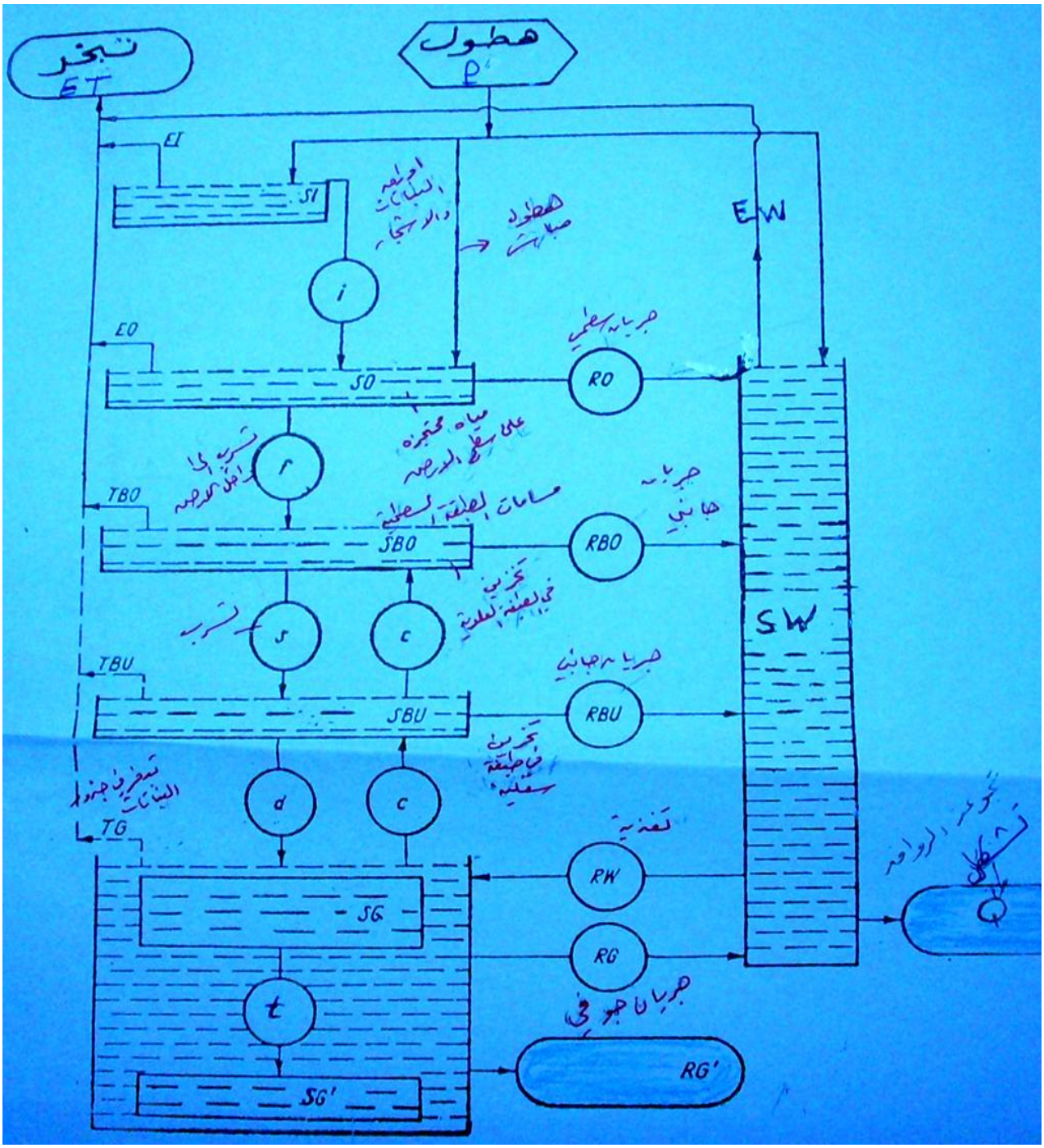
**تغير المخزون ($\Delta S$): سطحي أو جوفي (ويمكن أن يكون زيادة أو نقصان).**

**عند وصول مياه الأمطار إلى سطح الأرض هناك أربعة إحتمالات: جريان سطحي ، تسرب، تبخر، تخزين.**

**كيف تتم الدورة الهيدرولوجية (شكل (2))**

- **الهطول (P) يتوزع في ثلاثة أجزاء:**
  1. **جزء يسقط على أوراق النباتات والأشجار SI.**
  2. **جزء يسقط على سطح الأرض مباشرةً.**
  3. **جزء يسقط على السطوح المائية (أنهار – بحيرات...)**

- **المياه التي تسقط على أوراق النبات والأشجار:**
  1. **جزء يسقط على الأرض i**
  2. **جزء يتبخر ويعود إلى الجو EI**




**شكل (2) مخطط الدورة الهيدرولوجية**

- **المياه المتساقطة على سطح الأرض:**

1- **يتسرب جزء منها إلى داخل الأرض**

2- **يتم احتجاز الجزء الآخر (بشكل سطحي) So**

3- **جزء يشكل جرياناً سطحياً Ro (( إذا كانت شدة المطر أكبر من شدة التسرب))**

- المحجوز السطحي So :
1- جزء يتسرب
2- جزء يتبخر
- المياه المحجوزة في الطبقة السطحية : SBO (طبقة علوية)
1- جزء يتبخر TBo
2- جزء يتسرب إلى طبقات أعمق S
3- جزء يشكل جرياناً جانبياً RBo
- المياه المحجوزة في الطبقة السطحية الأعمق:SBU (طبقة سفلية)
1- جزء يتسرب إلى الطبقات الجوفية لتغذيتها d
2- جزء يتبخر TBU
3- جزء يشكل جرياناً جانبياً RBU

يمكن أن يصعد جزء من مياه الطبقة السفلية إلى الطبقة العلوية عن طريق الخاصة الشعرية (C).

- المياه الجوفية: SG.
1- جزء يتبخر TG ( في حال وصولمنسوب المياه الجوفية إلى منطقة جذور النباتات)
2- جزء يشكل جرياناً جوفياً RG.
3- جزء يتسرب إلى المياه الجوفية العميقة t والتي بدورها تشكل جرياناً آخر إلى المجاري المائية أو البحر 'RG.
- تصريف المياه الذي يلاحظ في الجداول والأنهار Q ما هو إلا التصريف الناتج عن الجريان السطحي للمياه (جريان مباشر)، والتصريف الناتج عن الجريان الجوفي ( جريان غير مباشر).

- تعريف: المحجوز في منطقة S: كمية المياه المحجوزة على سطح الأرض أو في التربة أو كمياه جوفية من مجمل كمية المطر الهاطل.

- أهمية مركبات المياه المخزونة داخل الأرض وزمن مكوثها تتعلق بـ :

1- شكل الهطول : مطر – ثلج .....
2- شروط مكانية : (نفوذية التربة – وجود مساحات كتيمة ....)
3- التوقيت السنوي ( الفصول)
4- حالة الحوض الصباب (خواص الحوض)

توضيح للفكرة : لكل تربة نفوذية مختلفة عن الأخرى فهناك ترب نفوذيتها كبيرة وأخرى نفوذيتها صغيرة وهكذا فإن نفوذية التربة ستؤثر على كمية المياه المتسربة لداخل التربة.

فمثلاً: إذا كان لدينا جريان سطحي ولكن هذا الجريان كان على طبقة محددة لمدة محددة وهذه الطبقة نفوذة فربما هذه المياه ستتسرب كلها ولكن إذا كان الجريان السطحي على طبقة غير نفوذة (تربة غضارية –

**منطقة سكنية واسعة ....) فإن هذا سيسبب مشاكل لأن المياه لم تتسرب وستؤثر سلباً على المنشآت ويمكن أن تسبب الفيضانات أيضاً.**

**- المياه المتجددة وزمن المكوث :**

**- في الجو 8 أيام.**

**- في التربة السطحية من مرتبة سنة.**

**- مياه جوفية عميقة حوالي 1400 سنة (مثال :Paris) (لكن مثل هذه المياه الجوفية تعتبر غير متجددة).**

**هناك حد أدنى لزمن المكوث لقطرة المياه من وصولها من مصدر تغذية للمياه الجوفية حتى لحظة سحبها.**

**مثلاً: في هولندا يجب أن يكون زمن المكوث لقطرة المياه ما بين دخولها للتربة وحتى خروجها بحدود 60 يوم، لأنها فترة كافية لتنقية المياه وهذه التنقية من المواد العضوية ( بكتريا – مياه صرف صحي). أما إذا كانت ملوثة بمواد سامة فالتربة لا تنقيها.**

**معلومات :**

- **ناميبيا دولة افريقية وفيها ثلث مياه الشرب المستخدمة هي مياه معالجة بالطريقة التقليدية ( مياه مجاري) ودون وجود تلك التقنيات (النانو تكنولوجي) الموجودة في سنغافورة.**
- **في السعودية يتم تحلية 3,4 مليون متر مكعب يومياً من مياه البحار وفي عام 2024 سيرتفع إنتاجها إلى 10 مليون متر مكعب واستهلاك الفرد السعودي 250 ليتر يومياً وهذا ما يعادل ثلاثة أضعاف المواطن الأوروبي.**
- **التسعير أصبح عنصراً هاماً في إدارة الموارد المائية. مثلاً: كوبنهاغن 9,1 $/m3– باريس 4,1 $/m3– برلين 6,7 $/m3– دبي 2,2 $/m3- دمشق0,05 $/m3.**

## 1-4- المناخ :

**إن عناصر الدورة الهيدرولوجية مرتبطة بالمناخ. بعض العوامل المناخية ذات التأثير المباشر في عناصر الدورة الهيدرولوجية: الضغط الجوي - الاشعاع الشمسي – الرطوبة – التكاثف – الرياح – الحرارة.**

**<u>أولاً: الضغط الجوي:</u>**

**تعريفه: وزن عمود الهواء فوق واحدة المساحة ويقاس بالميليبار (m bar).**

$$1m\ bar = 100N/m3$$

- **يتأثر الضغط الجوي بالعوامل التالية:**

**1- الرطوبة الجوية: جو رطب يعني أن نسبة بخار الماء فيه عالية.**

**الهواء الرطب أخف من الهواء الجاف (لهذا السبب يرتفع نحو الأعلى ويشكل الغيوم ) => كلما زادت رطوبة الهواء يقل الضغط الجوي.**

**2- الحرارة: عندما يسخن الهواء (في حيز مفتوح) يتمدد فتقل كثافته ويرتفع إلى الأعلى فينخفض وزنه ويشكل ضغط منخفض وإذا برد تزداد كثافته ويهبط ويرتفع الضغط.**

**3- الارتفاع عن سطح البحر: ينخفض الضغط الجوي كلما ارتفعنا عن سطح البحر ويزداد كلما انخفضنا عن سطح البحر.**

**يبلغ الضغط عند سطح البحر 1013 m bar.**

- **قياس الضغط الجوي يتم بـ :**

**1- مقياس الضغط الزئبقي والمقاييس المعروفة المستخدمة في المنازل والأماكن العامة.**

**2- مقاييس الضغط الآلي (جهاز لامبرخت): هو جهاز له مؤشر يرسم على ورق ميليمتري موضوع حول اسطوانة تدور بسرعة معينة، ويعطي تغيرات الضغط مع الزمن.**

**مبدأ هذا الجهاز: عندما يزداد الضغط الجوي يؤثر في الخلية المعدنية ويضغطها للأسفل فتشد معها ذراعاً علوية متصلة مع لوحة الثقوب إلى الأسفل وبذلك تحرك ذراعاً آخر للأعلى مزود بريشة ترسم على اسطوانة مغلفة بورق ميليمتري خطاً للأعلى وعند انخفاض الضغط ترسم خطاً للأسفل.**

**<u>ثانياً: الإشعاع الشمسي:</u>**

**هو انتقال الحرارة على شكل طاقة تنتقل في الجو بشكل أمواج كهرطيسية بسرعة تعادل سرعة الضوء. إن مقدار ما يصل إلى الارض يومياً من الإشعاع الشمسي لا يزيد على جزء من مليارين من مجموع الطاقة الشمسية التي تتبدد في الفضاء، وهذا الجزء رغم ضآلته يكفي لاستمرار الحياة على الأرض.**

- **تقاس شدة الإشعاع الشمسي بوحدة w/m3**
- **تتعلق كمية الإشعاعات الشمسية الواردة إلى سطح الأرض بطول فترة السطوع الشمسي، وبعمليات انتشار هذه الأشعة وامتصاصها و انعكاسها في الجو.**
- **الأشعة المباشرة: جزء من الأشعة الشمسية تصل بشكل مباشر إلى سطح الأرض.**
- **الأشعة المنتشرة:جزء من الأشعة الشمسية يصطدم بالجزيئات المنتشرة في الجو فتنعكس بالاتجاهات كافة ويصل جزء منها سطح الأرض هو تلك الأشعة.**
- **الأشعة الكلية: هي مجموع الأشعاعات الشمسية المنتشرة والمباشرة.**
- **الأشعة المنعكسة: هي جزء من الأشعة الشمسية الكلية الواردة إلى سطح الأرض والتي تنعكس عند اصطدامها بسطح الأرض مباشرة.**
- **تقدر كمية الإشعاع الشمسي الواردة إلى سقف الغلاف الجوي بـ 1360 w/m3 وتسمى هذه القيمة الثابت الشمسي. أما كمية الإشعاع الواصلة إلى سطح الأرض فهي أقل من القيمة أعلاه.**

- **تتعلق كمية الإشعاع الشمسي بالعوامل التالية:**

**1- الموقع الجغرافي: كمية الأشعة الشمسية الواردة إلى القطبين تختلف عن الواردة لخط الأستواء**

**2- عامل تعكير الجو (T): الذي يعبر عن مدى احتواء الهواء على الشوائب وبخار الماء. (مثلاً: عند النظر إلى دمشق من منطقة مرتفعة نرى غمامة سوداء).**

**3- كتلة الهواء التي تمر عبرها الأشعة الشمسية وهذا يرتبط بارتفاع المنطقة على سطح البحر حيث تزداد كمية الأشعاع الشمسي المباشر مع الارتفاع على سطح البحر بسبب تناقص كتلة الهواء التي تمر عبرها الأشعة الشمسية.**

**4- التغيرات اليومية للإشعاع الشمسي وتأثير زاوية ورود الأشعة الشمسية في سطح الأرض.**

**5- حالة الغيوم من حيث كثافتها- لونها- ارتفاعها.**

**6- لون التربة والصخور التي ترد اليها الأشعة ومدى قدرتها على امتصاص الأشعة الشمسية أو عكسها.**

**7- اتجاه السطح الذي ترد إليه الأشعة الشمسية وميله حيث تتلقى السطوح المتجهة نحو الجنوب في نصف الكرة الشمالي كمية أكبر من الإشعاع الشمسي. (لأن هذه السطوح تتعرض إلى فترة- سطوع أكبر).**

- **قياس الإشعاع الشمسي:**

**يعتمد على مبدأ بسيط وهو أن الألوان الداكنة تمتص الأشعة والألوان الفاتحة تعكسها. يتم قياس كمية الإشعاع الشمسي باستخدام جهاز إيبلي. يتألف العنصر الحساس في هذا الجهاز من حلقتين فضيتين متمركزتين بعضهما داخل بعض، الداخلية منهما مطلية باللون الأسود والخارجية مطلية باللون الأبيض. ينجم عن اختلاف اللون بين الحلقتين اختلاف في مقدرتهما على امتصاص الأشعة وبالتالي اختلاف درجة حرارتهما، ويقاس الفرق بين درجتي حرارة الحلقتين بوساطة موصلات حرارية متصلة حراريا بشكل جيد مع السطوح السفلى للحلقات.**

- ✓ **تطبيقات مباشرة:**

**1- تكتيم السدود: عملية تكتيم السدود تتم عن طريق الإسفلت ويجب تحديد الخلطات الإسفلتية المستخدمة في تكتيم السدود عن طريق دراسة سلوك هذه الخلطات عند تعرضها لأشعة الشمس، إذا لم يؤخذ هذا الموضوع بعين الاعتبار سيتعرض الإسفلت للذوبان ويتسرب الماء وقد ينهار االسد.**

**2- التبخر: هو عنصر من عناصر الموازنة المائية ويتعلق بالاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة.**

**توضيح: مثلاً بالسودان قيمة التبخر 3000 متر مكعب بالسنة فإذا كان لدينا بحيرة سد وكان علينا استخدام كامل المياه الموجودة فيها ولم نأخذ بعين الاعتبار أن قيمة التبخر كبيرة (لكي نحذفها من كمية المياه) فنجد أن كمية المياه غير كافية إذاً يجب حساب التبخر وحساب التبخير يعتمد على الإشعاع الشمسي.**

**<u>ثالثاً: الرطوبة:</u>**

**وهي كمية بخار الماء العالق في الجو وتعد أساس مظاهر التكاثف كالهطول والضباب والندى. لتحديد نسبة الرطوبة في الهواء لدينا المصطلحات التالية:**

**1- الرطوبة المطلقة: وزن بخار الماء مقدراً بالغرام الموجود في متر مكعب من الهواء.**

$$e = M_D/V_L \quad (g/m^3) \qquad (1)$$

**e: الرطوبة المطلقة بـ $(g/m^3)$**

**$M_D$: وزن بخار الماء بـ (g) - $V_L$: حجم الهواء الجاف $(m^3)$**

**تتراوح قيمة الرطوبة المطلقة بين $(0.19\ g/m^3)$ في الكتل القطبية الباردة و $(50\ g/m^3)$ في كتل الهواء الساخنة. تتغير قيمة الرطوبة المطلقة بشكل كبير تبعاً لتغيرات الحرارة والارتفاع عن سطح البحر فكلما زادت درجة الحرارة زادت قدرة الهواء على حمل بخار الماء. وترتفع قيمة الرطوبة المطلقة فوق مناطق البحار والمحيطات ارتفاعاً كبيراً لتقارب الرطوبة النوعية.**

**2- الرطوبة النوعية أو رطوبة الإشباع E: وزن بخار الماء الممكن أن يستوعبه الهواء بشكل أعظمي من أجل درجة حرارة معينة وتقدر بـ (g/m3).**

**3- الرطوبة النسبية: هي النسبة المئوية بين وزن بخار الماء الموجود في متر مكعب من الهواء في لحظة معينة (الرطوبة المطلقة) إلى الوزن الذي يستطيع حمله من بخار الماء في درجة الحرارة ذاتها (رطوبة الإشباع).**

**يعبر عن الرطوبة النسبية (R) رياضياً بـ :**

$$R=(e/E)*100\ (\%) \qquad (2)$$

**قيمة R دوماً أصغر من الواحد. تتناسب الرطوبة النسبية عكساً مع درجة الحرارة.**

**تعريف نقطة الندى: هي درجة الحرارة التي يحصل عندها الإشباع الكامل للهواء ببخار الماء.**

**4- نقص الرطوبة أو كفاية الإشباع(d) : هو الفرق بين الرطوبة النوعية والمطلقة**

$$d= E-e\ (g/m3) \qquad (3)$$

**لهذا العامل أهمية في تحديد شدة التبخر حيث تتناسب سرعة التبخر طرداً مع (d) في حال كون باقي الشروط ثابتة.**

**<u>رابعاً: التكاثف:</u>**

**يتكاثف بخار الماء إذا انخفضت درجة حرارته الى ما دون درجة الندى.**

**أحد تطبيقات التكاثف العملية هي خنفساء الصحراء التي تأخذ حاجتها من المياه من تكاثف الماء على قشرتها الخارجية. (استفادت شركة ألمانية من هذه الظاهرة لحصاد المياه بواسطة خيم مصممة لحصاد المياه في بعض دول أفريقيا).**

**يتعلق التكاثف بالرطوبة ودرجة الحرارة والارتفاع لذا تم تقسيم مظاهر التكاثف الى مجموعتين:**

- **مظاهر تحدث فوق سطح الأرض مباشرة: الضباب-الندى- الصقيع.**

**1- الضباب: جزيئات ماء صغيرة معلقة بالهواء، ويحدث من انتقال هواء دافيءالى جهة باردة ويساعد على تشكله سكون الهواء. كان ينتقل الهواء من فوق سطح مائي الى الأراضي المجاورة شتاءً.**

**2-الندى : قطرات من الماء تظهر في الصباح الباكر على أوراق الأشجار والأجسام الصلبة نتيجة تبردها**

**3-الصقيع:عندما تنخفض درجة الندى الى ما دون درجة الصفر تتكاثف الرطوبة فوق الأجسام الصلبة على شكل بلورات ثلج متجمدة وليس الصقيع بندى متجمد انما هو انتقال مباشر لبخار الماء من الحالة الغازية الى الحالة الصلبة.**

- **مظاهر تحدث في الطبقات العليا:**

**الغيوم: تكاثف بخار الماء في الجو وهي ملايين من جزيئات الماء السائل وبلورات الجليد ويحدث التكاثف نتيجة وجود مواد دقيقة في الجو والتي يطلق عليها نوى التكاثف. للغيوم شكلان الطبقي والركامي، إذا كانت سرعة الهواء قليلة (بمعدل بضع سنتيمترات بالثانية) تتكون الغيوم الطباقية، أما اذا ارتفع الهواء بمعدل عدة أمتار بالثانية تتكون الغيوم الركامية وتقترن عادة بسقوط الأمطار.**

**<u>خامساً : الرياح:</u>**

**تعريفها: هي انتقال الهواء من منطقة ضغط جوي مرتفع الى منطقة ضغط جوي منخفض.**

**إن حركة الرياح تؤدي الى حركة الغيوم وبالتالي تؤدي الى سقوط الأمطار بناءاً على حركة الرياح تم وضع نماذج رياضية للتنبؤ عن طبيعة الطقس لاحقاً بشكل عام.**

- **حمولة الرياح: احد تطبيقات الرياح الهامة بالنسبة للهندسة المدنية.تأثير الرياح على المنشآت المدنية وبخاصة الأبنية العالية وناطحات السحاب، تأثير الرياح عليها لا يستهان به واذا لم يؤخذ بعين الاعتبار يمكن أن تنهار المنشأة. مثلاً: جسر تاكومانازو 1940 تحت تأثير سرعة رياح 67 كم/سا أدت الى انهياره.**
- **ارتفاع الأمواج : الأمواج تتعلق بسرعة الرياح (العمودية على جسم السد) ومساحة السطح المائي فاذا تشكلت أمواج عالية يمكن أن تتسلق جسم السد وتؤدي الى انهيار أجزاء منه ومن ثم ستؤدي الى انهياره اذاً علينا الأخذ بعين الاعتبار عند تصميم السدود ارتفاع الأمواج.**
- **شدة التبخر: شدة التبخر مرتبطة بسرعة الرياح حيث أن الرياح تزيح الهواء الرطب (الحاوي على بخار الماء) ليحل محله هواء جاف وهكذا يصبح التبخر أسرع.**

- **توليد الطاقة (النظيفة) الرياح: لكي تكون بديل عن الطاقة الناتجة عن البترول وعن الطاقة النووية.**

**أكبر سرعة مسجلة للرياح على سطح الأرض هي 400 km/h. وتعتبر الرياح أعاصير اذا زادت سرعتها عن 117 km/h.**

**تتأثر سرعة الرياح بـ :**

**الضغط الجوي – الجاذبية الأرضية – دوران الأرض – شكل سطح الأرض وقوى الاحتكاك – الارتفاع فوق سطح الأرض – التغيرات اليومية والفصلية.**

- **قياس الرياح :**

**يتم بعدة وسائل منها مقياس سرعة الرياح الذي يتألف من:**

1- **فناجين السرعة: وهي ثلاث فناجين نصف كروية مجوفة تركب على ثلاث محاور متساوية الأبعاد عن بعضها ولها في المركز قاعدة تدور على محور يتحرك حسب دوران الفناجين.**
2- **آلية السرعة: مقياس غلفاني تشكل بدورانها تحريضاً كهرطيسياً تؤثر في مؤشر يتحرك أمام لوحة مرقمة ليدل على سرعة الريح.**
3- **لوحة الترقيم**

- **ولكن أصبح الآن يوجد أجهزة إلكترونية تعطينا سرعة الرياح بدقة كبيرة.**

**<u>سادساً : الحرارة :</u>**

**للحرارة علاقة مع التبخر ومع الضغط الجوي.**

**- توثر الحرارة بشكل كبير في المنشآت حيث تؤدي إلى تمدد حراري للمنشآت لذلك علينا آخذ الحرارة بعين الاعتبار وذلك بوضع فواصل تمدد وتقلص.**

# الفصل الثاني: الموازنة المائية وموازنة الطاقة

## 2-1- معادلة الموازنة المائية

**يعبر الوصف الكمي لعناصر الدورة الهيدرولوجية عن الموازنة المائية. يفهم تحت الموازنة المائية لمنطقة ما بأنه التأثير المشترك لعناصر النظام كالمطر P، التبخر ET ، الجريان R ، و تغير المخزون المائي $\Delta S$ في المنطقة. تقدر العناصر السابقة بـ (mm) كارتفاع مائي منسوبا لمنطقة محدودة ولفترة زمنية محددة.**

**تكتب معادلة الموازنة المائية لفترة معينة ولمنطقة معينة بالشكل التالي:**

$$P - ET - R \pm \Delta S = 0 \quad (mm/\Delta t) \qquad (5)$$

**تغير المخزون المائي لمنطقة ما يشمل :**

- **المخزون على أوراق الشجر والنباتات**
- **المياه المحتجزة على سطح الأرض**
- **المياه المحتجزة في مسامات التربة السطحية**
- **التغير في المياه الجوفية العميقة**
- **مخزون السرير النهري**

- **الموازنة المائية لكامل الكرة الأرضية** $P = ET \quad (mm/Y) \qquad (6)$
- **الموازنة المائية لسطح اليابسة** $P = ET + R \quad (mm/Y) \qquad (7)$

**الموازنة المائية للكرة الأرضية**

| Item | Ocean | Land |
|---|---|---|
| A (M km2) | 361.3 | 148.8 |
| Precipitation (km3/year) | 458000 | 119000 |
| Evaporation (km3/year) | 505000 | 72000 |
| Runoff to Ocean (km3/year) | | |
| Rivers | | 44700 |
| Groundwater | | 2200 |

**جدول (1)**

- **بملاحظة الهطولات والتبخر من المحيطات واليابسة :**

**نلاحظ أن المياه المتبخرة من المحيطات أكثر من المياه الهاطلة**

**الفرق:**

**505000 – 458000 = 47000 KM3/YEAR**

**إن هذه المياه تصل إلى اليابسة في الواقع للتاكد من ذلك نجمع المياه المتبخرة من اليابسة مع الفرق هذا**

**47000 + 72000 = 119000 km3/year**

**وهذا الحجم حجم المياه الهاطلة عل اليابسة. إذاً نستنتج : معظم المياه الهاطلة على اليابسة من اليابسة وليس من المحيطات فإن 119000 التي هطلت جزء منها من اليابسة 72000 وجزء من المحيطات 47000، وهذا ما يعادل (30%) من المحيطات و(70%) من اليابسة.**

**هذا يعني على سطح الكرة الأرضية أن مجموع الهطولات يساوي مجموع المياه المتبخرة**

- **50% من الهطولات في حوض الأمازون تأتي من التبخر من مياه الحوض نفسه.**
- **اذا زادت درجة حرارة الأرض 4 درجات ستغرق بنغلاديش ومصر وتصبح السويد منطقة سياحية.**

- **<u>تطبيق نموذجي في سوء استخدام الموازنة المائية :</u>**

**في الخمسينات أشار بعض المهندسين على سلطات الاتحاد السوفيتي بأن هناك مشروع ضخم يدعم البلاد وهو مشروع زراعة القطن.**

**المصدر الأساسي لهذا المشروع من الماء هو نهران رئيسان تم تحويل مجراهما بعد أن كانا يصبان في بحر الأورال (بحر مغلق وكان النهران مغذي أساسي له).**

- **<u>النتائج المترتبة على هذا المشروع:</u>**

**1- انخفاض مساحة سطح البحيرة إلى النصف تقريباً (أصبحت الموانىء خارج الخدمة)**
**2- انخفاض حجم البحيرة إلى ربع الحجم السابق (مما أدى إلى ملوحة عالية للمياه)**
**3- انقراض 20 صنف من الأسماك من أصل 24 صنف كانت تعيش سابقاً**
**4- حرمان 60000 شخص من موارد رزقهم (صيد وتجارة أسماك)**
**5- تملح الأراضي الزراعية في المنطقة (كارثة اقتصادية اخرى)**
**6- حدوث مشاكل صحية غير متوقعة مثل: صعوبة تنفسية ناتجة عن الأملاح الجافة والغبار السام (ثلثي السكان في المنطقة يعانون من التهاب الكبد الوبائي وأمراض أخرى)**
**7- معدل الوفيات بين الأطفال الرضع يساوي أربع مثيلاتها في المناطق الأخرى**
**8- ألحق المشروع الأذى بـ 30 مليون شخص**

**مثل هذا المشروع يناقض تماماً مفهوم التنمية المستدامة والتي تعرف بأنها القدرة على الاستمرار بالمشروع مع المحافظة على الموارد الطبيعية ودون إحداث ضرر بالبيئة.**

- **زراعة القطن في سوريا: طرحت فكرة الحفاظ على الموارد المائية من خلال إغلاق الآبار غير النظامية ولكن كان عدد كبير من هذه الآبار يستخدم لزراعة القطن. لكن زراعة القطن مرتبطة بـ 27 مهنة لذلك فإن اغلاق الآبار سيكون كارثياً لأنه سيخلف عدد كبير من العاطلين عن العمل ويضر بالفعاليات الاقتصادية المرتبطة بزراعة القطن.**

## 2-2- معادلة موازنة الطاقة

$$R = B + K + ET' \ (w/m^2) \qquad (8)$$

**R : الموازنة الاشعاعية**

**B : تيار الطاقة الأرضي (تنتقل لداخل الأرض صيفاً ونهاراً والعكس بالعكس)**
**نستنتج: تكون مياه الآبار باردة صيفاً ودافئة شتاءاً**

**K : تيار الطاقة الملموس (انتقال الحرارة بين الهواء والجسم المدروس)**

**ET': تيار الطاقة المستهلك عن طريق التبخر (يستهلك 2500 kg لتحويل 1kg من الماء إلى بخار)**

- **الموازنة الاشعاعية R:**

$$R = I + D - A - E + Ge \quad (w/m^2) \qquad (9)$$

**I :الإشعاعات الشمسية المباشرة (تصل مباشرة لسطح الأرض)**

**D :الإشعاعات السماوية المنتشرة (المنعكسة من ذرات $H_2O$ , $CO_2$ , $O_2$ )**

**A :الإشعاعات الشمسية المنعكسة عن السطح**

**E :الإشعاعت الصادرة عن السطح نفسه (تتعلق بدرجة الحرارة) لأن أي جسم بعد ارتفاع درجة حرارته يبدأ بإطلاق الأشعة.**

**Ge : الإشعاعات الشمسية المقابلة (صادرة من ذرات $H_2O$ , $CO_2$ , $O_2$ بعد تسخينها)**

# الفصل الثالث : القياسات المائية

**مقدمة:**

**إن تصميم المنشآت الهندسية المائية مرتبطة بـ : طول فترة القياس – دقة الأدوات المستخدمة وتشمل القياسات المائية :**

**التصاريف – المناسيب – الهطول- الطمي – التبخر – المياه الجوفية**

- **لم يعد، في الوقت الحالي، وجود القياسات كافياً، بل يجب استخدام النمذجة الرياضية. كذلك، فإن الدول المتقدمة لم تعد تعتمد على وجود القياسات فقط فأصبح اتخاذ القرار عندها مرتبطاً بأدوات حديثة كالنمذجة الرياضية لحركة المياه.**
- **إن عدم وجود القياسات سيجعلنا نضطر للجوء للطرق التقريبية غير الدقيقة وبهذا سنكون أمام أمرين إما أن نأخذ عامل أمان كبير مما يؤدي إلى تكلفة مادية كبيرة أو ستكون المواصفات أقل من المفروض وبذلك سنضطر إلى الترميم كل فترة للمنشآت، هذا إن لم يحدث إنهيار لها.**

## 3-1- قياس المناسيب المائية

**هو ارتفاع منسوب سطح المياه بالنسبة لمستوى مقارنة معين.**

- **التطبيقات المباشرة لقياس المناسيب أو الضرورة لذلك:**

**1- الأسماك: في حال وجود نهر يحتوي على ثروة سمكية وكان هذا النهر معرضاً للجفاف، في هذه الحالة يجب علينا تمرير مياه كافية إلى هذا النهر من السدود المقامة عليه وذلك لرفع منسوب المياه واستمرار الحياة في النظام البيئي.**

**2- إنذار مبكر: في المناطق التي تتعرض لفيضانات، يكون من الضروري معرفة تغيرات المناسيب مع الزمن من أجل اتخاذ الإجراءات المناسبة وترحيل السكان.**

**3- الملاحة النهرية: إذا كانت كمية المياه غير كافية في النهر فسوف تتوقف الملاحة النهرية خصوصاً للسفن ذات الحمولات الكبيرة. ويتم رفع المناسيب في النهر بالشكل المناسب من خلال السدود الملاحية.**

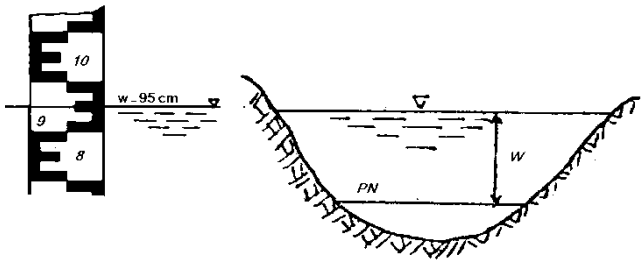
**4- استخدام منحني مفتاح التصاريف: وهو علاقة ما بين منسوب المياه في مقطع محدد من النهر والتصريف المار في نفس المقطع. ويساعد قياس المنسوب في استنتاج التصريف مباشرةً.**

**5- توليد الطاقة الكهربائية: يجب التحكم بقياس المناسيب بحيث لايكون هناك تذبذب كبير في المناسيب والذي يمكن أن يؤثر على أداء العنفات.**

- **أجهزة قياس المنسوب المائي:**

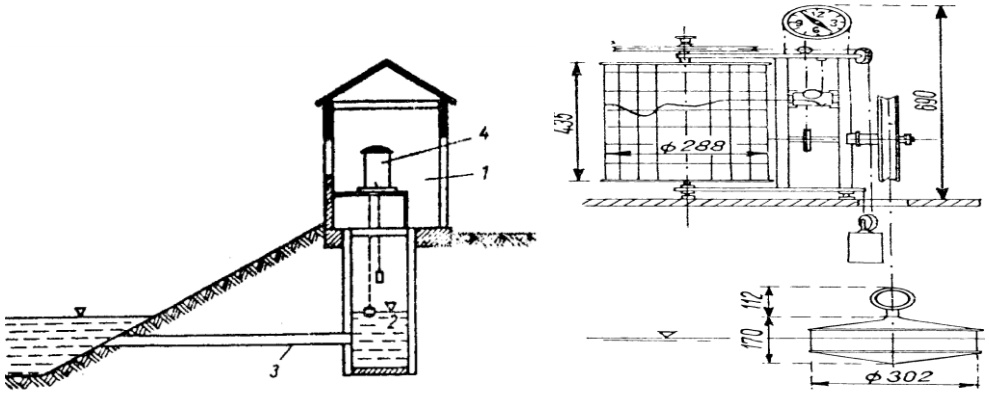
**1- أجهزة يدوية: وهي من أبسط الطرق. الجهاز هو عبارة عن مسطرة مدرجة يتم قراءة المنسوب فيها مباشرةً من قبل شخص (شكل 3). وليس بالضرورة أن تكون المسطرة مدرجة**

**ابتداءً من القيمة صفر (يمكن أن تكون التدريجات بالنسبة لمستوى سطح البحر، وبمعرفة منسوب القاع يمكن تحديد عمق الماء في المقطع).**




**الشكل (3)**

**2- أجهزة قياس آلية: منها المقياس المسجل لمنسوب المياه، ويعطي هذا الجهاز تغيرات المنسوب مع الزمن بشكل مستمر. ترسم المناسيب على ورق ميليمتري ويمكن أن ترسم القياسات لحظة بلحظة عن طريق خط هاتفي إلى الجهة المعنية.**




**الشكل (4)**

**مبدأ عمل الجهاز:**

**يوضع الجهاز في غرفة موصولة بأنبوب مع المجرى المائي وبحيث يكون طول الأنبوب كافياً لإخماد الأمواج الطبيعية وغير الطبيعية في المجرى (شكل 4).**

## 3-2- قياس التصاريف في المجاري المائية المكشوفة:

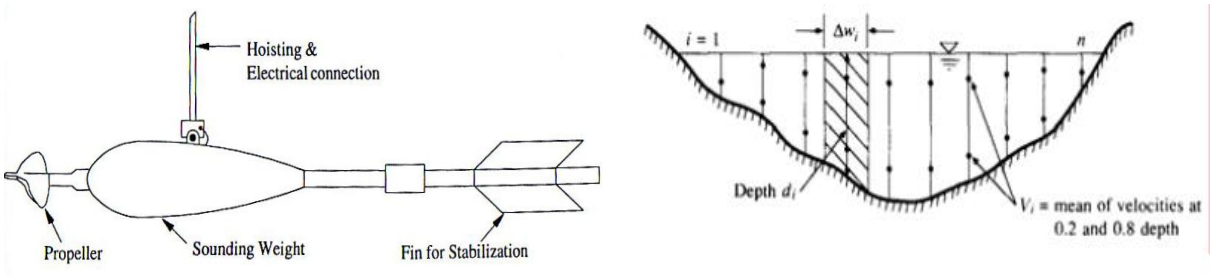
**الجريان السطحي هو من أهم عناصر الموازنة المائية لحوض صباب ومن أهم القيم اللازمة لتصميم المنشآت المائية وتشغيلها كما أن قياسه يتم بصورة أدق وأسهل من بقية عناصر الدورة الهيدرولوجية.**

- **طرق قياس التصاريف:**

**1- عن طريق قياس السرعات في عدة نقاط: باستخدام الطاحونة المائية.**

**الطاحونة المائية: دولاب تركب عليه عدة ريش، تدور الريش تحت تأثير التيار المائي. و هي من أكثر الطرق شيوعا في حساب التصريف عبر مقطع مائي حيث يتم تحديد السرعة الوسطية عبر المقطع و من ثم حساب التصريف من العلاقة التالية:**

$$Q = V.A \quad m^3/s \qquad (10)$$




**الشكل (5) الطاحونة المائية**

**ان دوران دولاب الطاحونة المائية يتم تحويله الى نبضات كهربائية يسجلها عداد خاص. بإيجاد علاقة بين سرعة جريان الماء و سرعة دوران الدولاب نستطيع تحديد سرعة الجريان. تتم معايرة الطاحونة قبل استخدامها و غالبا يكون لدينا علاقة خطية من الشكل**

$$V = a + b\,N \qquad (m/s) \qquad (11)$$

**حيث a , b ثوابت الطاحونة.**

**من أجل تحديد التصريف المار باستخدام الطاحونة نتبع الخطوات التالية:**

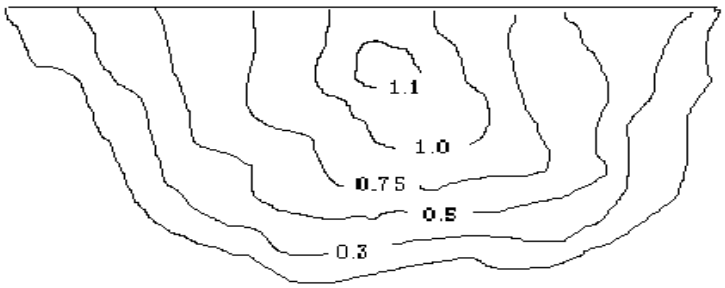
- **نرسم مقطع الجريان بمقياس مناسب**
- **نقسم مقطع الجريان الى عدة شرائح شاقولية متساوية العرض قدر الإمكان و بحيث تعكس تغيرات المقطع.**
- **نرسم مساحة كل شريحة $A_i$ من** $A_i = h_i\, b_i \quad (m^2)$
- **نحسب السرعة الوسطية في كل شريحة عن طريق قياس السرعة في عدة نقاط على الشاقول المار بمنتصف الشريحة.**
- **بعد حساب السرعة الوسطية نحدد التصريف المار عبر كل شريحة من**

$$Q_i = v_{i.}a_i \qquad (12)$$

- **التصريف المار عبر كامل المقطع هو مجموع التصاريف** $Q = \Sigma Q_i$

✓ **حساب التصريف باستخدام طريقة خطوط تساوي السرع شكل (6):**

$$Q = \Sigma\, v_i . a_i \quad (13)$$



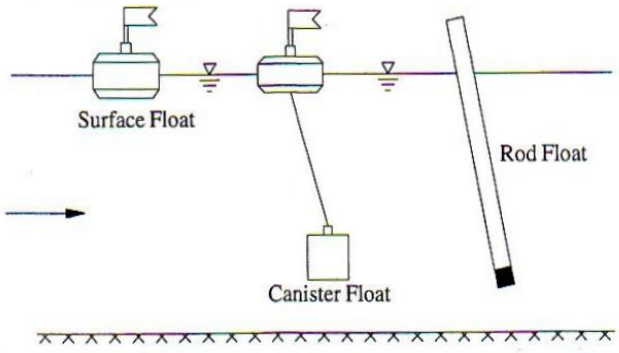

**الشكل (6) طريقة خطوط تساوي السرعة**

**$V_i$ : وسطي السرعة بين خطين من خطوط تساوي السرعة**

**$A_i$ : السطح المحصور بين خطين من خطوط تساوي سرع الجريان.**

**2- استخدام الأجسام الطافية في قياس التصاريف**

**عندما يتعذر استخدام الطاحونة المائية بسبب وجود كمية كبيرة من الطمي يمكن استخدام الأجسام الطافية من أجل تحديد قيم التصريف بشكل تقريبي. يمكن استخدام أجسام طافية سطحية أو عميقة (شكل 7).**



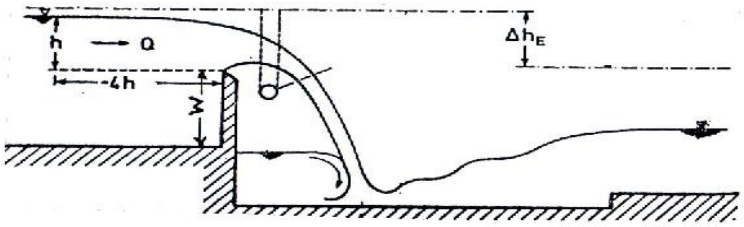

**الشكل (7) قياس التصريف باستخدام الأجسام الطافية**

**يتم حساب السرعة الوسطية للجريان حسب هذه الطريقة بقياس المسافة التي تقطعها الأجسام الطافية خلال زمن معين. بمعرفة العلاقة بين السرع السطحية و السرعة الوسطية للمقطع يمكن تحديد السرعة الوسطية ثم حساب التصريف.**

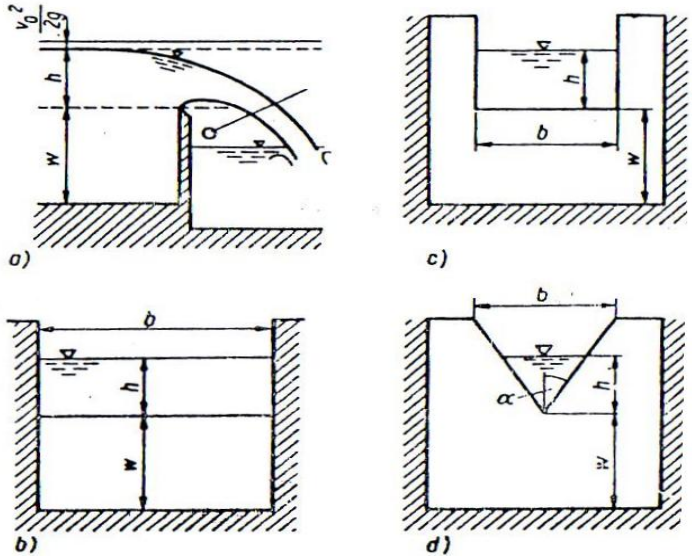
**3- استخدام الهدارات في قياس التصاريف**

**تستخدم الهدارات عندما تكون قيم التصريف صغيرة. يتم تحديد التصريف بقياس ارتفاع الماء فوق الهدار. يقاس ارتفاع الماء على مسافة لا تقل عن 4h كما هو مبين في الشكل (8). يحسب التصريف للهدار المستطيل دون تضيق جانبي من العلاقة:**

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g}[(h + \frac{v_o^2}{2g})^{\frac{3}{2}} - (\frac{v_o^2}{2g})^{\frac{3}{2}}] \quad \textbf{(m}^3\textbf{/s)} \qquad \textbf{(14)}$$




**الشكل (8) قياس التصريف باستخدام الهدارات**




**الشكل (9) الهدارات المستطيلة والمثلثية**

**حيث :**

**$v_o$ : سرعة الاقتراب** **μ : معامل تصريف الهدار**

**g : تسارع الجاذبية الأرضية** **b : عرض حافة الهدار المستطيل**

**h : ارتفاع الماء فوق قمة الهدار**

**أما الهدار المثلثي (شكل 9) فتعطى علاقته بالشكل:**

$$Q = \frac{8}{15} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan\alpha \cdot h^{\frac{5}{2}} \ \textbf{(m}^3\textbf{/s)} \qquad \textbf{(15)}$$

**4- استخدام المحاليل في قياس التصاريف**

**تستخدم المحاليل في قياس التصاريف المائية في المجاري المكشوفة عندما يكون الجريان مضطربا أو في حالة عدم وضوح مقطع الجريان.**

**بفرض (Q) هو التصريف عبر مقطع مائي ($m^3/s$) وبحيث أن التركيز الطبيعي للملح المستخدم كمحلول ($C_o(kg/m^3)$ عند المقطع الأول، وباضافة كمية من المحلول الملحي ($Q_z(m^3/s)$ بحيث أن تركيز الملح فيه هو ($C_1(kg/m^3)$.**

**بعد مسافة كافية باتجاه الجريان و عند اختلاط المحلول الملحي بالماء بشكل جيد نقيس نسبة التركيز الملحي ($C_2(kg/m^3)$. استنادا لمبدأ توازن الكتل نكتب:**

$$Q.C_o + Q_z.C_1 = (Q + Q_z).\ C_2 \quad (16)$$

**و منه نحسب التصريف Q من المعادلة التالية:**

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_o} Q_z \quad m^3/s \qquad (17)$$

**أما طول المزج فيعطى بالعلاقة :**

$$L = (0.13\ N\ l^2)/h$$

$$N = (0.7\ C + 6) / g$$

$$l = A / h_m$$

**h : العمق الوسطي**

**$h_m$ : العمق الأعظمي**

**C : معامل شيزي**

**يجب أن تكون المحاليل:**

**1- ثابتة للضوء** **2 – غير سامة للكائنات بالتركيز المستخدم**

**3 – تسمح بمعايرة دقيقة** **4- غير مكلفة**

- **شروط اختيار مكان القياس:**

**1- سهولة القراءة ودقتها ولا يسبب خطورة لمن يقوم بالقراءة.**

2- ألا يكون مكان القياس قريبا من مصب مجرى مائي آخر أو قريبا من مصب النهر نفسه في بحر أو بحيرة أو قريبا من جسر أو مسقط مائي أو هدار أو مأخذ مائي ...الخ.
3- يجب الابتعاد عن مناطق انحناء المجرى المائي أو مناطق تغير ميل المجرى أو مناطق نمو الأعشاب و الحشائش.
4- تفضل المناطق أو مقاطع المجرى المائي ذات العمق الكبير و غير العريضة على المناطق ذات العمق الضحل والعريضة.
5- يجب ربط منسوب المقارنة بالشبكة الجيوديزية.
6- يجب أن يكون المقطع عمودي على اتجاه الجريان و أن تكون أعمال الحت والترسيب دنيا.
7- ألا يحتوي مقطع الجريان على ضفاف واسعة.

## 3-3- منحنى مفتاح التصاريف Rating Curve

هو علاقة تربط بين مناسيب المياه و التصاريف في مجرى مائي مكشوف. من المعلوم أن التصريف تابع لارتفاع الماء في المقطع المدروس أي أن التصريف تابع لمساحة مقطع الجريان. يتم عادة قياس المناسيب و التصاريف المقابلة لها في مقطع مائي و تتم التعبير عن هذه القيم اما بشكل جدولي أو بشكل بياني أو على شكل علاقة.

بتوقيع قيم التصاريف على المحور الافقي و المناسيب على المحور الشاقولي، كما هو مبين على الشكل نحصل على منحني يسمى مفتاح التصاريف. غالبا ما يأخذ شكل العلاقة تابعا أُسيّاً من الشكل التالي:

$$Q = a\,(w-b)^n \qquad (18)$$

Q : التصريف، $(m^3/s)$
w : المنسوب، (m)
a , n : ثوابت
b : الفرق بين منسوب صفر جهاز قياس المنسوب والمنسوب الذي ينعدم عنده التصريف، (m)

لتحديد قيم الثوابت نلجأ الى طريقة التربيعات الصغرى أو الى الطريقة البسيطة التالية:

نحول العلاقة السابقة الى علاقة خطية بأخذ لوغاريتم الطرفين:

$$\text{Log } Q = \log a + n \log (W-b) \qquad (19)$$

نوقع قيم Q ، (W-b) على شبكة احداثيات لوغاريتمية. في حال كون العلاقة بين النقاط الموقعة خطية تقريبا فهذا يعني أن العلاقة المفترضة صحيحة.

يجب اختبار مفتاح التصاريف بمعدل مرتين او أربع مرات سنويا أو بعد حدوث تغيرات مفاجئة. يجب أن يحدد لكل منحني دقة تمثيله لنقاط القياس . هذه الدقة تعكس الفرق بين قيم القياس والحساب من العلاقة أو المنحني. تعطى هذه الدقة عن طريق حساب مربع الأخطاء النسبية الوسطية mQ كما يلي:

$$mQ = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Q_i - \overline{Q_i}}{Q_i}\right)^2} \qquad (\%) \qquad (20)$$

**تعد قيمة mQ غير مقبولة وبالتالي يجب استنتاج مفتاح تصاريف آخر عندما تتجاوز قيمها القيم الحدية التالية:**

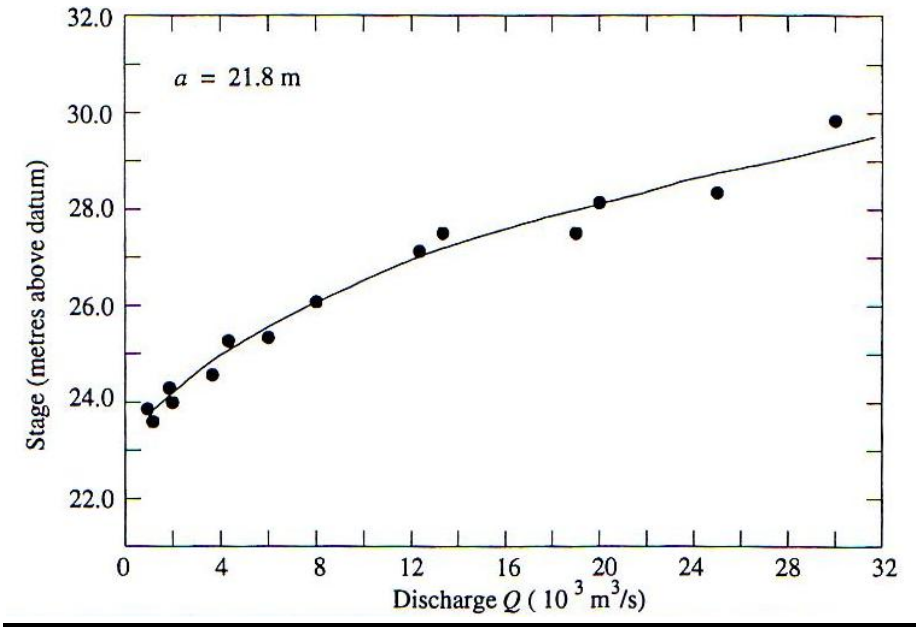
**- في مجال التصاريف الشحيحة (تصاريف الجفاف) والتي من أجلها يكون $Q \leq 0.5MQ$ فان القيمة الحدية تبلغ mQ = 20%**

**- في مجال التصاريف الوسطية والتي من أجلها يكون $0.5MQ < Q \leq 2MQ$ فان القيمة الحدية تبلغ mQ=5%**

**- في مجال تصاريف الفيضانات والتي من أجلها يكون $Q > 2MQ$ فان القيمة الحدية تبلغ mQ = 10%.**

**حيث MQ هو التصريف الوسطي.**

**ملاحظة هامة: لايمكن استخدام منحنى مفتاح التصاريف في حالة الجريان غير المستقر**




**الشكل (10) منحني مفتاح التصاريف**

## 3-4- تمثيل متحولات عشوائية وفق منحنيات رياضية

**في جميع فروع العلم التطبيقية تجرى قياسات و تجارب وتكون نتائج هذه القياسات والتجارب محصورة ضمن مجال معين. لوصف نتائج هذه القياسات والتجارب يلجأ للحصول على تابع رياضي بشكل تحليلي. بعد ذلك**

**يكون سهلا الحصول على قيم لم تشملها القياسات سواء داخل المجال الذي أجريت خلاله القياسات والتجارب أو خارجه للحصول على تابع رياضي تحليلي يمثل قيما تجريبية يتم العمل حسب الخطوات التالية:**

- **نرسم النقاط التجريبية على شبكة احداثيات مناسبة.**
- **نحاول رسم منحن يتوسط النقاط.**
- **بالرجوع الى كتب الرياضيات نبحث عن تابع رياضي يشبه من حيث الشكل المنحني الذي يتوسط القيم التجريبية**
- **بعد معرفة شكل التابع المناسب نعين ثوابت هذا التابع ليناسب القيم التجريبية وبهذا نكون قد حصلنا على المطلوب**
- **اذا كان لدينا أكثر من تابع يناسب تمثيل النقاط التجريبية عندها نختار المنحني الأفضل من حيث الدقة.**

**أما اختبار دقة تمثيل تابع رياضي لقيم تجريبية فيجري عن طريق ايجاد عامل الارتباط لحالة التابع الرياضي الخطي و الذي يعطى بالشكل التالي:**

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}}$$

**$r_{x,y}$ : معامل الارتباط وهو دون واحدة**

**$\bar{x}, \bar{y}$ : المتوسط الحسابي للقيم $x_i, y_i$**

**N : عدد نقاط القياس**

**تنحصر قيم معامل الارتباط بين: $-1 \leq r_{x,y} \leq +1$ عندما:**

**$|r_{x,y}| = 0$ هذا يعني أنه لا يوجد ارتباط بين القيم (y,x)**

**$|r_{x,y}| = 0.5$ علاقة ارتباط ضعيفة**

**$|r_{x,y}| = 0.75$ علاقة ارتباط واضحة**

**$|r_{x,y}| = 0.99$ علاقة ارتباط وثيقة**

**$|r_{x,y}| = 1$ علاقة ارتباط كاملة**

# الفصل الرابع: الخواص المورفولوجية للأحواض الساكبة

**مقدمة:**

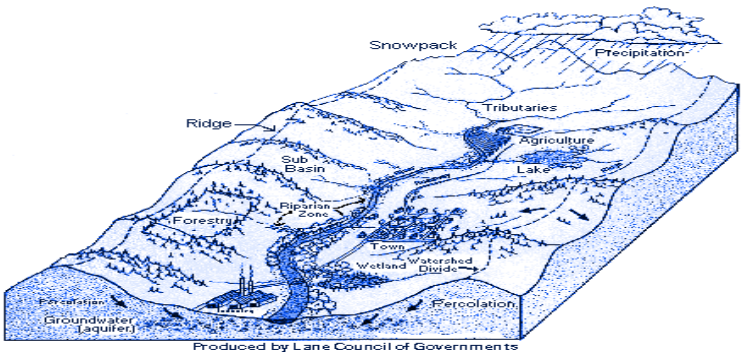
**يهتم المهندس الهيدرولوجي عندما يعالج مسائل التصميم بالتنبؤ عن التدفقات المائية التي تظهر عند مقطع معين من نهر او وادٍ. تتبع قيمة هذه التدفقات إلى جانب شدة الهطول المطري بعدة عوامل تتعلق بالحوض الساكب، منها مساحة الحوض الساكب، هل يغطى بالأعشاب والحشائش أم أجرد، هل التربة السطحية غضارية أم رملية أم صخرية، كثافة شبكة المسيلات التي تجمع المياه من لحوض الساكب، ميول شبكة المسيلات وطبيعة القاع ....الخ .**

## 4-1- الحوض الساكب :

**إن الحوض الساكب لنهر أو مسيل هو كامل المساحة التي تساهم في تشكيل التصريف لهذا النهر أو المسيل أي هو المساحة التي تتجمع منها مياه المسيل.**

**إن الحوض الساكب لمسيل رئيسي أو لفرع منه يحاط عادة بخط مغلق يفصل هذا الحوض عن الأحواض المجاورة يسمى هذا الخط حدود الحوض الساكب كما أن للمسيل الرئيسي حوض ساكب فإنه يوجد لكل فرع يصب فيه أيضاً حوض ساكب.**

**يتم تحديد الحدود السطحية للحوض الساكب استناداً إلى خرائط الطبوغرافيا (شكل 12) والـ GIS. تمر حدود الحوض الساكب من القمم المحيطة بالحوض ومحاور التحدبات غير أنه يمكن لقمم معزولة أن تكون موجودة ضمن الحوض الساكب قد تكون أعلى من خط القمم الذي يمر به الحد الفاصل. أما الحدود الجوفية فتحتاج لسبور ودراسات جيولوجية (شكل 14). وبشكل عام لا تتطابق الحدود للحوض السطحي مع حدود الحوض الجوفي.**



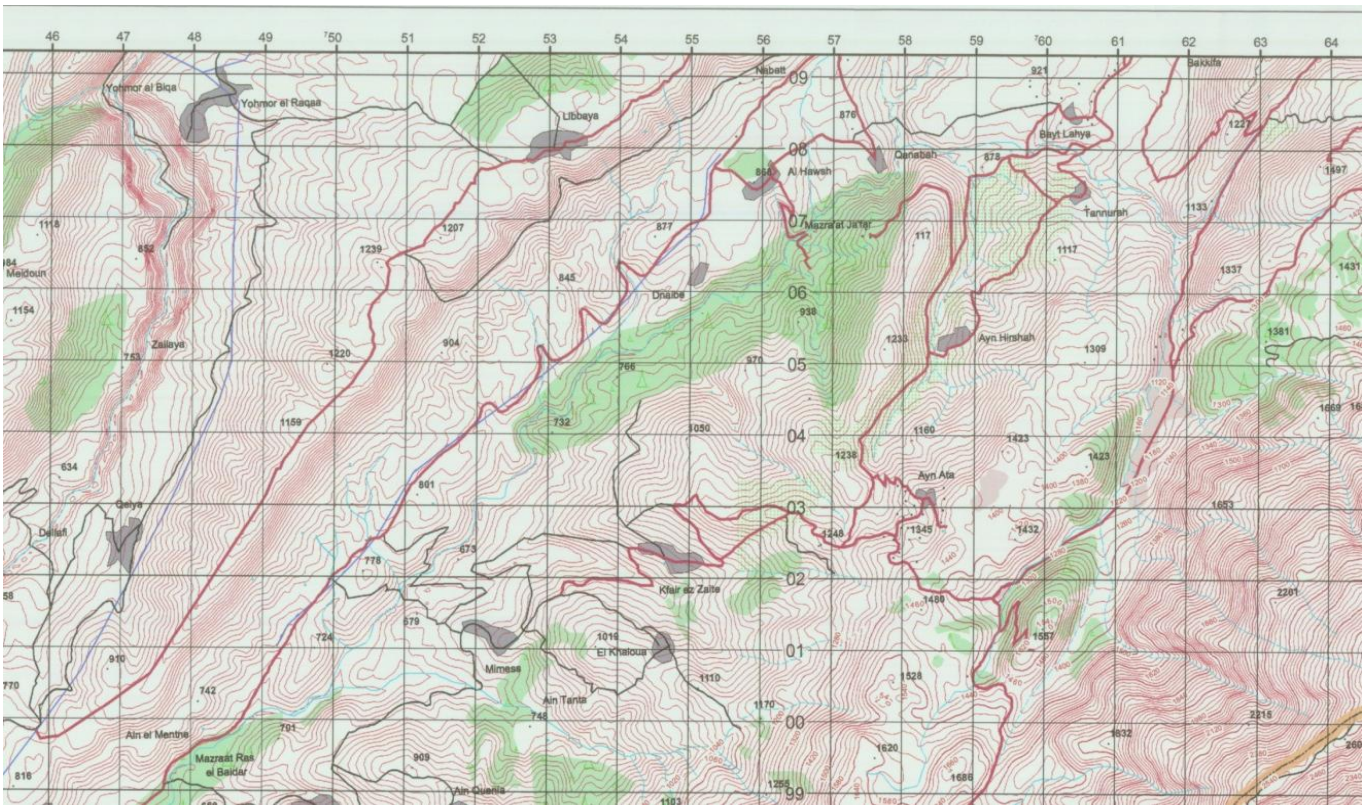

**الشكل (11) يبين حوض ساكب لشبكة مسيلات**

**وفي بعض الأحواض هناك بعض الأقسام التي تحتوي صرفاً مغلقاً أي المساحات التي يتجمع فيها الجريان السطحي في بحيرات دون أن تجد له مخرجاً لتصل مياهها إلى شبكة المسيلات وتدعى هذه السطوح عادة غير مساهمة في الجريان . يجب ملاحظة أن المنطقة التي يوجد بها خطان للتسوية متساويان تمر حدود الحوض الساكب بينهما فيما. انظر الشكل (13 ).**

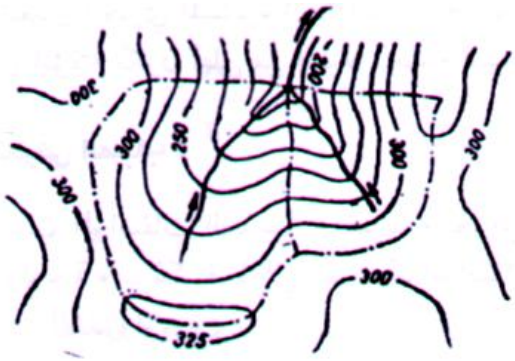
**يجب دراسة جميع المسارات بحيث يكون الخط الفاصل الذي نحصل عليه يحوي جميع المساحات التي تجمع مياهها عند مخرج الحوض. يمكن تصنيف المجاري المائية إلى عدة أشكال :**

**مجاري مائية مستمرة تتميز باستمرار الجريان في جميع أوقات السنة عدا حالات الجفاف الشديد .**

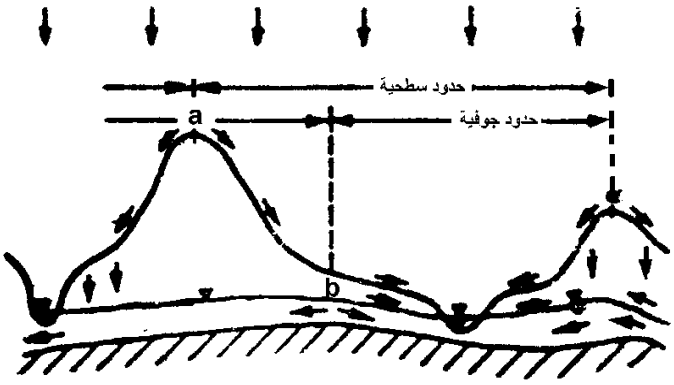
**مجاري مائية متقطعة حيث تنتقل المياه عبر هذا المجاري بشكل موسمي مؤقت عند هطول الأمطار أو ذوبان الثلوج. وما سنركز عليه في دراستنا هو المجاري المائية المتقطعة المؤقتة.**



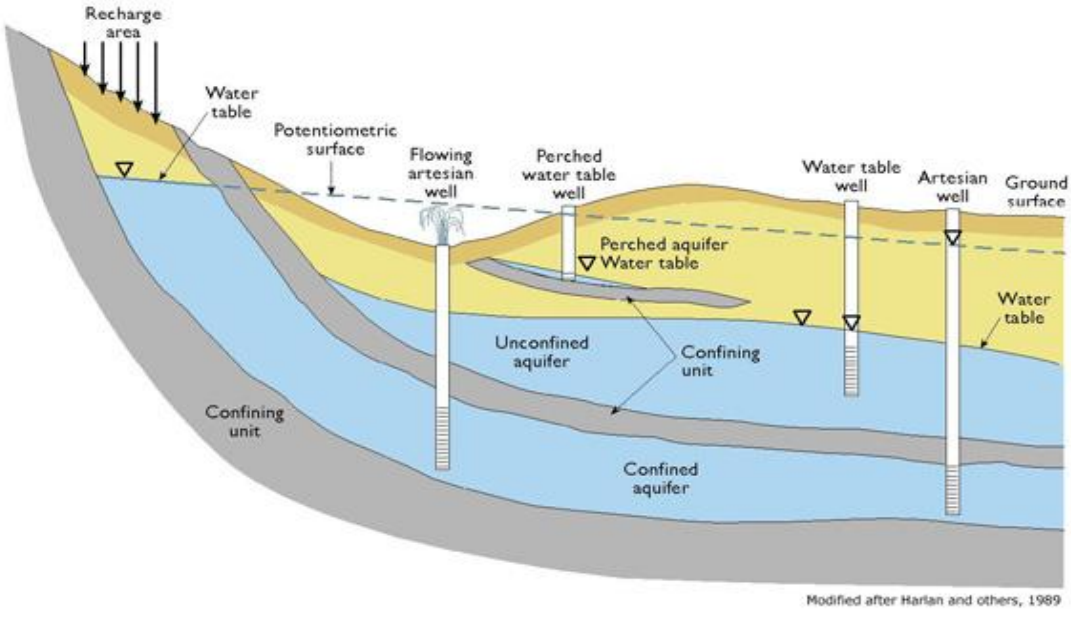

**الشكل (12) مخطط طبوغرافي**




**الشكل (13) كيفية تحديد حدود الحوض الساكب لفرع من مسيل**




**الشكل (14)**




**الشكل (15)**

## 2-4- مواصفات الحوض الساكب الفيزيائية :

**تلعب المواصفات الهندسية والفيزيائية دوراً مهما في الدراسة الهيدرولوجية، وفيما يلي بعض هذه المواصفات التي يلزم تعيينها عند إجراء الدراسة الهيدرولوجية:**

**1- مساحة الحوض الساكب :**

**وهي مساحة المستوي الواقع ضمن حدود هذا الحوض أي هي مساحة المسقط الأفقي للسطح المحصور داخل حدود الحوض. وتحسب عادة باستخدام البلانيمتر أو تقسيم الحوض إلى أشكال هندسية قابلة للحساب وتقدر المساحة عادة بالكيلومتر المربع أو الهكتار.**

**2- شكل الحوض الساكب :**

**إن لشكل الحوض الساكب تأثيراً كبيراً في كمية مياه السيول التي تصل إلى المسيل الرئيسي بعد فترة من الهطول. يتعلق شكل الحوض الساكب بالعوامل الجيولوجية من إلتواءات وجبال ومنخفضات وغيرها كما يتعلق بعوامل الحت والتآكل، وغالباً ما يكون شكل الحوض الساكب بيضاويا أو شكل أجاصه، وتستخدم عادة المؤشرات التالية للتعبير عن شكل الحوض .**

**أ- متوسط عرض الحوض الساكب (B):**

$$B = \frac{A}{L}$$ **يحدد بالعلاقة**

**حيث : A : مساحة الحوض الساكب**

**L : طول الحوض الساكب (أطول خط مستقيم يمكن رسمه ضمن الحوض)**

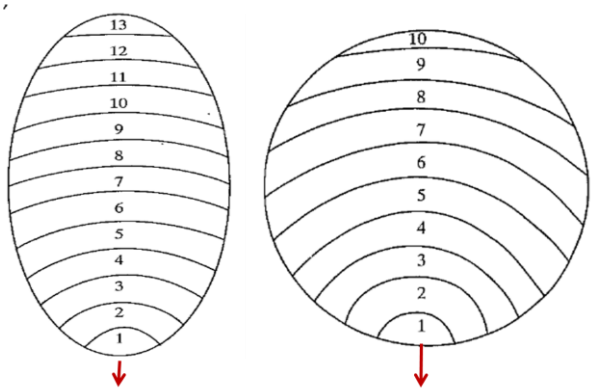
**ب – عامل اتساع الحوض الساكب d يحدد بالعلاقة:**

$$d = \frac{A}{l^2}$$

**حيث : A : مساحة الحوض الساكب . L : طول المسيل الرئيسي.**

**تعد الظروف الهيدرولوجية جيدة كلما زادت قيمة d ويكون الحوض أفضل ما يمكن إذا كان بشكل دائري (قيمة التصريف الناتجة عن هطول منتظم عالية).**

**جـ – أمثال الانضغاط K :**




**الشكل (16)**

**وهي نسبة محيط الحوض إلى محيط دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض. فإذا كان (D) هو قطر الدائرة التي مساحتها تساوي مساحة الحوض A نجد:**

$$A = \frac{\pi . D^2}{4}$$

**ومحيط الدائرة :** $e = \pi . D$

**من هاتين العلاقتين نجد :**

$$e = 2\sqrt{\pi . A}$$

**فإذا فرضنا أن (P) هو محيط الحوض نحسب عندها أمثال الانضغاط حسب التعريف أعلاه من العلاقة:**

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi . A}}$$

**تبلغ القيمة الصغرى لـ (K) الواحد وذلك عندما يكون الحوض دائريا. كلما تباعد الحوض عن الشكل الدائري زادت هذه النسبة. إن زيادة قيمة أمثال الانضغاط تعني أن حدة الفيضان تقل وذلك بافتراض أن القيم الأخرى المؤدية للفيضان ثابتة.**

**3- اتجاه الحوض الساكب :**

**يؤثر اتجاه الحوض تأثيراً كبيرا على مقدار التبخر من التربة وعلى الانفضاج (النتح) من النباتات وذلك نتيجة لكمية الحرارة التي يتلقاها من الشمس ولاتجاه الرياح بالنسبة لوضع الحوض فمثلاً تتعرض الأحواض ذات الاتجاه الجنوبي في نصف الكرة الشمالي إلى فترة سطوع شمسي أطول وبالتالي فإن ذلك يؤثر في كمية التبخر بالزيادة. وهذا يلعب دوراً رئيسياً في حساب الموازنة المائية للحوض الساكب.**

**4- متوسط ارتفاع الحوض الساكب :**

**يحدد متوسط ارتفاع الحوض الساكب ($H_0$) بالعلاقة التالية :**

$$H_0 = \frac{f_1 h_1 + f_2 h_2 + ..... + f_n h_n}{A}$$

**حيث : A - مساحة الحوض الساكب .**

**f1 ,f2 ,…… fn- المساحات الأفقية المحصورة بين كل خطين متجاورين من خطوط التسوية.**

**h1,h2……hn - متوسط المنسوب بين كل خطي تسوية متجاورين.**

**5- متوسط ميل الحوض الصباب ($J_o$)**

$$J_o = \frac{h(\frac{L_1 + L_n}{2} + L_2 + \bullet\bullet\bullet\bullet + L_{n-1})}{A}$$

**h : التباعد الشاقولي بين خطين متجاورين من خطوط التسوية**

**$L_n$, …, $L_2$, $L_1$: أطوال خطوط التسوية ضمن الحوض الصباب**

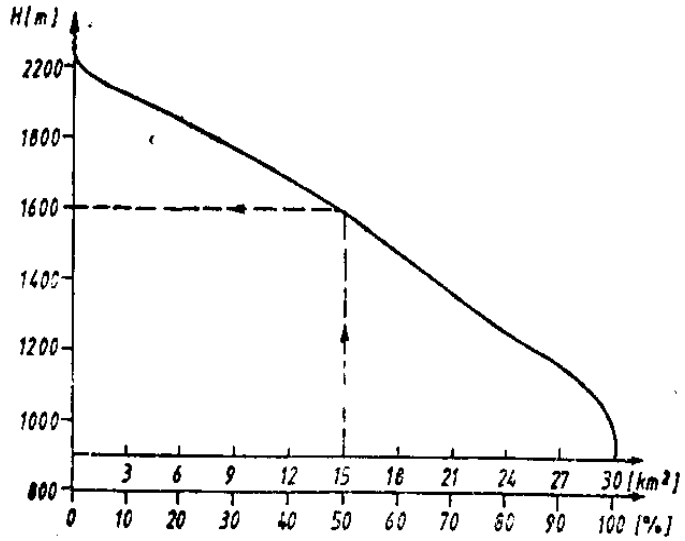
**A : مساحة الحوض**

**يلعب متوسط ميل الحوض الصباب دورا بارزا في سرعة وصول مياه الهطول الى مقطع النهر المدروس وبالتالي يؤثر في شكل منحني التصريف و القيمة العظمى للتصريف التشكل جراء هطول معين.**

**6- علاقة مساحة الحوض الصباب بالارتفاع عن سطح البحر**

**تعبر هذه العلاقة عن قيمة مساحة الحوض الصباب التي هي أعلى من منسوب معين و تمثل بشكل علاقة بيانية حيث توقع على المحور الأفقي قيم النسب المئوية للمساحات الواقعة فوق منسوب معين وعلى المحور الشاقولي قيم الارتفاع عن سطح البحر شكل (17).**

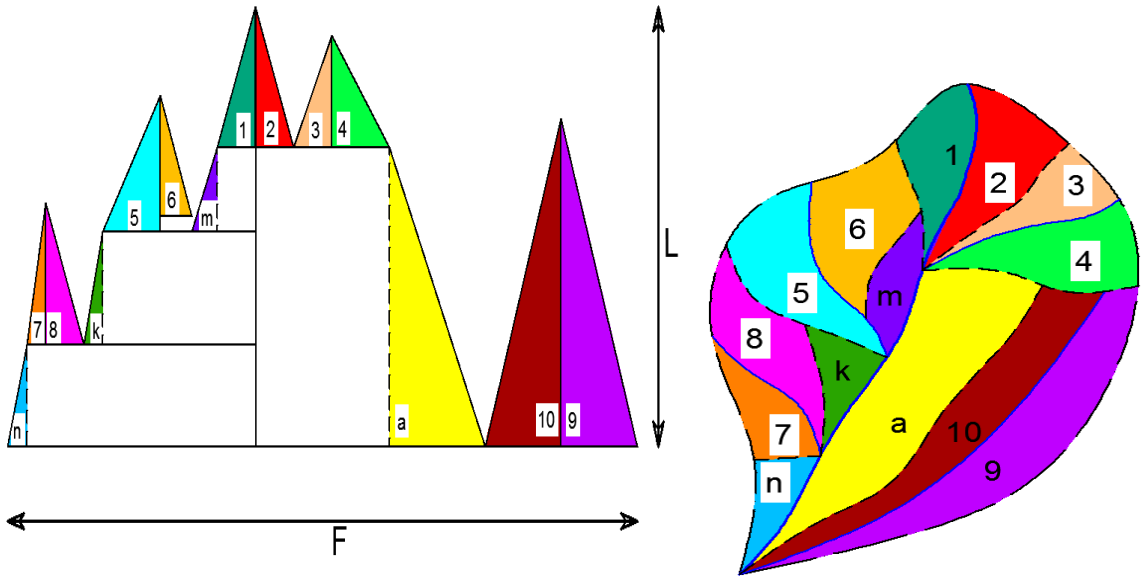
| المنسوب فوق سطح البحر m | النسبة المئوية للمساحة فوق منسوب معين % |
|---|---|
| 900 | 100 |
| 1000 | 98 |
| 1100 | 96 |
| 1200 | 87 |
| 1300 | 77 |
| 1400 | 68 |
| 1500 | 59 |
| 1600 | 50 |
| 1700 | 40 |
| 1800 | 26 |
| 1900 | 17 |
| 2000 | 6 |




**الشكل (17)**

**7- مخطط تنامي مساحة الحوض الساكب:**

**وهو مخطط يبين قيمة مساحة الحوض الساكب عند كل نقطة التقاء للمسيل الرئيسي مع الروافد. ولرسم هذا المخطط لابد من قياس جميع المساحات الساكبة للمسيلات الفرعية. بهذا تكون المساحة عند مخرج الحوض الساكب لجميع الفروع تساوي مساحة الحوض الساكب شكل (18).**



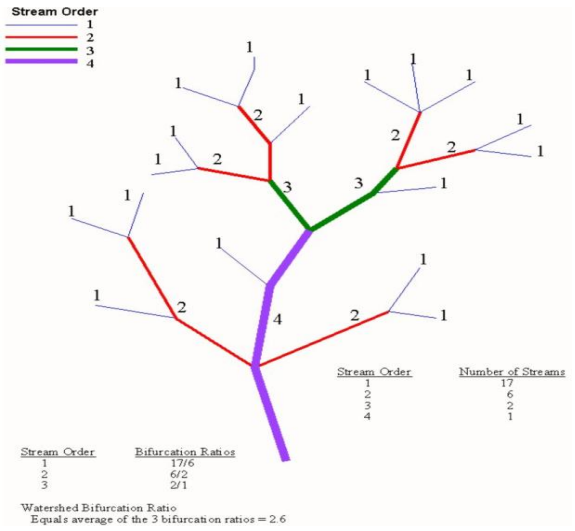

**الشكل (18) مخطط تنامي مساحة الحوض الصباب**

## 3-4- الشبكة النهرية :

**للشبكة النهرية تأثير كبير في قيمة التصريف المتشكل في مخرج الحوض والناتج عن هطول معين ويظهر هذا التأثير من حيث توزع الشبكة وكثافتها .**

### 1- تسمية وترتيب الشبكة النهرية:

**إن ترتيب الجداول والمسيلات يعكس تفرعات وانقسامات المسيلات في الحوض وتوجد عدة نظم لتسمية الجداول والمسيلات نذكر منها طريقة هورتون شكل (19).**



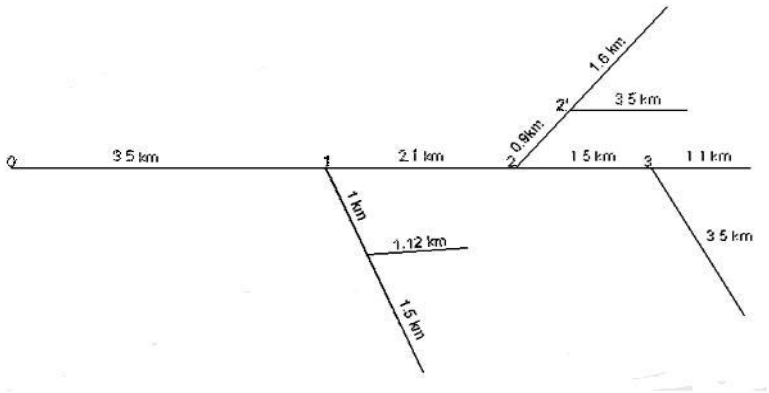

**الشكل (19) يبين ترتيب شبكة المسيلات حسب هورتون**

**أعطى هورتون الترتيب رقم (1) للفرع الذي يبدأ مباشرة بتجميع المياه دون أن يرفده أي فرع أصغر منه. عند التقاء فرعين من الترتيب (1) يشكلان فرعاً من الترتيب (2)، والتقاء فرعين من الترتيب (2) يشكلان فرعاً من الترتيب (3) ..... وهكذا.**

**وعند التقاء فرع ذي ترتيب معين مع فرع ذي ترتيب أدنى فلا تتغير درجة الفرع. بهذه الطريقة نستطيع تحديد ترتيب المجرى الرئيسي. كما يظهر من الشكل فإنه يتبع لكل فرع حوض ساكب خاص يفصل عن الحوض المجاور عن طريق حدود مغلقة.**

**2- المخطط الهيدرولوجي الوصفي للمسيلات :**

**الغاية من المخطط هو الحصول على فكرة واضحة عن توزع الروافد بالنسبة للمسيل الرئيسي وللوصول لهذا الغرض يجب تحديد طول المسيل والروافد من الترتيبين الأول والثاني .....الخ ووضع مخطط ترسم عليه المسيلات على شكل قطع مستقيمة تحدد عليها الأبعاد الكيلومترية وأماكن صب الروافد الصغيرة في الأكبر منها والروافد الكبيرة في المسيل الرئيسي متخذين المصب كمبدأ للأطوال انظر الشكل (20).**




**الشكل(20) المخطط الهيدرولوجي لأحد الأنهار**

**3- كثافة الشبكة النهرية (D) :**

**تعرف بأنها وسطي أطوال الروافد والمسيلات في وحدة المساحة من الحوض الساكب وتختلف من منطقة لأخرى.**

**وتحسب (D) من العلاقة التالية:**

$$D = \frac{\sum L}{A} \qquad \mathbf{Km^{-1}}$$

**حيث :**

$\sum L$ **: مجموع أطوال النهر وروافده (Km) .**

**A : مساحة الحوض الساكب ($Km^2$) .**

**تتعلق كثافة الشبكة النهرية بالعوامل التالية:**

- **طبيعة تربة الحوض الساكب وصخوره.**
- **تضاريس الحوض الساكب.**
- **غزارة الهطول على الحوض الساكب.**
- **الغطاء النباتي للحوض الساكب.**

**كلما كانت الشبكة النهرية كثيفة كانت قيمة التصريف المتشكل عن هطول معين أكبر والضياعات بالرشح أقل وتكون سرعة الجريان أكبر.**

**4- تعرج النهر $\Phi$:**

**هو العلاقة بين طول النهر المتعرج الفعلي إلى طول المستقيم الواصل بين المنبع والمصب ويحسب بالعلاقة:**

$$\Phi = \frac{l}{L}$$

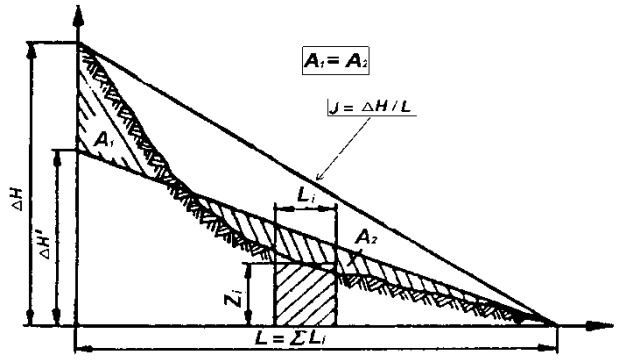
**حيث :**

**$l$ : طول المستقيم الواصل بين المنبع والمصب. $L$ : طول المسيل الرئيسي.**

**تكون قيمة $\Phi$ دوماً أقل من الواحد.**

**5- ميل المسيل (J):**

**هناك فرق بين ميل قاع المسيل وميل سطح الماء من الناحية الهيدروليكية وللدراسة الهيدرولوجية تكفي قيمة واحدة للميل لكامل المسيل الرئيسي أو لكل فرع على حدة. ترتبط قيمة ميل النهر ارتباطاً وثيقاً بتشكل الفيضانات.**




**شكل (21) مخطط حساب ميل المجرى المائي**

**فميل النهر أو المسيل هو النسبة بين فرق الارتفاع بين المنبع والمصب وطول النهر الفعلي. ويحسب بالعلاقة التالية:**

$$J = \frac{\Delta H}{L} \quad (\%)$$

**حيث :**

$\Delta H$ **: فرق الارتفاع بين المنبع والمصب .** $L$ **: طول النهر الفعلي أو المسيل الرئيسي .**

**إن قيمة الميل التي تعطيها العلاقة السابقة تكون كبيرة في القسم الأعلى من النهر لذلك يلجأ أيضاً لحساب الميل وفق المعادلة التالية :**

$$J = \frac{H_{0.85L} - H_{0.1L}}{0.75L}$$

**حيث :**

**L : طول النهر الرئيسي ( المسيل ) من المنبع حتى المصب .**

$H_{0.85L} - H_{0.1L}$ **: هو المنسوب الموافق لـ** $L_{0.85L} - L_{0.1L}$

## الأحواض في سوريا

**1 - حوض اليرموك 6724 كم2**

**2- بردى و الأعوج 8630 كم2**

**3- العاصي 21624 كم2**

**4 - الساحل 5049 كم2**

**5 – حلب 11155 كم2**

**6 – الفرات 40083 كم2**

**7 – دجلة والخابور 21129 كم2**

**8 - البادية 70786 كم2**

# الفصل الخامس: الهطولات

يعبر عن قياس الهطولات كارتفاع مائي. وبذلك فإن هطول بمقدار 1 سم على حوض صباب مساحته1 كم$^2$ تمثل حجم ماء قدره $10^4$ م$^3$. أما في حال الثلج فيستخدم العمق المكافئ للهطول المطري. وهناك أجهزة عديدة لقياس الهطول المطري ويمكن تقسيمها إلى قسمين: أجهزة القياس العادية وأجهزة القياس الآلية. ولكن قبل التطرق إلى هذه الأجهزة سنستعرض باختصار أهم الشروط الواجب توفرها للحصول على قياسات موثوقة للهطولات.

## 5-1- الشروط الواجب توفرها للحصول على قياسات موثوقة

للحصول على قياسات موثوقة للهطولات لا بد أن تتوفر بعض الشروط المتعلقة بمكان محطة القياس:

1- في المناطق السهلية يكفي مقياس هطول واحد كل (40-50) كم$^2$ أما للمناطق الجبلية فمن الضروري زيادة عدد مقاييس الهطول حسب حالة الرياح.

2- يجب وضع المقياس أقرب ما يمكن لسطح الأرض للتقليل من تاثير الرياح ولكنه يجب أن يكون مرتفعاً أيضاً عن الأرض بشكلٍ كافٍ لكي لا يتاثر بالمياه المتناثرة من الأرض أو من السيول.

3- يجب أن يكون الجهاز محاطاً بمنطقة فسيحة أبعادها على الأقل 5.5 x 5.5 م. ولا يوجد بالقرب منهاعوائق (مثل الأبنية أو الأشجار) لمسافة لاتقل عن 30 م أو مرتين على الأقل ارتفاع العائق.

4- يجب ان يدخل المطر بشكل حر إلى سطح الاستقبال من جميع الأطراف.

وتوجد عدة توصيات لتحديد عدد محطات قياس الهطول اللازمة في مساحة محدودة. ونورد على سبيل المثال توصيات Bleasdale الموضحة في الجدول التالي:

| المساحة بالكم$^2$ | عدد محطات قياس الهطول |
|---|---|
| 26 | 2 |
| 260 | 6 |
| 1300 | 12 |
| 2600 | 15 |
| 5200 | 20 |
| 7800 | 24 |

جدول (2)

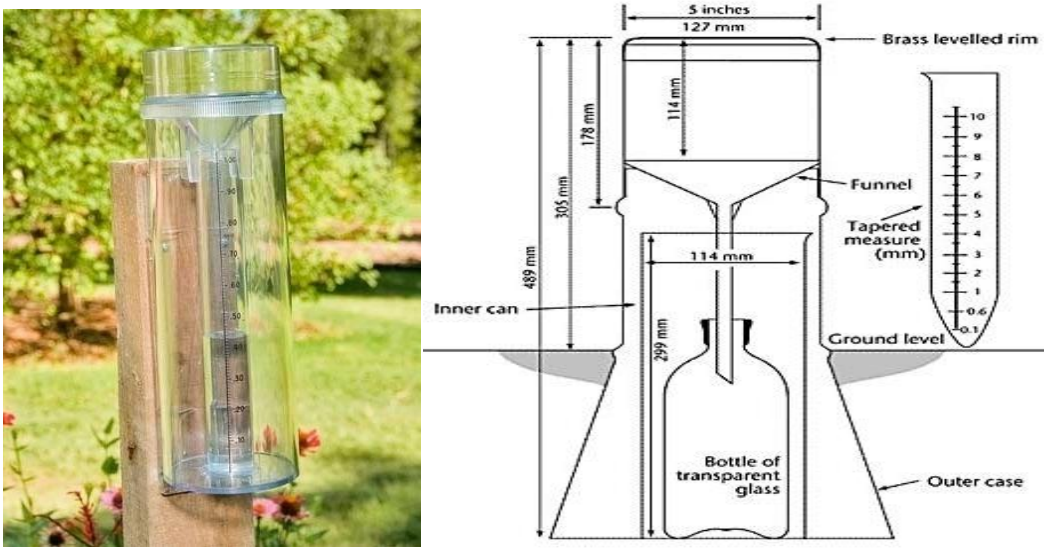
## 5- 2 - أجهزة قياس الهطول

إن أي إناء أو وعاء ذي جوانب رأسية ومفتوح من الأعلى يصلح ليكون مقياساً للهطول. ولكن نشير لوجوب أن يكون شكل المقياس موحداً في جميع محطات القياس في منطقة معينة (حوض صباب مثلاً).

يتم قياس الهطول ككمية هطول خلال فترة زمنية محددة، فمثلاً يمكن أن يؤخذ مجموع الهطول المطري خلال 24 ساعة بحيث يُقرأ الساعة السابعة من صباح كل يوم وذلك في المناطق السهلية، أما في المناطق الجبلية فيمكن أن تكون الفترة أطول (اسبوع مثلاً) وهنا لابد ان يكون وعاء التجميع في جهاز الهطول أكبر.

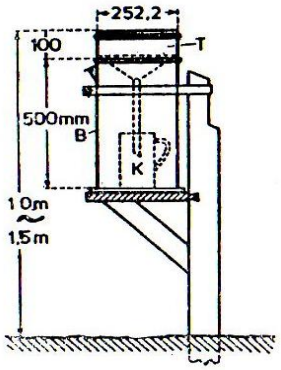
نهتم عادةً في الدراسات الهيدرولوجية، ليس فقط بكمية الهطول التجميعية خلال فترة محددة (يوم، اسبوع، ...إلخ) وإنما أيضاً بكمية الهطول خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً (خمس دقائق، ربع ساعة، نصف ساعة، ساعة، ثلاث ساعات، ست ساعات، اثنتا عشر ساعة) ولهذه الغاية نستخدم مقاييس هطول آلية تسجل تغير ارتفاع الهطول مع الزمن. ويقاس ارتفاع الهطول بالنظام المتري بالميليمتر وبدقة جزء من عشرة من الميليمتر. وسوف نتطرق هنا إلى أجهزة قياس الهطول العادية وأجهزة قياس الهطول الألية.

## 1- أجهزة قياس الهطول العادية




الشكل (22) جهاز لقياس الهطول

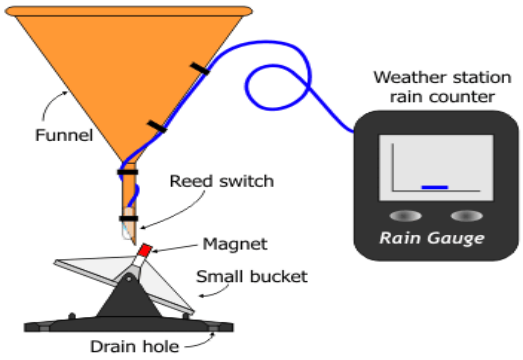
أما الشكل (23) فيمثل جهاز هيلمان وهو أيضاً جهاز عادي لقياس الهطول.



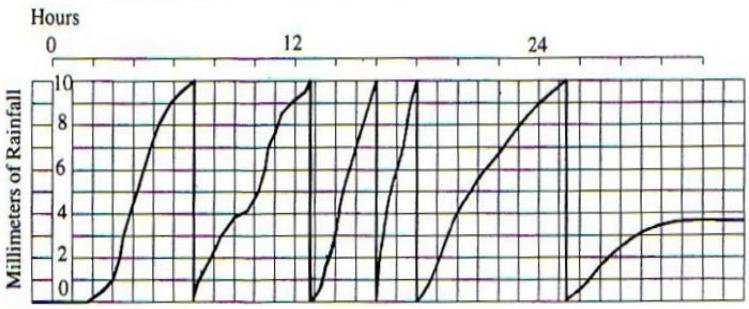

الشكل (23) جهاز هيلمان لقياس الهطول

**2- أجهزة قياس الهطول الألية**

**الشكل (24) يمثل مسجل المطر ذو الجيب المائل ويتألف من جيبين صغيرين سعة كل منها (0.25 mm) من الأمطار. يصبح هذان الجيبان في حالة عدم استقرار عندما تصل كمية المياه في الجيب (0.1 mm) مما يجعله يميل ساكباً ما به من ماء في وعاء تجميعي ليأتي الجيب الآخر ويستقبل المياه ثانية. يقع الجيبان أسفل قمع تجميع مياه. وهما مصممتان بحيث يمكن للماء أن ينسكب من الجيب المملوء وبالوقت نفسه يتبعه الجيب الفارغ ليستقبل المياه. عندما ينسكب الجيب المملوء ماءه في مجمع سفلي فإنه يقفل دارة كهربائية متصلة بقلم يخط بدوره على ورقة بيانية مثبتة على على اسطوانة تدور بسرعة ثابتة. من ثم يمكن معرفة عدد مرات سكب المياه من الجيبين وبالتالي معرفة ارتفاع الهطول وتغيره مع الزمن.**




**الشكل (24) مسجل المطر ذو الجيب المائل**




**الشكل (25) ورق ميليمتري مسجل عليه تغيرات الهطول**

- **أخطاء القياس**

**يشكل كل جهاز قياس هطول تشوها في حقل الرياح الذي يسبب خطأ في قياس الهطول السائل بنسبة 2% الى 5% ، كما توجد أخطاء أخرى كالتبخر من وعاء التجميع حيث يبلغ هذا الخطأ نسبة من 1% الى 3%. ان قياس الهطول يعطي دوما قيم أقل من الواقع، لذلك يضاف الى مجموع الهطول نسبة مئوية. مثال في ألمانيا**

**يضاف نحو 20% للمناطق التي ارتفاعها أكثر من 2500 متر، هذه النسبة تم الحصول عليها من خلال التطابق بين كمية الجريان وقيم معادلة التوازن المائية الأخرى.**

## 5- 3 - معالجة معطيات قياس الهطول

### إكمال قياسات الهطول الناقصة:

**عندما توجد قياسات هطول ناقصة يمكن إكمال هذه القياسات بمساعدة المحطات و أجهزة القياس المجاورة. ان عدد المحطات المجاورة للمحطة يجب أن يزيد على ثلاثة، وتكون موزعة بشكل منتظم حولها.**

**لاستخدام بيانات هذه المحطات المجاورة للمحطة المراد إكمال بياناتها نقوم بالخطوات التالية:**

**- إذا اختلفت قيم الهطول السنوية الوسطية لعدد من السنين لهذه المحطات بأقل من 10% عن قيم الهطول السنوية الوسطية لعدد من السنين للمحطة المدروسة فانه يتم تقدير القياسات الناقصة بحساب وسطي قياسات الهطول للمحطات المجاورة.**

**- أما إذا لم يتحقق الشرط أعلاه فتحسب القيمة الناقصة باستخدام المعادلة التالية**

$$P_x = \frac{1}{n}\left(\frac{N_x}{N_1}P_1 + \frac{N_x}{N_2}P_2 + .... + \frac{N_x}{N_n}P_n\right) \qquad (21)$$

**$P_x$ : كمية الهطول الناقصة عند المحطة (x) خلال زمن معين**

**$P_1, P_2$ ..... $P_n$ كمية الهطول المعلومة عند المحطات (1,2,....n ) خلال زمن معين.**

**$N_x$ متوسط الهطول السنوي للمحطة x**

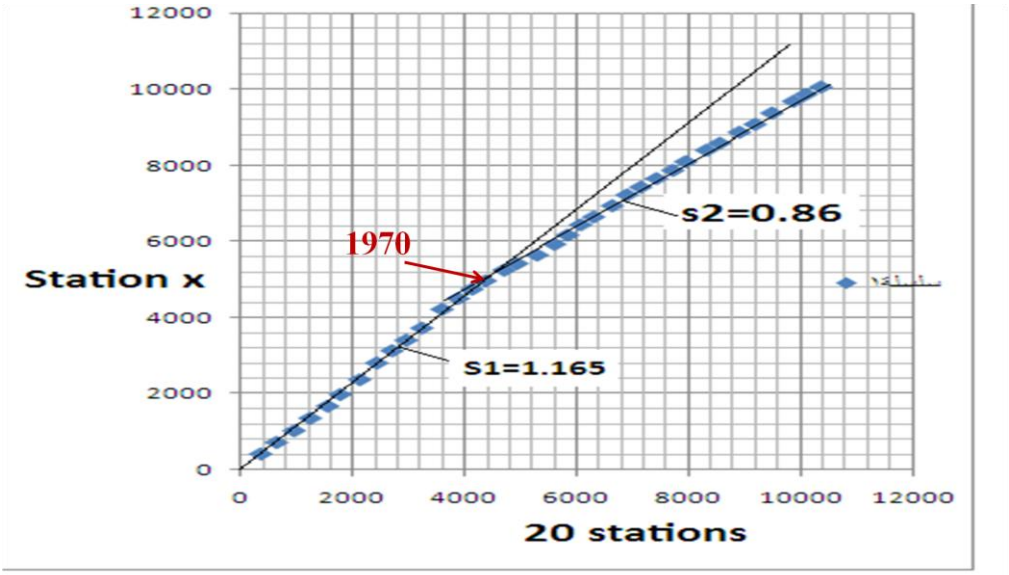
**$N_1, N_2$ ..... $N_n$ متوسط الهطول السنوي للمحطات (1,2,....n ).**

## 5-4- تصحيح قياسات الهطول

**قبل استخدام قياسات الهطول لا بد من تصحيحها حتى نتجنب النتائج الخاطئة التي تعتمد على هذه القياسات نتيجة تعطل جهاز، تغيير جهاز القياس، أخطاء شخصية بالقراءة ... الخ. لتصحيح القياسات تستخدم طريقة التحليل الكمي المزدوج Double-Mass Analysis.**

لاختبار بيانات محطة قياس هطول نرسم العلاقة بين كمية الهطول السنوية التجميعية أو كمية الهطول التجميعية خلال فصل معين من السنة للمحطة التي يراد اختبار قياساتها وبين متوسط الكميات المناظرة لمجموعة من المحطات المحيطة بهذه المحطة (خمس محطات على الأقل) وذلك لعدد معين من السنين. تسمى العلاقة التي نحصل عليها منحني التحليل الكمي المزدوج.

يبين الشكل 26 مثل هذا المنحني لمحطة (x) يراد اختبار قياساتها بمعرفة القياسات المتوسطة والخاصة بعشر محطات قريبة منها. إذا ظهرت العلاقة أو المنحني على شكل خط مستقيم، فهذا يعني أنه لا يوجد تناقض في القياسات و أنها صحيحة.




الشكل (26)

أما اذا ظهر تغير واضح في الميل فهذا يعني حدوث تغير في ظروف تشغيل المقياس في هذه المحطة، أو تغيير في مكان المحطة أو تغيير في نوع الجهاز.....الخ.

من الشكل يظهر ابتداء من عام 1970 وجود أخطاء في قياسات المحطة (x) لذلك يجب تصحيح النتائج التالية لهذا التاريخ والتي تعد غير منسجمة مع البيانات قبل هذا التاريخ. يتم تصحيح هذه البيانات بعد عام 1970 بضربها بنسبة ميلي المستقيمين $(S_1/S_2)$ حيث $S_1$ هو ميل المستقيم قبل عام 1970 و $S_2$ هو ميل المستقيم بعد عام 1970. أما اذا كان يجب تصحيح النتائج التي تسبق تاريخ الميل فيجب ضرب القياسات قبل تاريخ تغير الميل بالنسبة $(S_2/S_1)$ .

تستخدم طريقة التحليلي الكمي المزدوج أيضا في اختبار توافق بيانات محطة قياس تصريف في مجرى مائي مكشوف.

## 5-5- تقدير ارتفاع الهطول الوسطي في منطقة ما

## 1- طريقة المتوسط الحسابي

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{n}$$

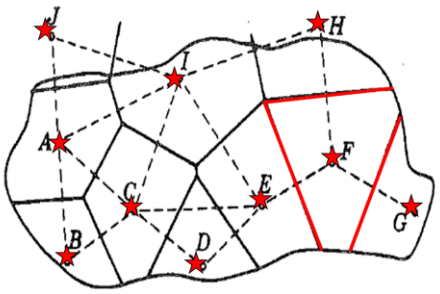
يستخدم للمناطق المنبسطة وعندما تتوزع مقاييس الهطول المطري بشكل منتظم ويعطى بالعلاقة:

n - عدد محطات القياس

$h_i$ - الهطول في المحطة i

## 2 - طريقة مضلع تيسن

حسب هذه الطريقة يلحق بكل محطة قياس هطول مساحة محددة. ويتم تحديد الهطول الوسطي كما يلي:




| Station | Thiessen area mi² | Precipitation, in. | Product, mi² in. |
|---|---|---|---|
| A | 72 | 3.50 | 252 |
| B | 34 | 4.46 | 152 |
| C | 76 | 4.28 | 325 |
| D | 40 | 5.90 | 236 |
| E | 76 | 6.34 | 482 |
| F | 92 | 5.62 | 517 |
| G | 46 | 5.20 | 239 |
| H | 40 | 5.26 | 211 |
| I | 86 | 3.86 | 332 |
| J | 6 | 3.30 | 20 |
| Total | 568 | 47.72 | 2766 |

Average precipitation = $\frac{\Sigma \text{ Product}}{\Sigma \text{ Area}} = \frac{2766}{568} = 4.87$ in.

**الشكل (27) مضلع تيسن**

- نصل بين محطات قياس الهطول بمستقيمات بحيث نشكل ما أمكن مثلثات حادة الزوايا.

- تحدد نقاط تلاقي محاور المستقيمات المساحة التي تحيط بكل محطة وتكون المساحة محدودة بنقاط تلاقي المحاور مع بعضها أو مع حدود الحوض الصباب.

- نفرض أن ارتفاع الهطول ضمن كل مساحة مساوية ارتفاع الهطول في المحطة الواقعة ضمن هذه المساحة.

- نحسب المساحات المختلفة ($A_i$) والتابعة للمحطات المطرية.

- يحسب الهطول الوسطي بالعلاقة

$$h = \sum \frac{h_i}{A} \times A_i$$

$h_i$ ـ ارتفاع الهطول في المحطة i

## 3- طريقة خطوط تساوي الهطول

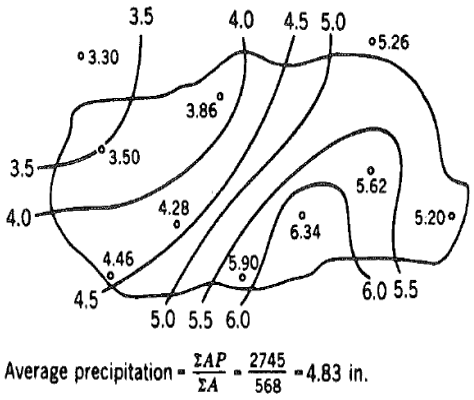
خطوط تساوي الهطول هي الخطوط التي يكون عندها ارتفاع الهطول ثابتا ويتم رسمها اذا علمت ارتفاعات الهطول في عدة محطات مطرية موزعة داخل الحوض وحوله. يحسب ارتفاع الهطول الوسطي من العلاقة:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_{i,i+1} \quad A_{i,i+1}}{A} \qquad h_{i,i+1} = \frac{h_i + \quad h_{i+1}}{2}$$

A ـ مساحة الحوض الصباب

$h_i$ , $h_{i+1}$ ارتفاع الهطول عند خطي تساوي الهطول (i, i+1)

$A_{i,i+1}$ المساحة المحصورة بين خطي تساوي الهطول (i, i+1)




| Isohyets | Area between isohyets, mi² | Average precipitation, in. | Product A × P mi² in. |
|---|---|---|---|
| 3.0 | 19 | 3.45 | 66 |
| 3.5 | 106 | 3.75 | 398 |
| 4.0 | 102 | 4.25 | 434 |
| 4.5 | 60 | 4.75 | 285 |
| 5.0 | 150 | 5.25 | 788 |
| 5.5 | 84 | 5.75 | 483 |
| 6.0 | 47 | 6.20 | 291 |
| 6.5 | | | |
| Total | 568 | — | 2745 |

شكل ( 28) طريقة خطوط تساوي الهطول

## 5-6- تمثيل نتائج القياسات المطرية:

من محطات قياس الهطول المطري نحصل على قيم ارتفاعات الهطول اليومية التي تسجل أو تدون في سجلات خاصة. وتشكل قيم ارتفاعات الهطول اليومية هذه خلال عدد من السنين بيانات هيدرولوجية هامة. ويتم دراسة وتحليل هذه البيانات بغية الحصول على قيم محددة (يومية أو شهرية أو سنوية) يمكن الاستفادة منها في التنبؤات المستقبلية لقيم الهطول وفي معرفة تغيرات قيم الهطول وفي تصميم منشآت التحكم بالمياه ومنشآت التصريف وشبكات الري والصرف.

### 5-6-1- مواصفات الهطول:

يمكن التعبير عن الهطول المطري بالعناصر التالية:

**- ارتفاع الهطول (P) : ويعبر عن ارتفاع طبقة الماء الهاطل المقاس في محطة قياس الهطول مقدراً بـ mm، للمنطقة التي تمثلها هذه المحطة.**

**- الشدة المطرية أو غزارة الهطول i : وتساوي إلى ارتفاع الهطول مقسوماً على زمن الهطول الفعلي وتقاس بـ mm/min أو mm/hr :**

$$i = \frac{P}{D} \qquad (22)$$

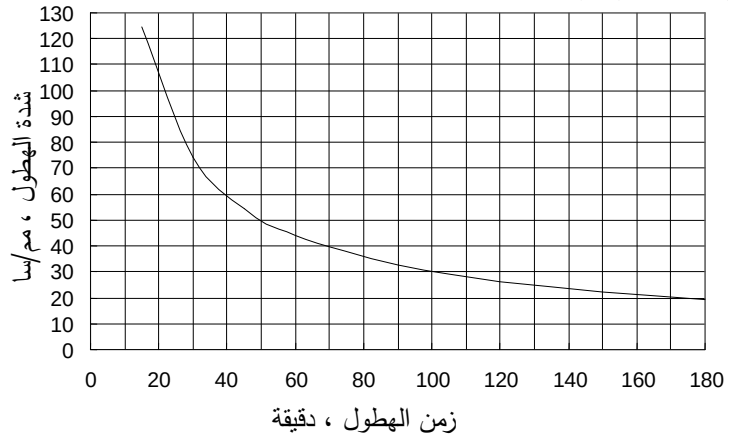
**باعتبار: P = ارتفاع الهطول . D = زمن (ديمومة) الهطول.**

**- الشدة المطرية المتوسطة: وهي الشدة المطرية المحسوبة خلال كامل فترة هطول عاصفة مطرية معينة:**

$$\bar{i} = \frac{\Delta P}{\Delta D} \qquad (23)$$

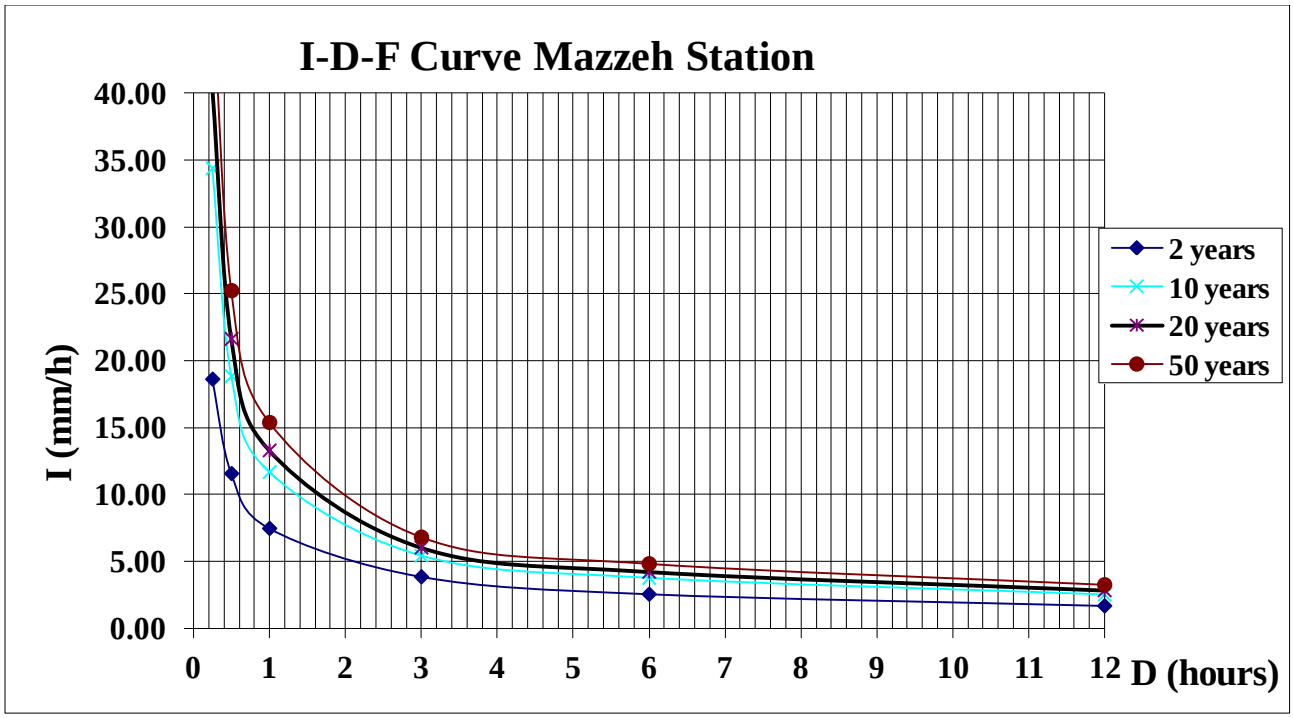
**.**

**تتناقص الشدة المطرية المتوسطة بزيادة مدة العاصفة المطرية (زمن استمرار هطول العاصفة المطرية)، كما هو مبين في الشكل (29).**



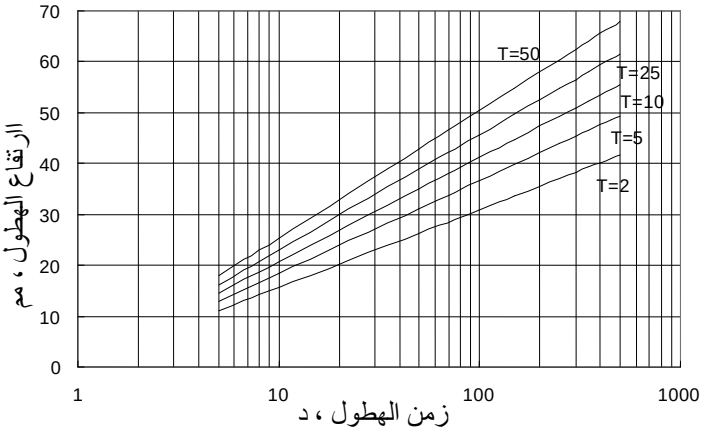

**شكل (29) العلاقة بين شدة الهطول وزمن الهطول**

**من أجل تصميم منشآت التحكم بالمياه يجب تحديد الشدة المطرية المقابلة لفترة تكرار (أو زمن رجوع) محدد (T) وهو يتبع درجة المشروع المدروس وأهميته. من فترات تكرار مختلفة على منحنيات المبينة على الشكل (30)**




**الشكل (30) العلاقة بين الشدة المطرية وزمن الهطول**

**عند وجود قياسات وفيرة لعواصف مطرية ذات فترات هطول D يمكن كذلك رسم منحنيات تربط بين ارتفاع الهطول المقاس (P) ومدة العاصفة (فترة الهطول) وطور التكرار (T) بالسنوات، كما هو مبين في الشكل (31)، بالتالي يمكن من المخطط مباشرة قراءة ارتفاع هطول P ذي فترة هطول D وطور تكرار T.**




**الشكل (31) العلاقة بين ارتفاع الهطول وزمن الهطول**

### 5-6-2- التغير الزماني والمكاني للهطولات المطرية:

**تخضع الهطولات المطرية إلى تغيرات زمنية كبيرة، حيث تحدث الهطولات المطرية بارتفاعات وشدّات وفترات هطول مختلفة، كذلك يمكن للشدة المطرية أن تتغير خلال العاصفة المطرية. ويمكن ملاحظة هذا**

**التغير الآني مع الزمن من خلال المنحني البياني الناتج من مقياس الهطول المسجل، أما من أجل فترات زمنية طويلة فيتم تحديد مجموع الهطولات أو وسطي الهطولات التي حصلت خلالها.**

**بشكل عام تعطي محطات القياس العادية قيم الهطولات اليومية. ومن أجل الحصول على قيم الهطولات لفترات زمنية أقل من يوم نحتاج في هذه الحالة إلى تقييم المنحنيات التي نحصل عليها من أجهزة القياس المسجلة. يتم هذا التقييم عادة ضمن مجالات زمنية ساعية، ومن أجل المسائل الخاصة تؤخذ مجالات أقل تصل إلى 10 دقائق. لكن نظراً لعدم توفر العدد الكافي من الأجهزة المسجلة نحتاج إلى علاقات لتحويل لقيم للهطولات المطرية اليومية $P_d$ إلى هطولات بفترات أقل.**

**ومن أجل فترات هطول $15 < D < 1440$ min يعطى الهطول المطري بالملم بالعلاقة التالية:**

$$P_D = aP_{24} \cdot \left(\frac{D}{1440}\right)^n \quad [mm] \qquad \textbf{(24)}$$

**a, n : ثوابت تتعلق بالظروف المناخية للمنطقة المدروسة**

**5-6-3- الأمطار الغزيرة والأمطار التصميمية:**

**الأمطار الغزيرة هي الأمطار ذات الشدة المطرية الكبيرة وتهطل عادة خلال فترة قصيرة على مساحة صغيرة نسبياً من الأرض. للأمطار الغزيرة أهمية كبيرة في الهيدرولوجيا وتستخدم ميزاتها عند وضع علاقات حساب التصاريف المائية العظمى باحتمالات مختلفة والتي تدخل في الحسابات التصميمية لمنشآت تصريف مياه الفيضان مثل فتحات الجسور والعبارات و مفيضات السدود وكذلك عند تصميم شبكات الصرف في المدن. ويمكن تصنيف الأمطار على النحو التالي المبين في الجدول (4):**

**جدول (4) تصنيف الأمطار حسب الشدة**

| الشدة المطرية i ، مم/سا | نوع الأمطار |
|---|---|
| i < 0.5 | مطر خفيف |
| 0.5 - 4.0 | مطر معتدل |
| i >= 4.1 | مطر غزير |

**ويمكن اعتبار المطر غزيراً إذا تحققت المتراجحة:**

$$P \geq \sqrt{5 \cdot D - (D/24)^2} \qquad \textbf{(25)}$$

**حيث: P - ارتفاع الهطول المطري ، مم ، D - فترة الهطول ، دقيقة.**

- **<u>الشدّات الأعظمية المسجلة في العالم</u>**

**خلال دقيقة 40 مم**

**خلال 8 دقائق 126 مم في بافاريا**

**خلال 15 دقيقة 198 مم**

**خلال 20 دقيقة 200 مم**

**خلال يوم 1870 مم في جزيرة ريئنيون في 1952/3/15**

**خلال شهر 1861 شيرابونجي (الهند) 9300 مم**

**خلال 6 أشهر 22454 مم شيرابونجي (الهند) 1861**

**خلال سنة 26000 مم شيرابونجي (الهند) 1861**

### 5-6-4- تحليل بيانات الهطول:

**يمكن الحصول على الأمطار التصميمية التي تتكرر وسطياً مرة كل عدد من السنوات (T) من خلال التحليل الإحصائي للأمطار الغزيرة واعتبار أهمية المنشأة المدروسة والعوامل الاقتصادية في الحساب وذلك بمقارنة تكاليف زيادة أبعاد المنشأة المائية فيما إذا صممت على أساس عاصفة مطرية كبيرة الشدة وذات طور تكرار كبير مع الأضرار الناتجة فيما إذا تم التصميم من أجل عاصفة مطرية أصغر. إن خواص الهطول ذات الأهمية في التصميم هي التالية:**

- **ارتفاع الهطول.**
- **مدة العاصفة (مدة الهطول) D.**
- **التغير الزماني والمكاني للهطول.**

**تستخدم لأجل الأمطار التصميمية معطيات التكرار المبينة في العلاقة التالية:**

$$P_D(T) = \overline{P_D} + k(T) \cdot \sigma_{(P_D)} \qquad (26)$$

**حيث: $P_D$ (T) - ارتفاع الهطول ذو فترة الهطول D والذي يتكرر وسطياً مرة كل عدد من السنوات (T).**

**$\overline{P_D}$ - وسطي الهطول ذو فترة الهطول D.**

**k(T) - أمثال التكرار.**

**$\sigma_{(P_D)}$ - الانحراف المعياري للهطولات ذات فترة الهطول D.**

**ويمكن حساب ارتفاع الهطول التصميمي من العلاقة السابقة (أو الشدة المطرية التصميمية) ذي فترة الهطول D الذي يتكرر وسطياً مرة واحدة كل فترة زمنية (T).**

**ومن المعلوم أن الهطولات المطرية يتم تدوينها في جداول خاصة، بالتالي نحصل في كل عام بنتيجة هذه القياسات على جداول تحتوي على القيم اليومية والشهرية والسنوية، ومن هذه الجداول نحصل على القيم**

**الوسطية، الأصغرية والأعظمية. ويمكن اعتبار أن هذه القياسات تمثل بشكل دقيق مواصفات الأعوام التي تمت خلالها القياسات.**

**لكن غالباً ما يكون عدد سنوات والرصد قليلاً بحيث لا يمكن استخدام القيم المتوفرة لأغراض التصميم لذلك نلجأ إلى معالجة البيانات المتوفرة باستخدام نظريات الإحصاء والاحتمالات لحساب القيم اللازمة للتصميم.**

# الفصل السادس: علاقة المطر بالجريان السطحي

## 6-1- مقدمة

**سنناقش في هذه الفقرة كيفية انتقال المطر إلى جريان في المجاري المائية مع تحديد العوامل المؤثرة في ذلك، كذلك التنبؤ عن التصاريف الأعظمية المتشكلة في المجاري المائية والناتجة عن الأمطار الغزيرة.**

**لتحديد شكل منحني التصريف (علاقة التصريف مع الزمن) الناتج عن هطول معين توجد عدة موديلات فيزيائية بعضها يحتاج إلى معرفة خواص حوض التجميع من غطاء نباتي وميول...الخ، وبعضها الآخر يحتاج إلى قياسات لمنحنيات تصاريف سابقة.**

**سنسمي النماذج الفيزيائية لتحديد شكل منحني التصريف توابع تحويل المطر إلى جريان. وعند دراسة انتقال المطر إلى جريان يمكن أن نميز الأطوار الثلاثة الرئيسة التالية (كما هو مبين في الشكل (32):**

1. **طور تشكيل الجريان السطحي أو طور التربة : هنا يتم تقدير كمية الهطول التي تساهم في تشكيل الجريان السطحي من مجمل كمية الهطول، تسمى كمية الهطول هذه الهطول الفعال ($P_{ef}$) أو الجريان المباشر ($R_D$).**

2- طور تركيز الجريان في الشبكة النهرية أو طور السرير النهري. هنا يتشكل جريان مائي في الشبكة النهرية والناتج عن هطول محدد. إذا تم قياس التصريف في أحد المجاري فإننا نحصل على ما يسمى منحني التصريف ($Q_Z$).

3- طور انتقال الجريان في المجاري المائية أو طور انتقال الفيضان. هنا يمكن أن ندرس كيفية تغير شكل منحني التصريف عند مقاطع متتالية من مجرى مائي.

إن تحديد علاقة المطر بالجريان يتطلب تحديد العمليات المؤثرة في الدورة الهيدرولوجية.
يقسم الهطول المطري فوق حوض صباب إلى المركبات التالية:

$$P = SI + So + Ro + \Delta\Theta + R_B + ET \quad (mm) \qquad (27)$$

حيث:

P – الهطول المطري

SI – المحجوز بواسطة النباتات

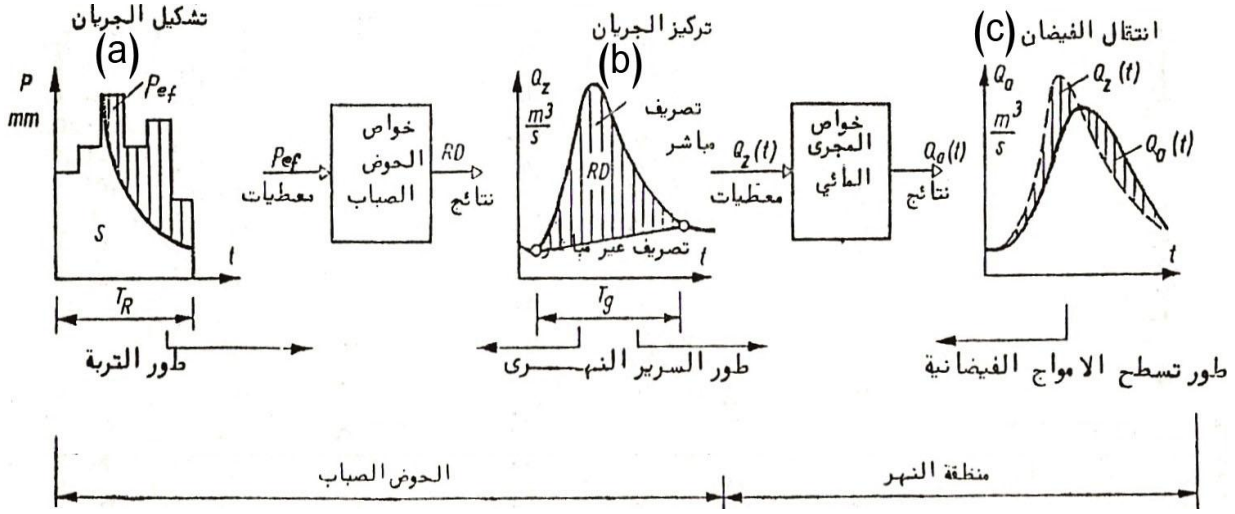
Ro – الجريان السطحي

So – المحجوز السطحي ضمن تضاريس الأرض السطحية.

$\Delta\Theta$ - تغير رطوبة التربة

$R_B$ – الجريان الجانبي والجريان الى المياه الجوفية.

ET – التبخر النتحي




شكل (32) علاقة المطر بالجريان عبر الأطوار الثلاثة الرئيسية

لدراسة الجريان السطحي نهتم بمركبات الهطول التي تساهم مباشرة في تشكيل الجريان. وهذه تسمى الجريان المباشر أو الفعال ($R_D$). أما كمية الهطول التي لا تشارك في تشكيل الجريان فتحجز في الحوض الصباب لفترة زمنية أو تشكل جرياناً بطيئاً يصل متأخراً إلى المجاري المائية أو يتسرب إلى المياه الجوفية كما يتبخر جزء منها. تسمى كمية الهطول التي لا تشارك مباشرة في تشكيل الجريان المحجوز في المنطقة (S). بهذا يمكن أن نكتب المعادلة السابقة كما يلي:

$$P = R_D + S = P_{ef} + S \qquad (28)$$

$P_{ef}$: المطر الفعال وهي كمية المطر التي تشارك مباشرة في تشكيل الجريان.

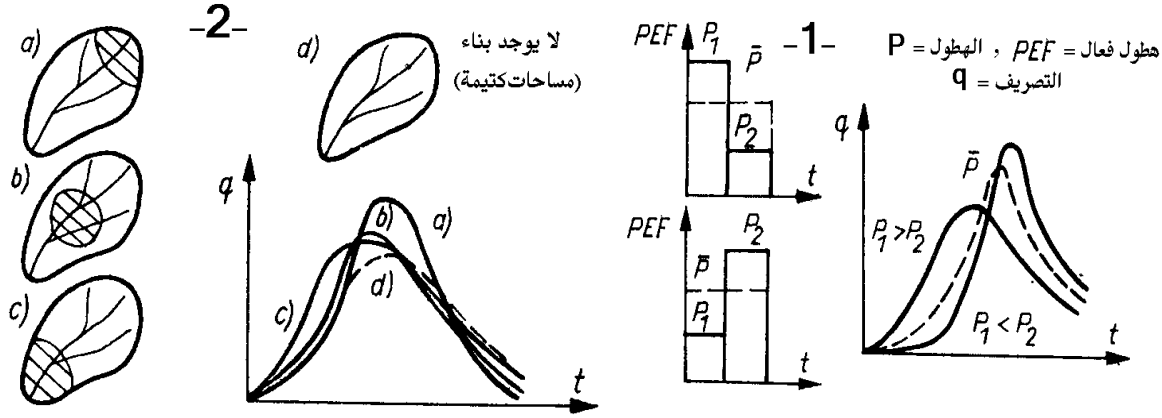
إن هذا التبسيط يسمح بإيجاد نماذج بسيطة تصف علاقة المطر بالجريان. رغم ذلك يبقى عدد كبير من العوامل المؤثرة في علاقة المطر بالجريان والتي تقسم لقسمين:

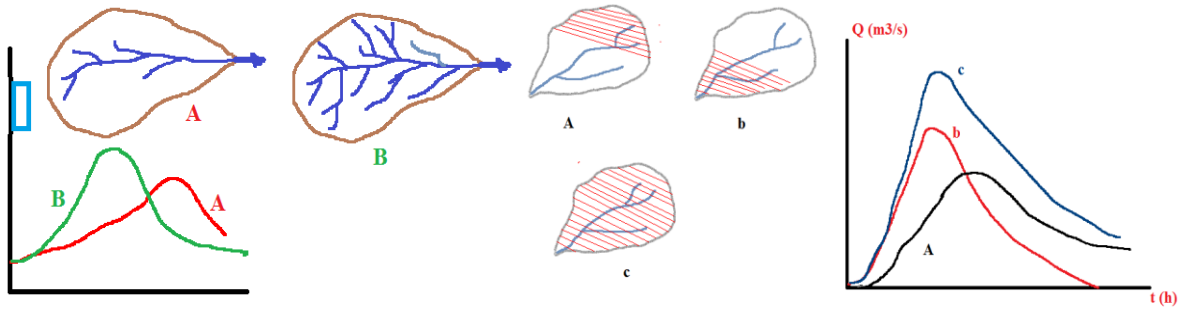
1- عوامل ميترولوجية تتعلق بـ:
- الهطول المطري من حيث شدّته – ديمومته – تكراره – شكله – توزعه.
- التبخر بسائر أنواعه
- الرطوبة البدائية في الحوض

2- عوامل فيزيائية – طبوغرافية تتعلق بـ:
- خواص المنطقة أو حوض التجميع، وهنا نميز بين الخواص الهندسية (شكل الحوض ومساحته وميوله – كثافة الشبكة النهرية)
- خواص السرير النهري من حيث شكل مقطع النهر وميوله وخشونته.

ويوضح الشكل (33) تأثير بعض العوامل المختارة في شكل منحني التصريف عند مخرج الحوض.

a) تحديد المطر الفعال $P_{ef}$ الذي يشارك في الجريان وبالتالي المحجوز في المنطقة S.
b) تشكيل منحني التصريف أي تصاريف المجاري المائية $Q_z$ ، م$^3$/ثا حيث أن المطر الفعال $P_{ef}$ يشكل في الحوض التجميعي جريانا مباشرا RD.
c) التصريف المتشكل في المجاري المائية $Q_z$ يتغير شكله إلى $Q_a$ عندما ينتقل الجريان إلى مقطع أخر من النهر أو المجرى المائي حسب خواص المجرى المائي.

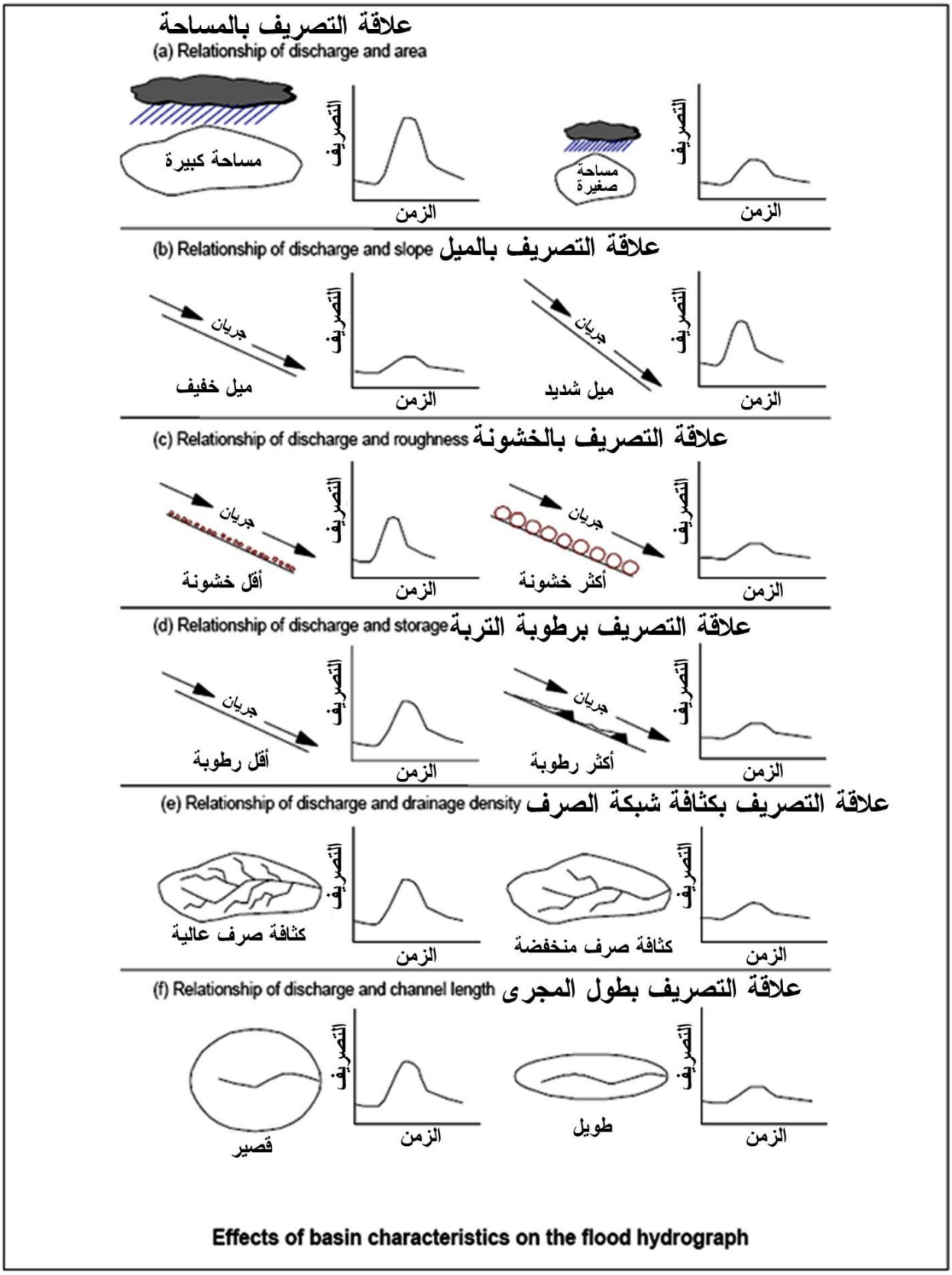





**شكل (33) علاقة المطر بالجريان عبر الأطوار الثلاثة الرئيسية**

## 2-6- زمن التركيز ($T_C$)

**يعد زمن التركيز من أهم الأزمنة المميزة لمنحني التصريف حيث توجد عدة اعتبارات وطرائق لتقدير هذا الزمن. في حال كون الهطول منتظما على كامل الحوض وبحيث ان كامل الحوض يشارك في تشكيل الجريان يعرف زمن التركيز بأنه الزمن الذي تحتاجه مياه الهطول لتصل من أبعد مسافة من الحوض الصباب حتى نهاية الحوض أو المقطع المدروس. سنذكر بعض العلاقات التجريبية لتقدير زمن التركيز.**




**شكل (34) تأثير خواص حوض التجميع على هيدروغراف الفيضان**

**1 – علاقة كيربش (Kirpich)**

**في دراسة لسبعة أحواض صبابة وجد كيربش العلاقة التالية لحساب زمن التركيز:**

$$T_c = (0.868\frac{L^3}{H})^{0.385} \qquad \textbf{(29)}$$

**$T_c$ – تقدر بالساعة**

**L - طول المجرى المائي من أبعد نقطة عند حدود الحوض الصباب حتى المقطع المدروس و تقدر الكيلومتر.**

**H – فرق الارتفاع بين أبعد نقطة من المجرى المائي (عند حدود الحوض الصباب) حتى النقطة المدروسة وتقدر بالمتر.**

**2 – علاقة جياندوتي:**

**يعطى زمن التركيز بالعلاقة التالية:**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \qquad \textbf{(30)}$$

**$T_c$ – تقدر بالساعة**

**L - طول المجرى الرئيسي بالكيلومتر**

**A – مساحة الحوض الصباب بالكيلومتر المربع**

**H – الفرق بالمنسوب بين متوسط ارتفاع الحوض الصباب عن سطح البحر و النقطة المدروسة و يقدر بالمتر.**

- **فصل التصريف المباشر عن التصريف غير المباشر**

**المقصود بفصل التصريف المباشر عن التصريف غير المباشر هو تقسيم منحني التصريف الكلي الى قسمين: الأول يمثل التصريف المباشر والثاني يمثل التصريف غير المباشر حسب الخطوات التالية:**

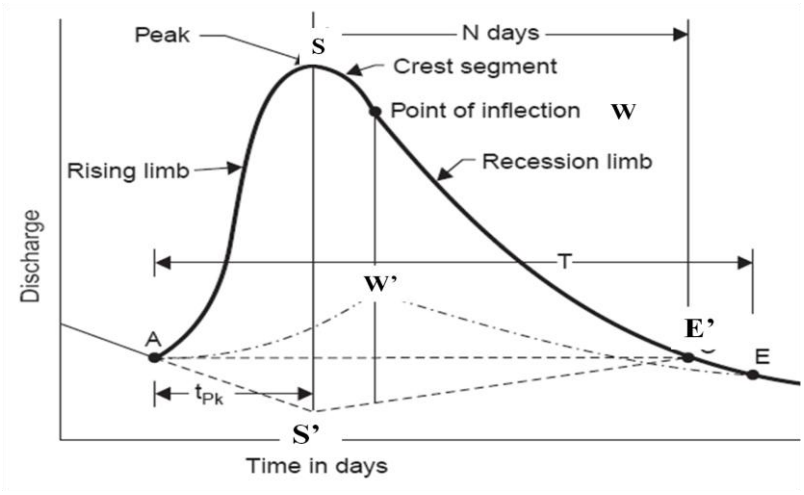
**1 – تحديد النقطة التي يبدأ فيها منحني التصريف بالتزايد وهي نقطة بداية التصريف المباشر.**

**2 – تحديد نقطة انتهاء التصريف المباشر: إن تحديد هذه النقطة ليس سهلا خصوصا عند ظهور عدة قمم لمنحني التصريف. يمكن تحديد هذه النقطة بشكل تقريبي استنادا لمفهوم زمن التركيز أو باستخدام العلاقة التالية (انظر النقطة E على الشكل 35):**

$$T = 0.827\ A^{0.2} \quad \text{days} \qquad (31)$$

**تقدّر T باليوم و A بالكيلومتر المربع حيث تقاس T بداً من القمّة. عندما تقدر A بالميل المربع تأخذ المعادلة الشكل التالي:**

$$T = (A)^{0.2} \quad \text{days} \qquad (32)$$




**الشكل (35)**

**أيضاً يمكن تحديد نقطة انتهاء التصريف المباشر لمنحنيات التصريف ذات القمة الواحدةكما يلي:**

**نوقع التصريف مع الزمن على شبكة نصف لوغاريتمية للجزء الهابط من منحني التصريف. إن نقطة انكسار المنحني الموقع على الشبكة نصف اللوغاريتمية تحدد نقطة انتهاء التصريف المباشر (E) .**

**للوصل بين بداية التصريف المباشر ونهايته توجد عدة طرائق منها:**

**1 – وصل مباشر بين ( A و E) أو (A و E` ) كما هو موضح بالشكل 35**

**2 – وصل A مع E عبر المستقيمات (AS`,W`E) . أو وصل A مع E` عبر المستقيمات (AS`),W`E` .**

**ننزل شاقولاً من قمة منحني التصريف ليتقاطع مع الاستقامة المرسومة من A على امتداد الجزء الذي يسبقها في النقطة S` .**

**أما W` فتحدد كنقطة تقاطع بين الشاقول النازل من W (نقطة انعطاف الجزء الهابط) مع المنحني الانسيابي المرسوم على امتداد منحني التصريف بعد النقطة E أو E` ثم نصل مباشرة بين W` و S` .**

**بعد أن نصل (A و E) أو (A) مع (E`) نكون قد فصلنا التصريف المباشر عن التصريف غير المباشر. تصلح طريقة الوصل المباشر (المستقيم 1 أو 2 على الشكل) للأراضي المنبسطة متوسطة الارتفاع، أما**

**الطريقة الثانية فتستخدم للمجاري المائية التي يزداد فيها تصريف المياه الجوفية كجزء من التصريف الكلي (الخط 3). يجب توحيد عملية الفصل عند دراسة حوض معين.**

**الجزء من منحني التصريف الواقع فوق خط الفصل هو التصريف المباشر، أما الجزء الواقع تحت خط الفصل فهو التصريف غير المباشر.**

**أخيراً، يمكن الفصل بطريقة أخرى حيث نمدد الخط الذي يحدد التصريف غير المباشر (قبل هطول الأمطار) حتى يتقاطع مع الشاقول النازل من قمة منحني التصريف S في نقطة ولتكن `S ثم نصل مباشرة `S مع E أو مع `E فنحدد بذلك خط الفصل (AS`E).**

## 3-6- تقدير الجريان السطحي

**سنحدد هنا كيفية تقدير كمية الهطول التي تشارك في تشكيل الجريان السطحي من مجمل الهطول، بهذا نحدد ما سُمي المطر الفعال.**

**يبدأ الجريان السطحي عادة عندما يتم اشباع مسامات التربة بالمياه وكذلك ملء البرك السطحية الصغيرة الموجودة على السطح. ويحدث الجريان السطحي عندما تكون شدة الهطول أكبر من شدة التسرب (كما هو مبين في الشكلين التوضيحيين 36 و37)**

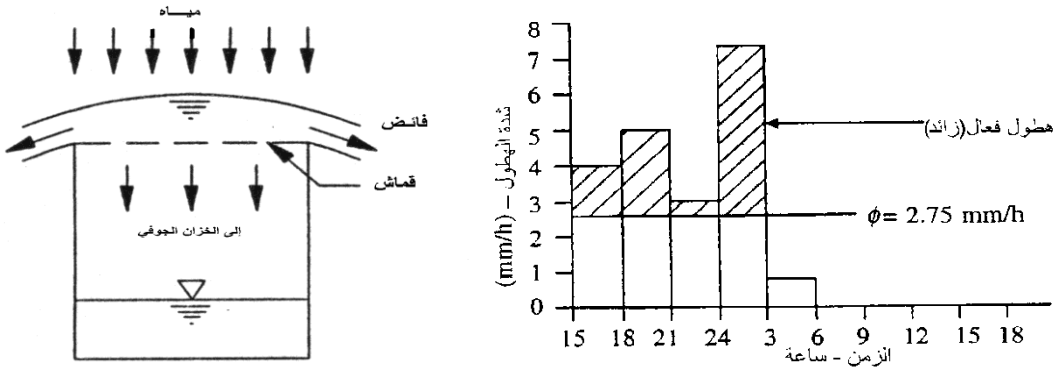
**لتقدير الجريان السطحي يوجد عدة دراسات وطرائق استنتجت من قياسات و مراقبات لأحواض صبابة مختلفة. وتعتمد هذه الطرائق على:**

**1 – تحديد كمية المطر الفعال المشارك بالجريان باستخدام معاملات الجريان.**

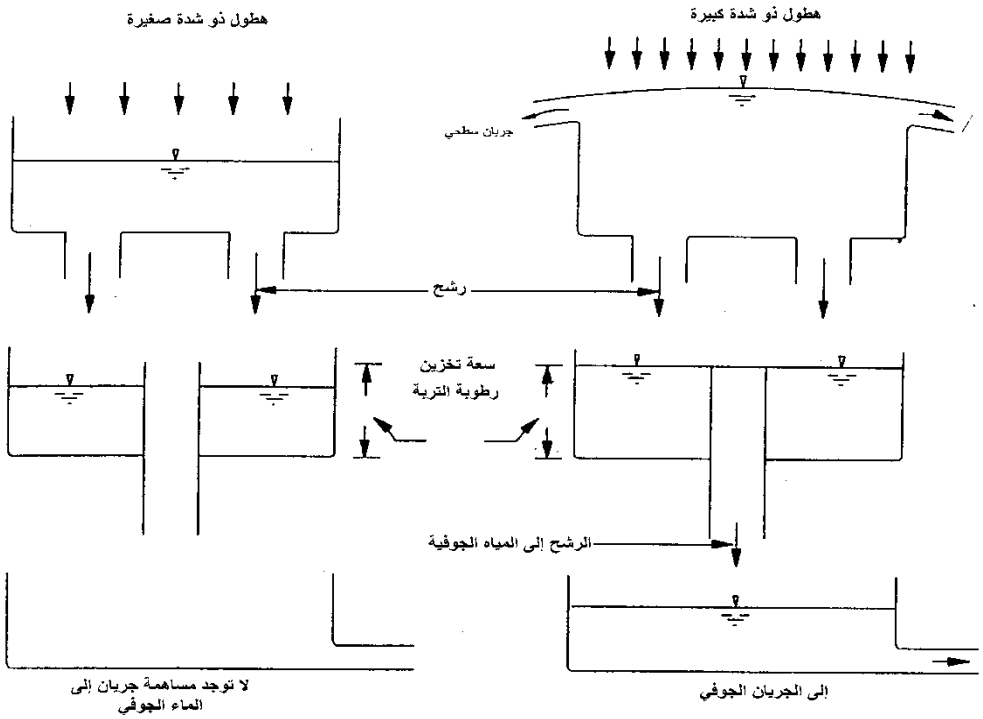
**2 – تحديد كمية المطر المجوزة في الحوض الصباب (S) .**

**إن هذه الطرائق هي تبسيط لعملية تشكيل الجريان السطحي حيث أنه من غير الممكن تحديد مختلف كميات المياه التي تحجز في الحوض الصباب.**

**أما الطريقة المثلى لقدير الجريان السطحي فهي اللجوء للقياسات حيث يتم قياس الجريان السطحي على النهر الرئيس ويتم حساب الهطول الكلي على الحوض ومن ثم يتم تحديد الجزء من الهطول الذي يشارك في الجريان وذلك عندما نفصل منحني التصريف الكلي الى التصريف المباشر (الجريان السطحي) والتصريف غير المباشر (الجريان الجوفي والجريان المتأخر الذي يصل الى المقطع).**




**الشكل (36)**




**الشكل (37)**

## 6-3-1- طرائق تقدير الجريان السطحي

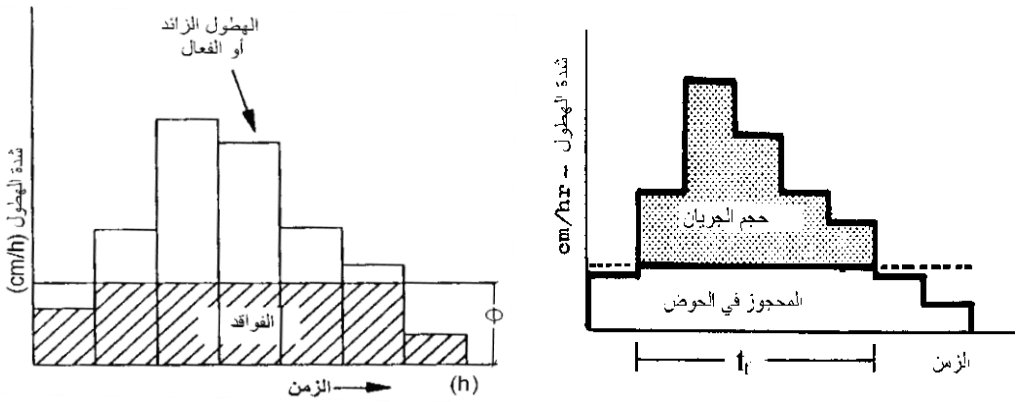
### 1- حسب دليل التسرب (Φ)

**يتم حسب دليل التسرب تحديد المحجوز في المنطقة (S) (تخزين سطحي و جوفي) بعد ذلك نحدد المطر الفعال ($P_{ef}$) والذي يشكل التصريف المباشر. إن كمية الهطول المحجوز في المنطقة (S) تحجز بمعدل ثابت يساوي (Φ) أو دليل التسرب (شكل 38).**

**بذلك نكتب:**

$$\Phi = \frac{S}{t} \qquad \text{mm/h} \qquad (33)$$

**هذا يعني أنه من الشدة المطرية (PI mm/h) يتم باستمرار على طول فترة الهطول تسرب كمية من الهطول بمعدل ثابت (Φ mm/h). من الملاحظ هنا وبالنظر للشكل التالي أنه يحصل جريان سطحي عندما تكون شدة الهطول أكبر من شدة التسرب أي: (PI > Φ).**




**الشكل (38)**

**تقدر كمية الهطول الفعال ($P_{ef}$) والمساوية للجريان المباشر ($R_D$) من المعادلة:**

$$P - S = P_{ef} = R_D \qquad (34)$$

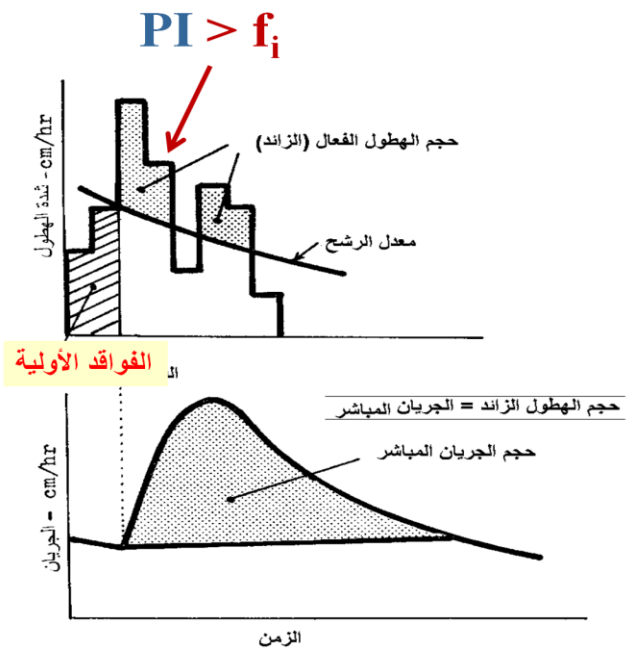
**P – كمية الهطول (mm).**

**S – المحجوز الكلي في المنطقة (mm).**

**يمكن تحديد S بأن نقيس الجريان الناتج عن هطول محدد و بالتالي فإن S هي الفرق بين حجم الهطول و حجم الجريان الناتج عن هذا الهطول.**

**<u>2 – حسب نظرية التسرب:</u>**

**تسمى حركة المياه من سطح التربة إلى داخلها في وسط غير مشبع بالرشح، ويتعلق كمية وشدة الرشح بالرطوبة الابتدائية للتربة وبنوعية التربة ومساميتها وبعوامل أخرى. ويسمى معدل امتصاص تربة حوض مجمع لمياه الأمطار (تغير كمية المياه المتسربة مع الزمن) بسعة التسرب. وتتساوى سعة التسرب لتربة ذات خصائص معينة مع الشدة المطرية الأعظمية التي يمكن أن تمتصها التربة دون حدوث جريان سطحي وتتناقص سعة التسرب مع استمرار الهطول المطري، فتتغير من قيمة ابتدائية كبيرة ($f_O$) إلى قيمة أصغرية ثابتة ($f_C$) تتعلق بخصائص التربة كما هو مبين في الشكل (39).**




**الشكل (39)**

**وبحسب هورتون تعطى سعة التسرب بالعلاقة التالية:**

$$f_i = f_c + (f_o - f_c)\cdot e^{-K\cdot t} \qquad (35)$$

**حيث: K- ثابت يتعلق بالتربة وبالغطاء النباتي ، $f_i$- شدة التسرب في اللحظة i ، t- مدة الهطول.**

**أما كمية التسرب الكلية خلال الفترة الزمنية t فنحصل عليها من إنجاز التكامل على العلاقة السابقة :**

$$F = \int_0^t f_t dt = f_c.t + \frac{f_o - f_c}{K}\cdot(1 - e^{-Kt}) \qquad (36)$$

**وتزداد كمية الماء الراشح مع ازدياد زمن الهطول، بالمقابل تتناقص سعة الرشح لتصل إلى قيمة أصغرية تساوي الناقلية المائية للتربة المشبعة كما هو مبين في الشكل (39). ويتم تحديد الجريان السطحي الناتج من العاصفة المطرية من خلال طرح كمية الماء الراشح من الهطول الكلي.**

**وتحدد قيم التسرب بعدة طرق أهمها :**

**- مخبرياً باستعمال المطر الصناعي .**

**- حقلياً باستعمال المطر الصناعي .**

**- حقليا بإجراء قياسات تسرب الهاطل الطبيعي في قطاعات معزولة من حوض التجميع .**

**- اعتماداً على معطيات القياسات المطرية والجريان السطحي في أحواض مجمعة صغيرة ذات أراض متجانسة نسبياً (طريقة حساب الموازنة المائية).**

**- اعتماداً على معطيات القياسات المطرية والجريان السطحي في أحواض مجمعة تربتها متبانية التركيب وحساب سعة التسرب الوسطية.**

**ويتأثر التسرب بكل من خصائص التربة وشدة الأمطار وحجم قطراتها وميل سطح الحوض والغطاء النباتي كذلك يتغير التسرب تبعاً لفصول السنة نتيجة اختلاف درجة الحرارة والتبخر ومراحل زراعة التربة.**

**3- الطريقة الأميركية في تحديد نوع التربة والغطاء النباتي (SCS)**

**طورت طريقة (SCS) في الولايات المتحدة الامريكية استناداً إلى قياسات للهطول والجريان للعديد من الحوادث المطرية ولعدد كبير من الأحواض الصبابة الصغيرة .تمكن هذه الطريقة من تحديد الهطول الفعال أو ارتفاع الهطول الفعال ($h_{ef}$) وذلك كتابع لقيمة الهطول الكلية (h) وبعض خواص الحوض الصباب والذي يعبّر عنه بالدليل (CN) وذلك حتى عندما لا تتوافر قياسات في المنطقة المدروسة.**

**لا تستخدم طريقة (SCS) للحصول على ارتفاع الهطول الفعال عندما تكون ارتفاعات الهطول قليلة. ويفضل استخدامها عندما يكون ارتفاع الهطول أكبر من (50 mm).**

**إن المشكلة الرئيسية باستخدام طريقة (SCS) هي تحديد خواص الحوض والتي تم التعبير عنها بالدليل (CN) حيث أنه تابع لـ:**

**1- نوع التربة .**

**2- استخدام التربة .**

**3- الهطول البدائي والذي يعبر عن رطوبة التربة البدائية.**

**4- الفصل من السنة .**

**إن تأثير الرطوبة البدائية والفصل من السنة في قيمة (CN) سيعبر عنه بدرجة رطوبة التربة، وبهذا تم إيجاد ثلاث درجات لرطوبة التربة (III, II, I). جدول (5)**

| الصنف | I | | II | | III | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الفترة | خلال الإنبات | خارج الإنبات | خلال الإنبات | خارج الإنبات | خلال الإنبات | خارج الإنبات |
| مجموع الهطول للايام الخمسة السابقة (mm) | < 30 | < 15 | (30- 50) | (15- 30) | > 50 | > 30 |

**جدول (5)**

**لتحديد منحنيات التصريف الفيضانية ننطلق دوماً من درجة رطوبة التربة (II) وذلك لأغراض التصميم وسنعبر عنها فيما يلي بالصنف (II). لأجل التربة صنف (II) يكون مجموع الهطول للأيام الخمسة السابقة للهطول المدروس يساوي بين (30 وحتى 50) ميليمتراً خلال زمن الإنبات و(15 حتى 30) ميليمتراً خارج زمن النبات.**

**وتبلغ هذه القيم أقل من (30) ميليمتراً خلال زمن الإنبات وأقل من (15) ميليمتراً خارج زمن الإنبات للصنف (I) وأكثر من (50) ميليمتراً خلال زمن الإنبات وأكثر من (30) ميليمتراً خارج زمن الإنبات للصنف (III).**

**لوضع تأثير نوع التربة في الحسبان في قيمة الهطول الفعال، قسمت الترب حسب طريقة (SCS) إلى أربعة أنواع حسب قدرتها على التسرب .**

| استخدام الأرض | قيمة CN حسب نوع التربة | | | |
|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| أرض بور جرداء | 77 | 86 | 91 | 94 |
| نبات ذات ثمار أرضية عنب | 70 | 80 | 87 | 90 |
| عنب - (تيراس) | 64 | 73 | 79 | 82 |
| حبوب نباتات علفية | 64 | 76 | 84 | 88 |
| شجر صفصاف بتوزع عادي | 49 | 69 | 79 | 84 |
| شجر صفصاف قليل | 68 | 79 | 86 | 89 |
| حشائش دائمة | 30 | 58 | 71 | 78 |
| غابات متفرقة جداً | 45 | 66 | 77 | 83 |
| غابات متوسطة | 36 | 60 | 73 | 79 |
| غابات كثيفة | 25 | 25 | 70 | 77 |
| مساحات كتيمة | 100 | 100 | 100 | 100 |

**جدول (6)**

**<u>نوع التربة A:</u>**

**ترب ذات قدرة تسرب كبيرة حتى عند كون الرطوبة البدائية عالية مثال ذلك الترب الرملية والبحصية.**

**<u>نوع التربة B:</u>**

**ترب ذات قدرة تسرب متوسطة، عميقة حتى متوسطة العمق بنيتها ناعمة حتى خشنة. مثال ذلك ترب رملية متوسطة العمق – ترب الرمل الغضاري –ترب ناعمة (تربة اللوس).**

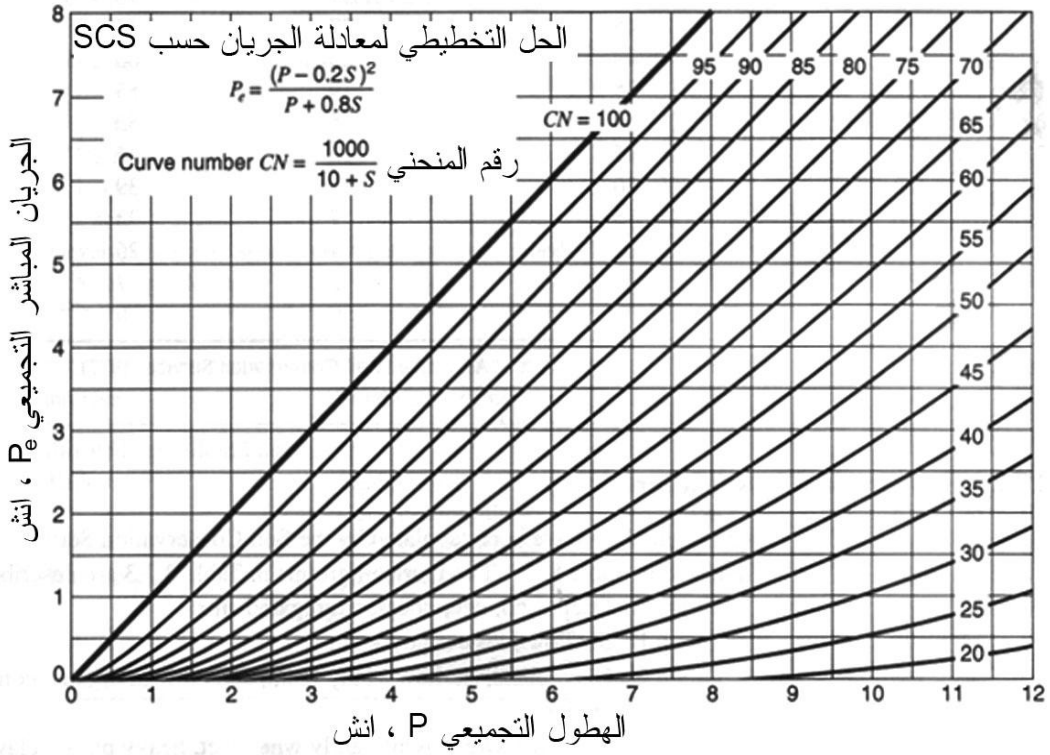
**<u>نوع التربة C:</u>**

**ترب ذات قدرة تسرب قليلة، ذات بنية ناعمة حتى متوسطة النعومة. مثال ذلك الترب الرملية ذات العمق القليل والغضار الرملي.**

**<u>نوع التربة D:</u>**

**ترب ذات قدرة تسرب قليلة، كالترب الطينية –الترب بسماكة قليلة فوق مواد كتيمة والترب التي يرتفع فيها بشكل دائم منسوب المياه الجوفية.**

**استناداً لنوع التربة واستخدامها يمكن تحديد قيمة (CN) للترب صنف (II) [درجة الرطوبة للتربة (II)] من الجدول (6).**




**الشكل (40) الحل التخطيطي لمعادلة الجريان حسب الـ (SCS)**

**حسب قيم (CN) لدرجة رطوبة (II) يمكن باستخدام الشكل (40) تحديد المطر الفعال ($h_{ef}$) وذلك بعد معرفة ارتفاع الهطول الكلي (h). لتحديد قيمة (CN) لترب ذات درجة رطوبة (III, I) نستخدم الشكل (41) أو الجدول (7). حيث تحسب قيم (CN) لهذه الترب استناداً إلى قيم (CN) للترب ذات درجة الرطوبة (II).**

**الشكل (40) العلاقة بين المطر الفعال والمطر الكلي استناداً لـ (CN) حسب الرطوبة المسبقة للتربة إن قيم ($h_{ef}$) الموضحة على هذا الشكل يمكن تحديدها حسابياً باستخدام العلاقة التالية:**

$$h_{ef} = \frac{[(\frac{h}{25.4}) - (\frac{200}{CN}) + 2]^2 .25,4}{(\frac{h}{25,4}) + (\frac{800}{CN}) - 8} (mm) \qquad (37)$$

**عندما تتألف منطقة الحوض الصباب من عدة أنواع من الترب وعدة أشكال للاستخدام عندها نستخرج قيم (CN) لكل مساحة ذات تربة من نوع محدد.**

**إذا توافر لدينا لحوض ما قياسات لـ ($h_{ef}$) , (h) نوقعها على الشكل (40) ونحدد منها قيمة (CN) الموافقة لهذا الحوض. أما إذا كان مجموع الهطول لخمسة أيام تسبق الهطول موضوع الدراسة لا يتوافق مع درجة الرطوبة للتربة (II) فيمكن تحديد (CN) الصحيحة باستخدام الشكل (41).**

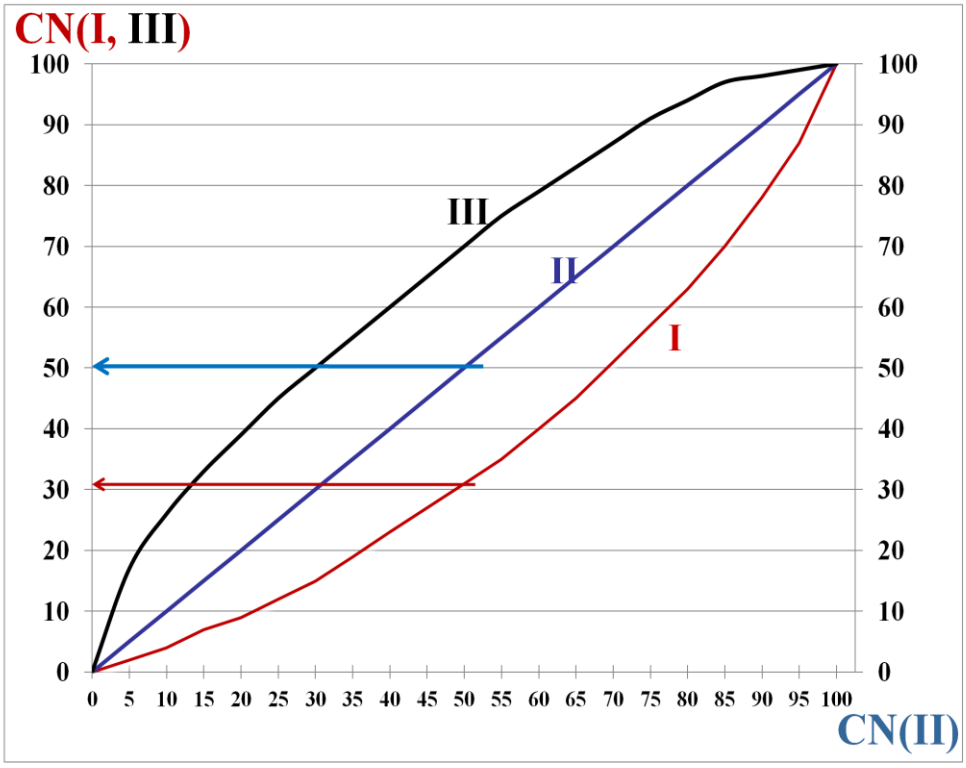
**بهذه الطريقة يمكن للحوض المدروس أن نحدد الحدود التي تتراوح فيها قيمة (CN).**

**للعمل حسب الطريقة (SCS) يجب الانتباه لما يلي:**

1- **أنواع الترب (A), (D) تشكل ظروفاً حدية عظمى (تصاريف صغيرة وكبيرة).**
2- **لقيم(CN) القليلة وعند ارتفاعات الهطول الأقل من (50mm) يحصل المرء حسب طريقة (SCS) على قيم ($h_{ef}$) صغيرة جداً.**
3- **للمساحات التي تحوي أجزاء كبيرة من الغابات يجب أن نحدد ما إذا كانت هذه الغابات كثيفة-متفرقة-متوسطة الكثافة.**

| الرقم (CN) في حالة الرطوبة | رقم (CN) المقابل لتصنيف الرطوبة | |
|---|---|---|
| (II) | III | I |
| 100 | 100 | 100 |
| 95 | 99 | 87 |
| 90 | 98 | 78 |
| 85 | 97 | 70 |
| 80 | 94 | 63 |
| 75 | 91 | 57 |
| 70 | 87 | 51 |
| 65 | 83 | 45 |
| 60 | 79 | 40 |
| 55 | 75 | 35 |
| 50 | 70 | 31 |
| 45 | 65 | 27 |
| 40 | 60 | 23 |
| 35 | 55 | 19 |
| 30 | 50 | 15 |
| 25 | 45 | 12 |
| 20 | 39 | 9 |
| 15 | 33 | 7 |
| 10 | 26 | 4 |
| 5 | 17 | 2 |
| 0 | 0 | 0 |

**الجدول (7) الانتقال من أرقام منحيات الجريان (CN) من حالة الرطوبة (II) إلى حالتي الرطوبة (I) و (III)**




**الشكل (41) منحنيات التحويل حسب درجة الرطوبة**

**4- <u>تقدير الجريان السطحي باستخدام معاملات الجريان:</u>**

**يفهم تحت معامل الجريان السطحي بأنه نسبة الجريان المباشر إلى الهطول الكلي أو نسبة الهطول الفعال إلى الهطول الكلي ، أي:**

$$\Psi = \frac{R_D}{P} \qquad (38)$$

**حيث: $R_D$ـ حجم الجريان المباشر.**

**P ـحجم الهطول الكلي.**

**استناداً إلى طريقة (SCS) أعلاه يمكن التعبير عن معامل الجريان كما يلي:**

$$\Psi = \frac{h_{ef}}{h} \quad \% \qquad (39)$$

**حيث: $h_{ef}$- الهطول المشارك بالجريان (mm)**

**h- الهطول الكلي (mm)**

**والذي يمكن تحديده باستخدام العلاقة التالية حسب طريقة (SCS):**

$$\Psi = \frac{[h - (\frac{200}{CN} - 2).25,4]^2}{h[h + 4(\frac{200}{CN} - 2).25,4]} \qquad \% \ (40)$$

**تتراوح Ψ بين الصفر والواحد.**

**Ψ = 0 هذا يعني أن كمية المياه الهاطلة تحجز كاملها في المنطقة،أي:**

$$\Psi = 0 \rightarrow R_D = 0 \rightarrow S = P \qquad (41)$$

**Ψ = 1 - هذا يعني أن كامل المطر يشارك في تشكيل الجريان،أي:**

$$\Psi = 1 \rightarrow R_D = P \rightarrow S = 0 \qquad (42)$$

**تلاحظ هذه الحالة عندما يكون الهطول على مساحة صغيرة كتيمة ذات ميول كبيرة .أما في الأحواض الصبابة الكبيرة فلا نصادف هذه الحالة. تصادف الحالة (Ψ = 0) عند هطول مطر قليل على منطقة مغطاة بالنباتات ذات تربة نفوذة ولا تحتوي مساحات كتيمة.**

**إن العوامل الرئيسة التي تؤثر في قيمة معامل الجريان (Ψ) هي:**

**- شدة الهطول**

**- ديمومته**

**- مساحة الحوض الصباب و ميله**

**- طبيعة استخدام التربة**

**- كثافة الغطاء النباتي**

**- رطوبة التربة.**

**إن لخشونة السطح وناقليته للمياه تأثيراً كبيراً في قيمة (Ψ) حيث أن (Ψ) للغابات تبلغ قيماً قليلة أقل مما هي عليه في حالة الحوض المزروع بالأعشاب تزداد قيمة (Ψ) أيضا بزيادة فترة الهطول ورطوبة التربة.**

**كما تتعلق قيمة (Ψ) أيضاً بفترة تكرارالهطول حيث تزداد قيمة (Ψ) بزيادة فترة التكرار.**

**تتعلق أيضاً قيمة (Ψ) بمساحة الحوض الصباب حيث تزداد قيمة (Ψ) بنقصان مساحة الحوض .**

يبين الجدول التالي (8) قيم معامل الجريان لبعض الترب حسب طبيعة الغطاء النباتي وميل سطح الحوض الصباب .

| نوع التربة | تربة رملية | | | تربة غضارية | | | صخر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الغطاء النباتي | غابات | أعشاب | دون زراعة | غابات | أعشاب | دون زراعة | |
| منطقة مستوية | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.35 | 0.5 | 0.1 |
| منطقة هضبية | 0.15 | 0.22 | 0.3 | 0.4 | 0.55 | 0.65 | 0.7 |
| منطقة جبلية | 0.25 | 0.3 | 0.4 | 0.6 | 0.77 | 0.8 | 0.8 |

الجدول (8) قيم معامل الجريان حسب طبيعة سطح الحوض – نوع التربة – ميل السطح.

بشكل عام لحساب الجريانات الأعظمية (التصاريف العظمى) للأحواض الصبابة الصغيرة أو لتحديد التصاريف الأعظمية لمياه المطر في شبكات صرف مياه المدن والقرى فلا نهتم بمجموع الجريان السطحي بالنسبة للهطول الكلي إنما نهتم بقيمة التصريف العظمى الذي يجب أن تستوعبه هذه الشبكة. بهذا نعرف ما يسمى معامل الجريان الأعظمي ($\Psi_s$) حيث:

$$\Psi_s = \frac{HQ}{PI} \qquad (43)$$

حيث: HQ- التصريف الأعظمي. PI- الشدة المطرية.

للحصول على قيمة ($\Psi_s$) بين الصفر والواحد نحول قيمة HQ($m^3/s$) إلى HQ (mm/h) حيث:

$$HQ\ (mm/h) = HQ\ (m^3/s)\ .\ 3{,}6\ /\ A \qquad (44)$$

A – هي مساحة الحوض الصباب بـ ($Km^2$).

بهذا نكتب الآن العلاقة التالية :

$$HQ = \Psi_s . PI . \frac{A}{3{,}6} \qquad m^3/s \ (45)$$

في هذه المعادلة:

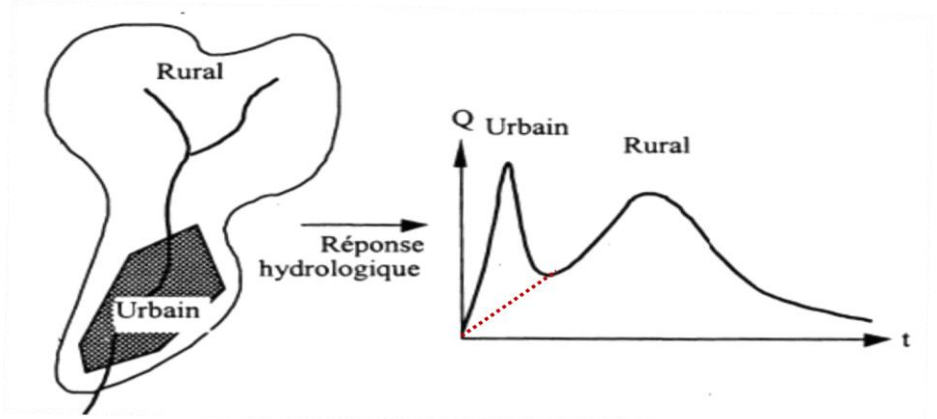
PI – تقدر بـ(mm/h). A - تقدر بـ($Km^2$). HQ- تقدر بـ($m^3/s$).

| نوع التربة | غضاراً | | طيناً | | رملاً | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الغطاء النباتي | دون زراعة | غابات | دون زراعة | غابات | دون زراعة | غابات |
| منطقة مستوية | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.1 |
| منطقة هضبية | 0.6 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.2 |
| منطقة جبلية | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |

**جدول (9) معامل الجريان الأعظمي $\Psi_s$ لبعض الترب**

**تسمى العلاقتان السابقتان بالعلاقات المنطقية لحساب التصاريف العظمى والتي سيدرس استخدامها بالتفصيل لاحقاً. كما وضحنا فإن حساب التصاريف الأعظمية يرتبط دوماً بفترة تكرار (T) لذلك يشترط لحساب العلاقات السابقة أن تكون قيمة (PI) لفترة التكرار نفسها التي تحسب لها (HQ). كما يشترط أن يكون زمن الهطول أكبر من زمن التركيز كي تتمكن جميع أجزاء الحوض الصباب من المشاركة في تشكيل الجريان. بذلك نرى أن القيم(HQ, $\Psi_s$, PI) تتعلق جميعها بفترة التكرار (T).**

**<u>نلاحظ مما سبق أن تحديد ($\Psi$) و($\Psi_s$) هو في غاية من الصعوبة والأهمية حيث أن الكلفة الأقتصادية لمشروع ما تتعلق بشكل مباشر بقيمة هذا العامل.</u>**




**شكل (42) تأثير التوسع العمراني على منحني التصريف الزمني**

## 6-4- <u>تركيز الجريان:</u>

**يقصد بتركيز الجريان هو تجميع الجريانات في المجاري المائية وتشكيل منحنى التصريف .**

**إن كثيراً من الأعمال يتطلب معرفة منحنى التصريف الناتج عن هطول ما وليس فقط القيمة العظمى للتصريف. للحصول على منحنى التصريف يمكن قياس التصاريف عند مخرج الحوض في مقطع ما من نهر أو يمكن**

أيضاً الحصول على منحنى التصريف هذا باستخدام موديلات رياضية استنتجت أصلاً من خلال قياسات للتصاريف الناتجة عن هطولات محددة. عند تحديد منحنى التصريف باستخدام الموديلات تكون المعطيات هي الهطول بالإضافة إلى مواصفات الحوض الصباب والشبكة النهرية.

تصف هذه الموديلات التغييرالزمني لقيم التصريف المباشر[$Q_D(t)$] والناتج عن الهطول الفعال ذي الشدة ($I_{ef}$). بهذا نفترض أن الهطول الفعال هو موديل هيدرولوجي يتأثر بالشدة المطرية الفعالة ($I_{ef}$).

لتحويل هذه الشدة المطرية إلى تصريف [$Q_D(t)$] فإننا نحتاج إلى مواصفات هذا الموديل الهيدرولوجي.

| النتائج | الموديل | معطيات إدخال للموديل |
|---|---|---|
| $Q_D(t)$ → | - الحوض الصباب<br>- تابع التحويل أو خواص الموديل | → $I_{ef}$ |

جدول (10)

إن تحويل الهطول الفعال إلى تصريف مباشر يتم عن طريق تابع تحويل أو خواص الموديل المستخدم.

إن الموديلات المستخدمة للحصول على منحنى التصريف لا بد من معايرتها عن طريق قياسات للهطول والجريان لعدة حوادث هطول على الحوض المدروس. إن منحنى التصريف لحوض معين يصف مجموع منحنيات التصريف للمساحات الصغيرة المشكلة لهذا الحوض والتي لها أزمنة جريان مختلفة إلى مخرج الحوض ولكل منها أثر تخزيني مختلف، بهذا نجد أن كل مساحة تورد تصريفاً ما إلى مخرج الحوض بوقت مختلف عن المساحة المجاورة وكل مساحة تختزن جزءاً من المياه لفترة مختلفة تصل إلى مخرج الحوض أيضاً بوقت مختلف عن المساحة المجاورة.

بهذا نستنتج أن العمليات الأساسية للحوض الصباب عند دراسة تركيز الجريان هي انتقال الجريان (وهنا يعد الحوض الصباب نظام نقل) والتخزين. عند اختيار موديل ما ليصف عملية تحويل الهطول الفعال ($I_{ef}$) إلى جريان وظهوره على شكل منحنى تصريف يمكن أن نلاحظ ما يلي:

1- بعض الموديلات عند تحويل المطر الفعال إلى جريان تعد خواص الحوض الصباب جملة واحدة دون إدراك تأثير الخواص المختلفة في شكل منحنى التصريف وقيمه. من هذه الموديلات – منحنى الواحدة للتصريف المباشر .
2- بعض الموديلات تعتبر الخواص المختلفة للحوض الصباب وتأثيرها في شكل منحنى التصريف وهذه تضع في الحسبان أيضاً التغير الزماني والمكاني للهطول فوق الحوض (الهطول غير المتجانس على كامل المساحة وعبر فترة الهطول ). من هذه الموديلات – مخطط المساحة الزمن المرتبط مع خزان ذي حواف شاقولية (خزاناً خطياً).

## 6-4-1- منحنى الواحدة Unit Hydrograph (UH):

هو تابع تحويل المطر الفعال إلى تصريف مباشر (جرياناً مباشراً) ويعرف بأنه منحنى التصريف المباشر الناتج عن هطول فعال مقداره الواحدة في فترة زمنية ($\Delta t$). بهذا يعد الحوض الصباب كوحدة متكاملة متجانس الخواص. وضع فكرة منحنى الواحدة العالم (Sherman) والتي تستند إلى أنه بتقريب جيد فإن الهطولات الفعالة على حوض صباب والمتشابهة من حيث توزعها الزماني والمكاني تؤدي إلى تشكيل منحنيات تصريف متشابهة أو بتعبير آخر فإن الهطولات المتساوية تنتج عنها منحنيات تصريف متماثلة وذلك عندما يكون زمن الهطول متساوياً.

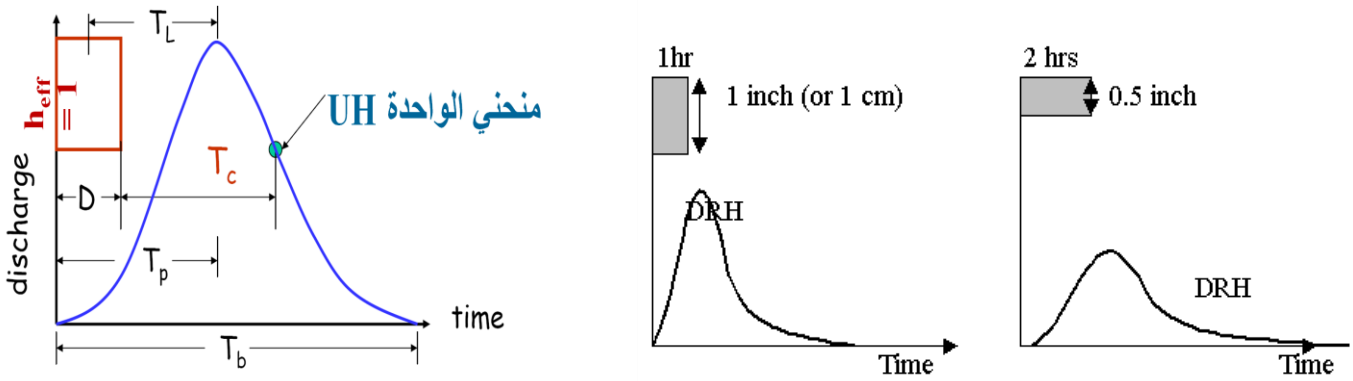
كما أنه لفترة الهطول نفسها على حوض صباب فإن إحداثيات منحنى التصريف المباشر تتناسب مع قيمة الهطول الفعال (ارتباطاً خطياً).

*مجال الاستخدام:

1- تستخدم طريقة منحنى الواحدة عندما يكون الهطول الفعال منتظماً على كامل مساحة الحوض الصباب (أوعلى الأقل أن يكون منتظماً بتقريب جيد).

2- تعد هذه الطريقة مناسبة للاستخدام كلما كان سلوك الحوض الصباب بالنسبة للجريان متجانساً.

3- عندما يتألف الحوض الصباب من عدة مناطق مختلفة في خواصها بالنسبة للجريان فإنه يفضل تحديد منحنى واحدة خاص بكل منطقة .




شكل ( 43) منحني الواحدة

يبين الشكل (43) إحداثيات منحنى الواحدة لحوض صباب والناتج عن هطول فعال يساوي الواحدة خلال فترة ($\Delta t$).

$H_{ef}$- ارتفاع الهطول الفعال [لحالة منحنى الواحدة يكون ($h_{ef}$=1)]

**$X_i$- التصريف المباشر عند الزمن ($t_i$).**

**6-4-1-1- استنتاج منحنى الواحدة بمعرفة منحنى التصريف :**

**إذا علم لدينا منحنى التصريف عند مقطع ما من مجرى مائي والناتج عن هطول معين على الحوض الصباب يمكن الحصول على منحنى الواحدة عبر الخطوات التالية:**

**1- ليكن معلوم لدينا منحنى التصريف الموضح على الشكل (35) فإننا نفصل التصريف المباشر عن التصريف غير المباشر.**
**2- نحسب حجم التصريف المباشر(مساحة مخطط التصريف المباشر).**
**3- نحسب الهطول الوسطي على الحوض باستخدام العلاقة التالية :**

$$h = \frac{V}{A}$$

**V- حجم التصريف المباشر بـ ($m^3$) وتكافىء مساحة منحنى التصريف فوق خط الفصل بين التصريف المباشر وغير المباشر.**

**A – مساحة الحوض الصباب (m).**

**4 - تحسب إحداثيات منحني الواحدة ($x_i$) بتقسيم إحداثيات أو قيم التصريف المباشر على قيمة الهطول الوسطي.**

**5 – نرسم منحني الواحدة استناداً للقيم المحسوبة بالخطوة السابقة.**

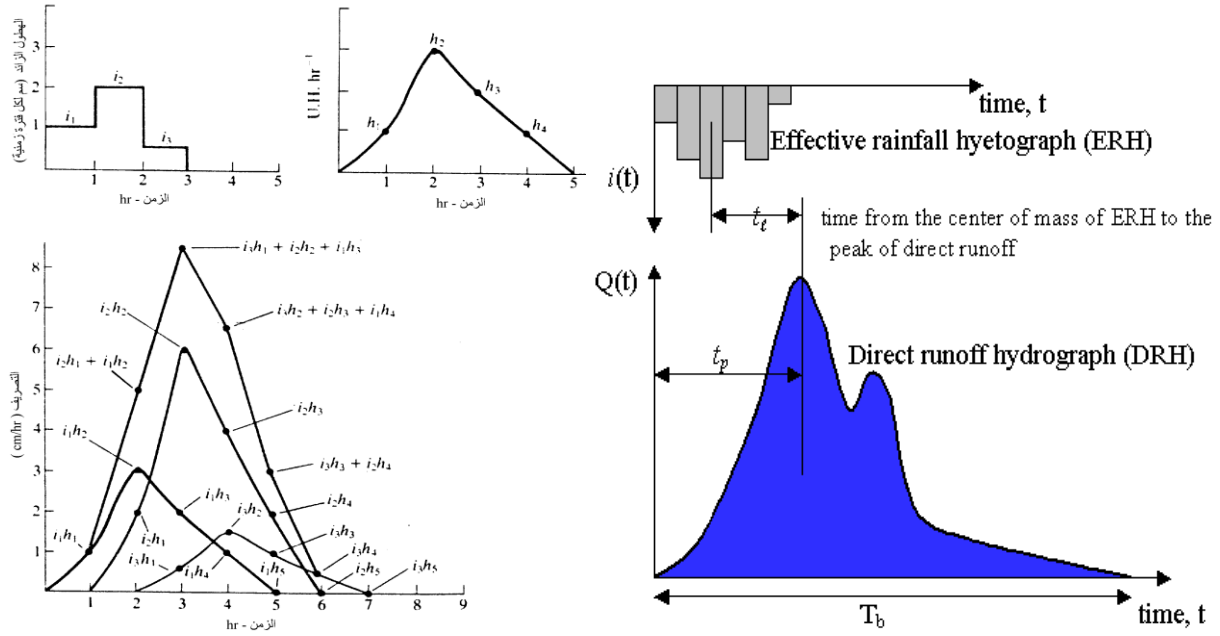
**6-4-1-2- استنتاج منحنى التصريف الناتج عن شدة هطول معينة باستخدام منحنى الواحدة**

**إذا علم لدينا منحني الواحدة لحوض صباب وكان المطلوب تحديد احداثيات منحني التصريف المباشر الناتج عن هطول فعال ($h_{ef}$) فإننا نضرب احداثيات منحني الواحدة بقيمة ارتفاع الهطول ($h_{ef}$). و في حال معرفة التصريف غير المباشر فيمكن اضافته الى قيم التصريف المباشر فنحصل على التصريف الكلي. نذكر هنا أنه يجب أن تكون فترة الهطول ($\Delta t$) مساوية لفترة الهطول المعلوم لها منحنى الواحدة.**

*** استنتاج منحنى التصريف الناتج عن عدة فترات هطول متتابعة:**

**إذا علم منحني الواحدة لفترة هطول ($\Delta t$) يمكن تحديد منحني التصريف الناتج عن عدة فترات هطول يستمر كل منها فترة زمنية مساوية ($\Delta t$) كما يلي:**

**بفرض أن المعلوم لدينا هو منحني الواحدة (كما في الشكل 43) والمطلوب الحصول على منحني التصريف الناتج عن ثلاث فترات هطول تستمر كل منها (Δt) و الهطول الفعال لكل منها: $h_{ef1}$, $h_{ef2}$, $h_{ef3}$. أما الهطول الكلي فيبلغ h1, h2, h3.**




**شكل (44)**

**تحدد قيمة التصريف الناتج باستخدام المعادلات التالية:**

$$Q_1 = X_1 \cdot h_{ef1}$$

$$Q_2 = X_1 \cdot h_{ef2} + X_2 \cdot h_{ef1}$$

$$Q_3 = X_1 \cdot h_{ef3} + X_2 \cdot h_{ef2} + X_3 \cdot h_{ef1}$$

$$Q_4 = X_2 \cdot h_{ef3} + X_3 \cdot h_{ef2} + X_4 \cdot h_{ef1}$$

.....

$$Qn = X_{n-2} \cdot h_{ef3} + X_{n-1} \cdot h_{ef2} + X_n \cdot h_{ef1}$$

.....

$$Q_f = X_n \cdot h_{ef3}$$

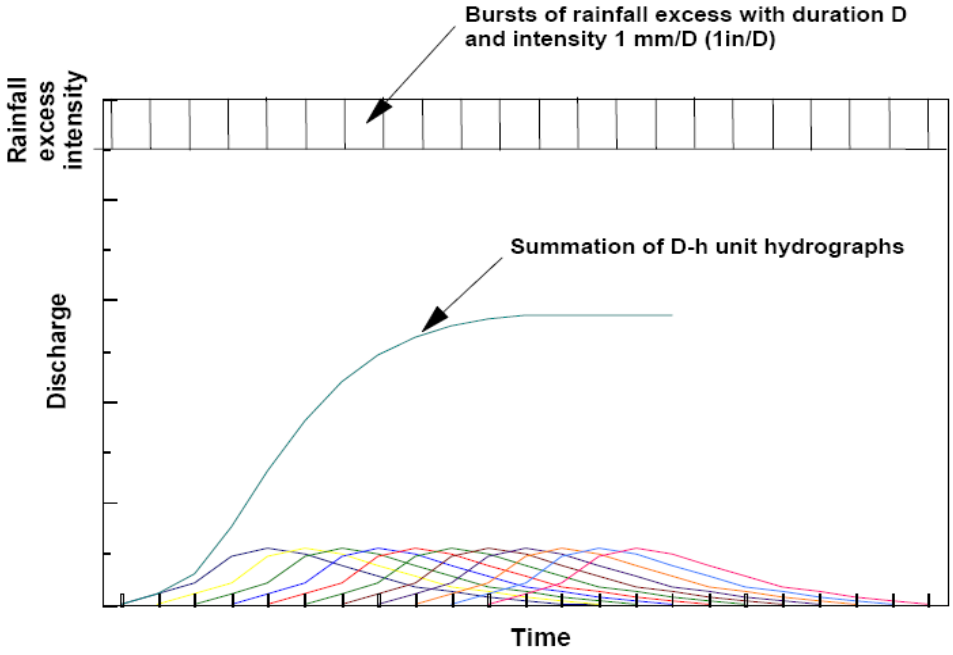
**حيث:**

**$Q_1$ – قيمة التصريف بعد (1.Δt)  $Q_2$ – قيمة التصريف بعد (2.Δt). وهكذا.**

### 6-4-1-3- استنتاج منحني الواحدة لفترات هطول مختلفة:

إذا علم منحني واحدة من أجل فترة هطول (Δt) لأحد الأحواض، يمكن الحصول على منحني واحدة آخر للحوض نفسه لكن من أجل فترة هطول مختلفة وذلك باستخدام فكرة المنحني التجميعي (Summation-S-Curve). وهو المنحني الزمني للتصريف المباشر الناتج عن هطولات متتابعة بصورة مستمرة ينتج عن كل منها تصريف مباشر مقداره الواحدة وزمن كل تساقط هو (Δt). أو بعبارة أخرى، هو المنحني الزمني للتصريف المباشر الناتج عن هطول منتظم لا نهائي ينتج عنه تصريف مباشر مقداره الواحدة كل فترة (Δt) (شكل 45).

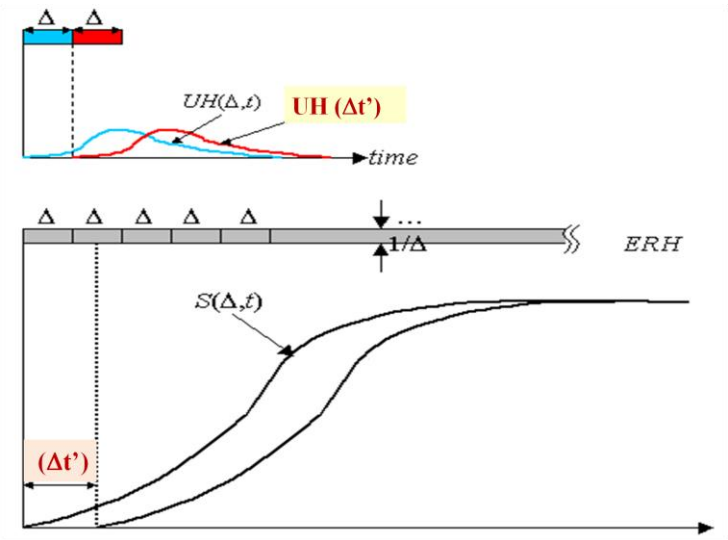
يمكن الحصول على المنحني التجميعي باضافة عدة منحنيات واحدة متتابعة مناظرة لزمن هطول (Δt) بحيث يكون كل منحني متأخراً عن سابقه بزمن (Δt). بهذا عند إضافة عدة منحنيات وحدة الى بعضها يبلغ المنحني التجميعي قيمة عظمى لا يتجاوزها حتى لو استمر الهطول لفترة طويلة جداً.




شكل (45) منحني الواحدة التجميعي

للحصول على منحني واحدة لفترة هطول (Δt`) بمعرفة منحني واحدة لفترة هطول (Δt) للحوض نفسه أو لحوض مشابه باستخدام فكرة المنحني التجميعي نتبع الخطوات التالية (شكل 46):

1- نرسم المنحني التجميعي الناتج عن تجميع عدة منحنيات واحدة ذات فترة هطول (Δt).
2- من المنحني التجميعي المستنتج بالخطوة الأولى نطرح منحني تجميعي مماثل له لكن يتأخر عنه بفترة زمنية مقدارها (Δt`).
3- ناتج الطرح للمنحنيين التجميعيين يصحح بضربه بالنسبة (Δt /Δt`) بذلك نكون قد حصلنا على احداثيات منحني الواحدة ذي فترة الهطول (Δt`).




**شكل (46)**

**** ملاحظات حول استخدام منحنى الواحدة**

**~ إن الزمن (Δt) الذي نستنتج له منحني الواحدة يجب أن يتم اختياره بعناية ليعكس التغير الزمني للهطول. ينصح باستخدام فترات الهطول التالية (بالساعة) للحصول على منحني الواحدة.**

| A ($km^2$) | الميل الوسطي للحوض الصباب | | | |
|---|---|---|---|---|
| | > 0.15 | 0.1 – 0.15 | 0.05 – 0.1 | < 0.05 |
| 20 -100 | 1 – 2 | 2 | 2 – 3 | 3 |
| 100 – 300 | 2 – 3 | 3 | 3 | 4 |
| 300 – 500 | 3 – 4 | 3 – 4 | 4 | 4 – 5 |
| 500 – 1000 | 3 – 5 | 4 – 6 | 6 – 8 | 8 – 12 |
| 1000 – 2000 | 4 - 5 | 5 – 7 | 7 – 9 | 9 -12 |

**جدول (11) قيم (Δt) حسب الميل و مساحة الحوض**

**~ بغض النظر عن قيمة (Δt) فيجب أن يكون الزمن من بداية التصريف المباشر حتى القمة مساوياً ثلاثة حتى خمسة أضعاف قيمة (Δt).**

**~ يوجد لأي حوض عدد لا نهائي من منحنيات الواحدة يختلف بعضها عن بعض من حيث فترة الهطول و توزعه. عمليا يستخدم عدد محدود من هذه المنحنيات ويهمل تأثير توزع الهطول في الحوض، لكن هذا يؤدي**

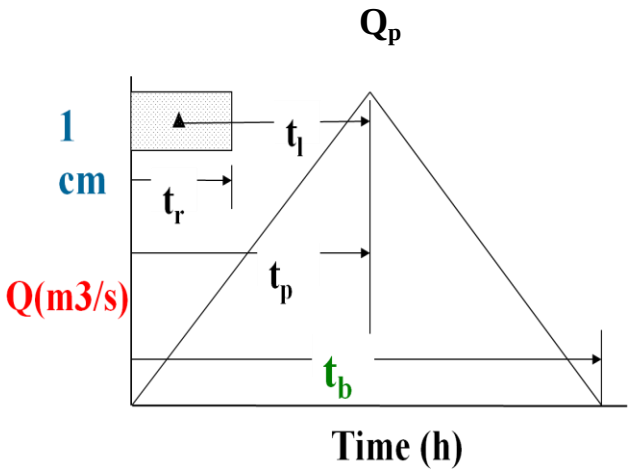
الى أخطاء كبيرة مع زيادة مساحة الحوض. لهذا يجب آلا تزيد مساحة الحوض الصباب المستخدمة في استنتاج منحني الواحدة عن ($5000\ km^2$) و إذا تجاوزت هذه القيمة يمكن تقسيمه الى عدة أحواض أصغر ورسم منحني الواحدة لكل منها ثم تجميع المنحنيات بعضها مع بعض.

~ يمكن استعمال منحني الواحدة المستنتج لفترة هطول ($\Delta t$) من أجل حساب منحني التصريف لفترات هطول مختلفة عنها قليلاً بحدود ($\pm 0.25\ \Delta t$).

## 6-4-1-4- منحنيات الواحدة الاصطناعية

كثيراً ما نضطر إلى دراسة مجرى مائي لا توجد عليه محطات قياس للتصريف والمنسوب، لذلك نلجأ للاستعانة بمنحنيات واحدة لأحواض مشابهة أو بمنحنيات واحدة اصطناعية.

توجد عدة طرق و معادلات تجريبية لإيجاد منحني الواحدة الاصطناعي و تعيين قيمة الذروة ($Q_P$) و الزمن من بداية التصريف المباشر إلى الذروة ($T_P$) و كذلك زمن الإيراد المباشر ($t_b$). سنذكر فيما يلي إحدى الطرق الشائعة لاستنتاج منحني الواحدة الاصطناعية و ذلك بمعرفة زمن الهطول ($\Delta t$).




شكل (47) منحني الواحدة المثلثي

سنفرض أن شكل منحني الواحدة مثلثي.

- إن حجم التصريف المباشر لمنحني الواحدة الاصطناعي ذي الشكل المثلثي هو:

$$V = 1(* 0.01)* A\ (x10^6)$$

$$V = Q_p * t_b\ (x\ 3600) / 2$$

حيث ارتفاع الهطول يساوي (1 cm) مثلاً،

**A– مساحة الحوض الصباب $km^2$ .**

**- نحسب تصريف الذروة من العلاقات التالية:**

$$Q_p = \frac{2.10^4 A}{3600 t_b} = \frac{5.55A}{t_b}$$

$$Q_p = \frac{2.08A}{t_p} \qquad \textbf{(46)}$$

**إن قيمة زمن التصريف المباشر $t_b$ تتعلق بقيمة زمن الهطول ($\Delta t$). كما أن الذروة ($T_p$) يتعلق بزمن الهطول ($\Delta t$) و زمن تركيز الحوض الصباب ($T_C$).**

**لحساب زمن التصريف المباشر يمكن استخدام العلاقة التالية:**

$$t_b = 2.67\ (0.5\ \Delta t + 0.6\ T_C) \qquad \textbf{(47)}$$

**يمكن حساب زمن التركيز استناداً للمعادلات المذكورة سابقاً. أما زمن بلوغ الذروة فيحسب من العلاقة:**

$$T_p = 0.6\ T_C + 0.5\ \Delta t \qquad \textbf{(48)}$$

## a. انتقال الفيضانات:

**بعد أن ناقشنا كيف يتم تقدير الجريان السطحي و بالتالي الهطول الفعال و كذلك منحني التصريف المباشر الناتج عن هذا الهطول، سنحاول الآن معرفة شكل منحنى التصريف هذا عندما ينتقل الجريان إلى مقطع متقدم من النهر أو المجرى المائي. هنا نلاحظ تغير قيم التصريف الأعظمية عند انتقال الجريان من مقطع لآخر من النهر أو عند انتقال هذا الجريان عبر بحيرة سد.**

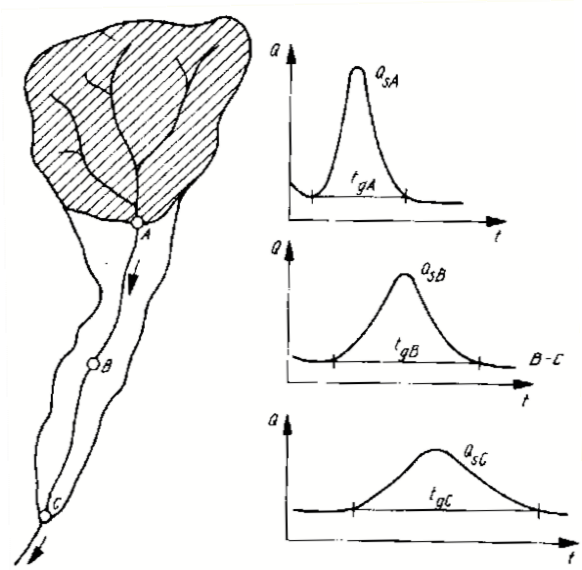
**لنراقب الآن الشكل (48) حيث يتم الهطول على المساحة المهشرة فقط .**

**عند قياس التصريف عند المقطع (A) فنحصل على منحنى التصريف الكلي الناتج والموضح جانباً. يسمى منحنى التصريف الناتج موجة فيضانية حيث قيمة التصريف الأعظمي هي ($Q_{SA}$). إذا قسنا التصريف الناتج عن الهطول على المساحة المهشرة وذلك عند المقطع (B) من النهر فنحصل على شكل الموجة الفيضانية الموضحة على الشكل نفسه حيث تبلغ قيمة التصريف الأعظمي ($Q_{SB}$)، حيث نلاحظ ($Q_{SA}>Q_{SB}$).**

**عند قياس التصريف الآن عند مقطع آخر (C) فنحصل على منحنى التصريف الموضح أيضاً جانباً حيث القيمة العظمى للتصريف تبلغ ($Q_{SC}$).**

**نلاحظ هنا : ($Q_{SA}>Q_{SB}>Q_{SC}$)، أيضاً نلاحظ : ($t_{ga}<t_{gb}<t_{gc}$)**

**حيث: $t_{ga}$, $t_{gb}$, $t_{gc}$ المدى الزمني لمنحنى التصريف الناتج عند المقاطع A,B,C.**




**شكل (48) منحني الواحدة التجميعي**

**كما نلاحظ أن حجم الجريان المباشر الناتج عن الهطول الفعال على المساحة المهشرة والمقيس عند المقاطع (A, B, C) متساوٍ تقريباً. من المعروف أن حركة المياه في المجاري المائية هي بشكل عام حركة غير مستقرة حيث يتغير شعاع السرعة في مختلف نقاط الوسط المتحرك من حيث القيمة والاتجاه.**

**يمكن وصف هذه الحركة على أساس القوانين الهيدروديناميكية و قوانين مصونية المادة و مصونية الطاقة بالإضافة إلى بعض الخواص الهندسية لمقطع الجريان ومعادلة الاستمرار .**

**سنناقش الآن انتقال الفيضانات عبر المجاري المائية وبحيرات السدود .**

## 6-5- انتقال الفيضانات عبر المجاري المائية –طريقة مسكنجم: Muskingum-Method

**يقصد بالفيضانات هنا الأمواج الفيضانية المتشكلة نتيجة هطولات ما. فلو راقبنا الآن حيزاً من نهر بين المقطعين (A و B) كما هو موضح على الشكل (49) وبفرض معرفة قيم التصريف عند المقطع (1) والمطلوب معرفة قيم التصريف عند المقطع (2) والناتج عن الجريان ذاته.**

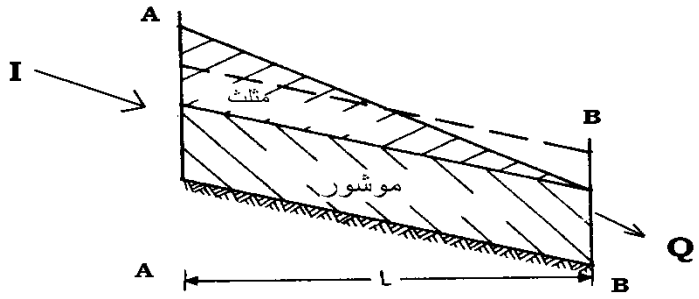
**حسب طريقة مسكنجم سنفرض أن حجم المياه بين المقطعين ( A، B) هو (S). وهذا الحجم يتناسب مع قيمة التصريف المتوسط ($Q_g$) .انظر الشكل (49) حيث:**

$$S_{(t)} = K \cdot Q_g(t) \qquad (49)$$

**$Q_g(t)$- القيمة المتوسطة للتصريف عند المقطعين (1،2) في اللحظة (t) .**

**$S_{(t)}$- حجم المياه المخزونة بين المقطعين (A ، B) في اللحظة t**

**K – ثابت تناسب يسمى ثابت التخزين، وحدته هي الزمن ويمكن عده بأنه زمن الجريان الوسطي لـ ($Q_g$) على المسار (L) بين المقطعين (A ، B).**




**شكل (49)**

**إن حجم المياه المخزونة بين المقطعين (A ، B) يمكن تقسيمها إلى جزأين :**

**1- جزء تخزين موشوري ($S_P$).**
**2- جزء تخزين مخروطي ($S_K$).**

**وبفرض أن التصريف الداخل إلى المقطع النهري هو ($Q_Z$) والتصريف الخارج من المقطع النهري هو ($Q_a$).بكون حجم التخزين الموشوري تابعاً للتصريف ($Q_a$)،أي:**

$$S_p = K \cdot Q_a \qquad (50)$$

**أما حجم التخزين المخروطي فيكون متناسباً مع الفرق بين ($Q_z$,$Q_a$) أي:**

$$S_K = K \cdot X \cdot (Q_z - Q_a) \qquad (51)$$

**نبدل المعادلتين السابقتين بالمعادلة (49) ، نجد:**

$$S_{(t)} = K [ X \cdot Q_z(t) + (1-X) Q_a(t)] \qquad (52)$$

**أو**

$$Q_g(t) = X. Q_z(t) + (1-X) Q_a(t) \qquad (53)$$

**إن الثابت (X) هو ثابت لا بعدي يميز تأثير التصريف الداخل في المقطع والخارج منه على التخزين وتتراوح قيمة هذا الثابت بين (0-0.5) وغالباً بين (0-0.3).**

**إلى جانب المعادلة السابقة يمكن استخدام معادلة الاستمرار التالية :**

$$Q_z(t) - Q_a(t) = \frac{\partial s}{\partial t} \qquad (54)$$

**بمعرفة (K) و(X) والمسماة طريقة ثوابت مسكنجم يمكن حساب التصريف الخارج عند المقطع (2) وهو $Q_a(t)$. بالتبديل نجد:**

$$Q_z(t) - Q_a(t) = K.X.\frac{\partial Q_z(t)}{\partial t} + K.(1-X)\frac{\partial Q_a(t)}{\partial t} \qquad (55)$$

**بعد مكاملة العلاقة السابقة حسب قاعدة شبه المنحرف نجد :**

$$\frac{\Delta t}{2}[Q_z(t+\Delta t) - Q_a(t+\Delta t) + Q_z(t) - Q_a(t) = K.X[Q_z(t+\Delta t) - Q_z(t)] + K(1-X)[Q_a(t+\Delta t) - Q_a(t)] \qquad (56)$$

**باعتبار:**

$$t+\Delta t = (i+1)\,\Delta t \quad , \quad t = i\,.\,\Delta t \qquad (57)$$

**تتحول المعادلة السابقة إلى الشكل البسيط التالي والمعروفة باسم معادلة مسكنجم:**

$$Q_{a,i+1} = C_1\,.Q_{z,i+1} + C_2\,.Q_{z,I} + C_3\,.\,Q_{a,I} \qquad (58)$$

**حيث:**

**$Q_{a,i}$, $Q_{a,i+1}$-التصريف الخارج عند المقطع (2)في اللحظة i , i+1 .**

**$Q_{z,I}$, $Q_{z,i+1}$-التصريف الداخل عند المقطع (1)في اللحظة i , i+1 .**

**عند حساب قيم($C_3$,$C_2$,$C_1$)يجب أن يتحقق الشرط التالي :**

$$C_3 + C_2 + C_1 = 1 \qquad (59)$$

**من الملاحظ أنه لا بد لحساب التصريف الخارج من المقطع (B) استناداً لمعرفة التصريف الداخل إلى المقطع (A) من تحديد الثوابت (K,X) المتعلقة بالخواص المورفولوجية للمقطع المدروس.**

**سنذكر إحدى هذه الثوابت (K,X) وذلك باستخدام المعادلة التالية:**

$$K = \frac{S(t+\Delta t) - S(t)}{X[Q_z(t+\Delta t) - Q_z(t)] + (1-X)[Q_a(t+\Delta t) - Q_a(t)]} \qquad (60)$$

**فإذا كانت (K) ثابتة كما هو مفروض في العلاقة الأساسية بين التصريف الخارج والمخزون فإن العلاقة بين البسط والمقام في المعادلة الأخيرة يجب أن تمثل خطاً مستقيماً. بمعرفة قياسات سابقة للتصريف عند المقطعين**

**(1,2) والناتجة عن مرور موجة فيضانية وبفرض عدة قيم لـ(X) تتراوح للأقنية الطبيعية بين (0)و(0.3) فيتم رسم العلاقة بين البسط والمقام .**

**عندما نحصل على علاقة خطية (مستقيم) بين البسط والمقام تكون قيمة (X) الموافقة هي القيمة الصحيحة بعد ذلك نحسب قيمة (K) من المعادلة السابقة.**

## 6-6 انتقال الفيضانات عبر بحيرات السدود :

**عند مرور موجة فيضانية عبر بحيرة سد سيتم في البداية ملء البحيرة أو الجزء الفارغ منها حتى يصل منسوب المياه إلى مستوى منشأة تفريغ مياه الفيضان، بعد ذلك يبدأ تصريف المياه عبر هذه المنشأة .**

**في الحالات التصميمية يفترض عند وصول الموجة الفيضانية إلى بحيرة سد تطابق منسوب المياه في بحيرة السد مع منسوب قمة منشأة التفريغ (منسوب قمة المفيض).**

**عند وصول الموجة الفيضانية إلى بحيرة السد تسهم في رفع منسوب مياه البحيرة حتى يصل إلى منسوب قمة منشأة التفريغ عندها تبدأ المياه بالمرور عبر هذه المنشأة إلى ما بعد السد عبر منشآت نقل أخرى. إن قيم تصاريف المياه المارة عبر منشأة تصريف الفيضان تكون أقل من قيم تصاريف المياه عندما تصل إلى بحيرة السد. لهذا فتستخدم بحيرات السدود كوسيلة جيدة في درء أخطار الفيضانات (أي تخفيض قيم التصاريف الناتجة عن هطولات غزيرة من خلال بحيرة السد).**

**يتم على الأنهار الكبيرة إنشاء سلسلة من السدود هدفها درء الفيضانات الناتجة عن الأمطار الغزيرة أو ذوبان الثلوج. حيث يتم تحديد حجوم بحيرات هذه السدود (أو الأجزاء المخصصة لدرء الفيضان) استناداً إلى دراسة شاملة للتصاريف الواردة على هذه البحيرات.**

**تحدد قيمة التصاريف الخارجة عبر منشأة التفريغ والناتجة عن موجة فيضانية ما باستخدام علاقة الاستمرار التالية :**

$$\overline{Q_{z,i+1}} = \overline{Q_{a,i+1}} + \frac{S_{i+1} - S_i}{\Delta t} \qquad (61)$$

$$Q_{a,i+1} = \frac{Q_{a,i} + Q_{a,i+1}}{2} \qquad Q_{z,i+1} = \frac{Q_{z,i} + Q_{z,i+1}}{2} \qquad (62)$$

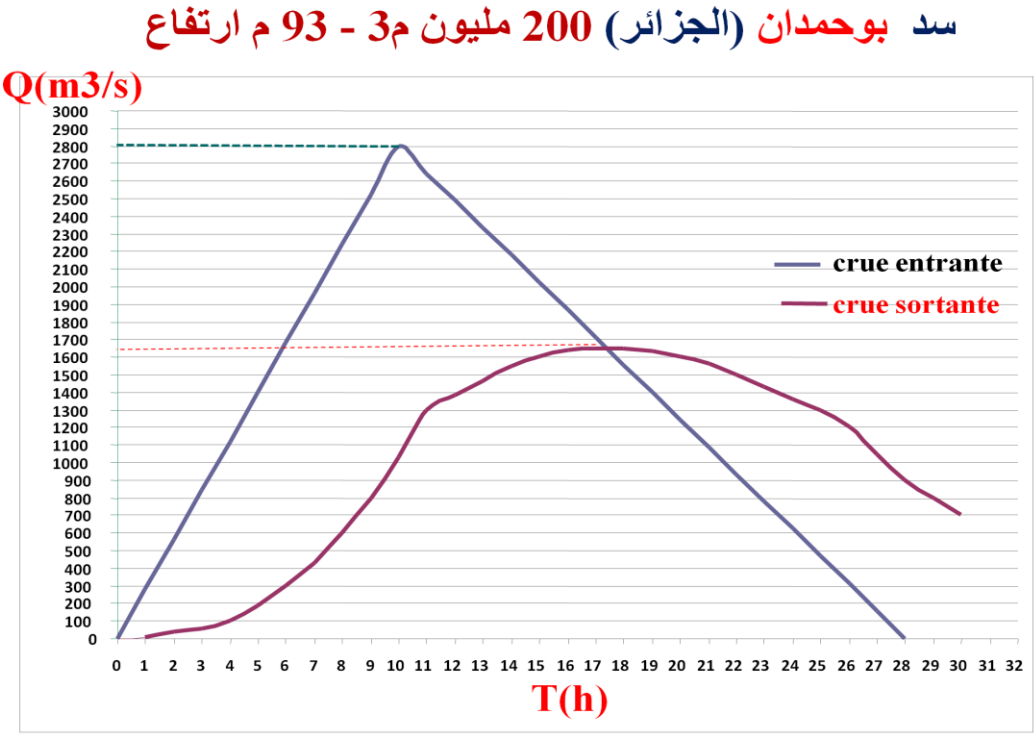
**لحل هذه المعادلة يوجد عدة طرائق ستذكر في موضوع الخزانات.**

**$S_i$، $S_{i+1}$ – حجم بحيرة التخزين في اللحظة( i , i+1) .**

**$Q_{a,i}$، $Q_{a,i+1}$-التصريف الخارج عبر منشأة التفريغ في اللحظة( i ,i+1)**

**$Q_{z,i}$، $Q_{z,i+1}$-التصريف الوارد إلى بحيرة السد في اللحظة( i ,i+1).**

بمعرفة منحنى التصاريف الواردة إلى بحيرة سد ($Q_z$) وباستخدام المعادلة السابقة يتم حساب التصاريف الخارجة عبر منشأة التفريغ $Q_a$ والتي قيمتها العظمى أقل من القيمة العظمى للتصريف الوارد إلى البحيرة.




شكل (50) منحني

شكل (51) منحني

# الفصل السابع

## تطبيق نظرية الاحتمالات والإحصاء الرياضي في الهيدرولوجيا

### 7-1- مقدمة

يتضمن علم الإحصاء الرياضي تجميع معلومات عن ظاهرة ما، أما الاحتمال فهو يبحث في إمكان حصول ظاهرة ما اعتماداً على معلومات سابقة جرى تجميعها. تعد الظواهر الهيدرولوجية ذات طبيعة احتمالية لهذا يمكن أن نطبق عليها مبادئ الإحصاء و التحليل الاحتمالي.

من أهم القضايا التي يواجهها المهندس في الهيدرولوجيا محاولة تحليل معلومات سابقة لظاهرة ما للتوصل إلى معرفة سلوك هذه الظاهرة في المستقبل اعتماداً على نظرية الاحتمالات. تبدو الحاجة الى ذلك واضحة عندما يكون المطلوب معرفة قيمة الهطول أو التصريف الأعظمي الذي يحدث مرة كل مائة سنة مثلاً عندما تتوافر قياسات عن الهطول أو التصريف لفترة محدودة أقل من مائة سنة (ثلاثين سنة مثلاً).

تدعى المجموعة الكاملة من العناصر المدروسة والتي تتميز بالانتظام و التجانس في خواصها متحولات أو متغيرات، فإذا كان التغير في قيم الظواهر غير خاضع لقانون رياضي معروف دعي المتغير متغيراً عشوائياً.

إذا تم إجراء قياسات عن ظاهرة ما دون التأثير فيها دعيت مجموعة القياسات هذه بالسلسلة العشوائية و سنسميها في الهيدرولوجيا بالسلسلة الهيدرولوجية. مثال ذلك قياس تصاريف نهر طبيعي حيث تعد هذه القياسات متغيرات عشوائية غير متحيزة. أما إذا تم بناء سد على هذا النهر فإن تصاريف النهر بعد إنشاء السد يمكن التأثير فيها وبذلك تكون متحيزة. سنسمي مجموع القياسات بحجم السلسلة (n).

نشير هنا الى أن المتغيرات العشوائية نوعان:

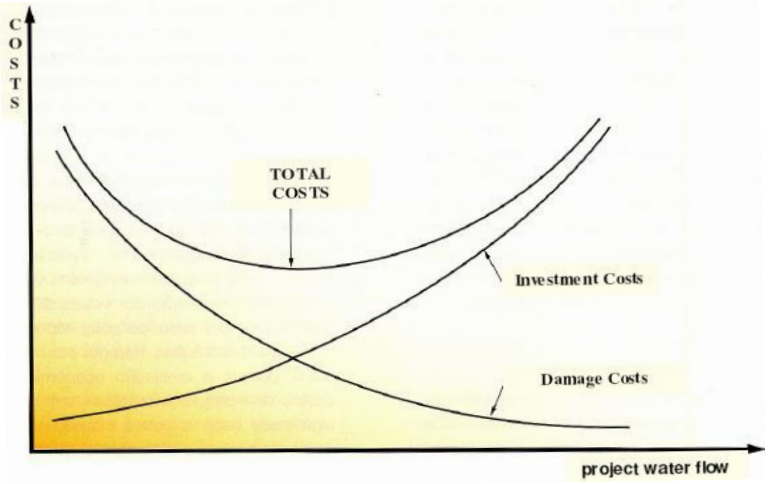
-النوع الأول: المتغيرات العشوائية المنفصلة وهي التي تكون قيماً تقع ضمن مجال محدود. مثال ذلك عدد الأيام الماطرة في السنة.

النوع الثاني: المتغيرات العشوائية المستمرة والتي تأخذ أي قيمة مثال ذلك قيم الهطول حيث يمكن أن تأخذ أي قيمة.

غالباً ما نهتم في الهيدرولوجيا بالقيم الحدية (الدنيا والعظمى) وهذه القيم ذات طبيعة احتمالية يمكن تحديد قيمها التي تتكرر كل فترة زمنية (T) لكن لا نستطيع تحديد زمن حدوثها.

لذلك نجد أن هدف تطبيق نظرية الإحصاء و الاحتمال الرياضي في الهيدرولوجيا هو الحصول على قيمة ما تتكرر كل فترة زمنية محددة (T) استناداً إلى قياسات لفترة أقصر، بمعنى آخر نستطيع من خلال نظرية

**الاحتمالات التنبؤ عن قيم ستحصل مستقبلاً. نضيف هنا إلى أن القياسات الهيدرولوجية هي قيم تاريخية حيث انه إذا لم يتم قياس قيمة ما فلن يتم الحصول عليها أبداً.**




**شكل (52) منحني الكلفة – الاستثمار**

## 7-2- التحليل الأولي للقياسات الهيدرولوجية

**عند توقيع قيم حادثة ما حسب ظهورها الزمني نحصل على ما يسمى منحني تغير المتحول. أثناء تقويم منحني تغير قيم المتحول فإننا لا نأخذ بالاعتبار زمن ظهور الحوادث و إنما القيم، فمثلاً لرسم مخطط التكرار الاستمرار نهتم بعدد القيم التي تقع ضمن مجال محدد بغض النظر عن زمن ظهورها.**

### 7-2-1- الثوابت الإحصائية الأولية:

#### 1- المتوسط الحسابي (X)

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (63)$$

#### 2 - الانحراف المعياري (σ)

**إلى جانب المتوسط الحسابي يهمنا أيضا معرفة مدى تبعثر عناصر السلسلة حول متوسطها الحسابي و الذي يحسب من العلاقة التالية:**

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - X)^2} \qquad (64)$$

**σ - الانحراف المعياري.** **n - عدد عناصر السلسلة**

**أما خواص الانحراف المعياري فهي:**

**- إن وحدة الانحراف المعياري هي وحدة عناصر السلسلة نفسها.**

**- إذا أضفنا الى جميع عناصر السلسلة عدداً أو طرحنا منها عدداً فإن قيمة σ لا تتغير.**

**- إذا ضربنا جميع عناصر السلسلة بعدد أو قسمناها على عدد فإن قيمة تضرب بالعدد نفسه أو تقسم عليه.**

**3 - معامل التغيير ($C_v$):**

**لنتمكن من إجراء مقارنة بين سلسلتين نقوم بحساب معامل التغيير حيث نقوم بقسمة الانحراف المعياري على المتوسط الحسابي وبذلك نتمكن من المقارنة بين عوامل لا بعدية، أي:**

$$C_v = \frac{\sigma}{X} \qquad X \neq 0 \qquad \textbf{(65)}$$

**أما خواص معامل التغيير فهي:**

**- لا تتغير قيمة معامل التغيير عندما نضرب جميع عناصر السلسلة بعدد ثابت أو نقسمها على عدد ثابت.**

**- يتناقص معامل التغيير إذا أضفنا إلى جميع عناصر السلسلة عدداً ثابتاً و العكس صحيح بالنسبة للطرح.**

**- معامل التغيير لا وحدة له.**

**4 - معامل عدم التناظر ($C_s$)**

**يعبر معامل عدم التناظر عن مدى تناظر الانحرافات الموجبة و السالبة لعناصر السلسلة بالنسبة لمتوسطها الحسابي، حيث تتصف السلاسل الهيدرولوجية غالباً بأنها لا تتوزع بشكل متناظر حول المتوسط.**

**قد يكون لسلسلتين قيمة المتوسط الحسابي نفسها و قيمة معامل التغيير نفسها و مع ذلك تكونان مختلفتين و يظهر هذا الاختلاف من خلال حساب معامل عدم التناظر $C_s$ .**

**تطبق العلاقة التالية إذا كان عدد عناصر السلسلة أكبر أو يساوي (60):**

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(K_i - 1)^3}{(n-1).C_v^3} \qquad K_i = \frac{x_i}{X} \qquad \textbf{(66)}$$

**2-2-7 - التكرار المطلق:**

**يتردد في الاقتصاد المائي مفهوم التكرار مثال ذلك تكرار تصريف معين $Q(m^3/s)$ والذي يرمز له بـ h(xi).**

**يعرف التكرار المطلق h(xi) بأنه عدد المراقبات و التي من أجلها.**

**$(xi < x < xi+\Delta xi)$ حيث: $(\Delta xi)$ هو عرض المجال. يمكن الحصول عملياً على التكرار المطلق بتقسيم كامل مجال تحول القيم إلى عدد من المجالات (K) عرض كل منها $(\Delta xi)$ ومن ثم نقوم بعد القيم (x) ضمن كل مجال. عندما نوقع قيم التكرار التي نحصل عليها مع قيم (x) على شبكة إحداثيات نحصل على مخطط التكرار و الذي يظهر بشكل متدرج و يسمى توزع التكرار. إذا كان عرض المجال صغيراً نحصل على منحني مستمر يسمى منحني التكرار و ذلك عندما يكون عدد العناصر كبيراً.**

**إن مجموع التكرارات يجب أن يساوي حجم السلسلة n .**

**توجد عدة وجهات نظر من أجل التقسيم الى مجالات بعضها ما يطلب عدداً أصغريا من المجالات (K) ، ينصح آلا تتجاوز قيمة عرض المجال $(0.6\sigma)$**

**نشير هنا أنه عندما يكون عرض المجال كبيراً فلن يعكس مخطط التكرار كامل المعلومات المقاسة وهنا يحصل ما يسمى ضياع المعلومات.**

**7-2-3- التكرار النسبي**

**إذا قمنا بتقسيم قيم التكرار المطلق على عدد عناصر السلسلة نحصل على التكرار النسبي ويعطى بالعلاقة التالية:**

$$N_{(xi)} = \frac{h_{(xi)}}{n}\% \qquad (67)$$

**إذا وقعنا قيم التكرار النسبي مع قيم (x) نحصل على كثافة الاحتمال.**

**استناداً إلى مخطط التكرار أو التكرار النسبي يمكن الحصول على قيم هامة مثل معيار التوزيع (Mo) أو mod (x) وهي القيمة الأكثر تكراراً. كما يمكن أيضاً تعيين انحراف توزيع التكرار أو منحني التكرار النسبي، حيث يمكن الحديث عن سلسلة ذات انحراف يساري عندما:**

$$\text{mod}\,(x) < X \qquad (68)$$

**أو سلسلة ذات انحراف يميني عندما:**

$$\text{mod}\,(x) > X \qquad (69)$$

**غالباً ما نصادف في الهيدرولوجيا سلاسل ذات انحراف يساري، تحسب قيمة الانحراف (S) من العلاقة التالية:**

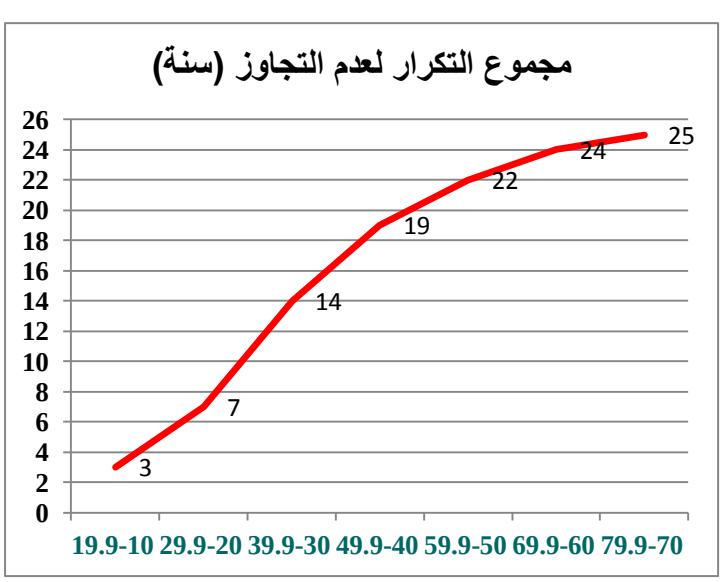
$$S = \frac{X - \text{mod}(x)}{\sigma(x)} \qquad (70)$$

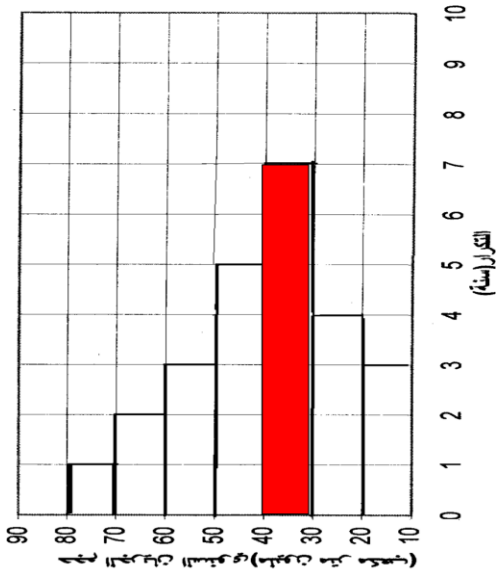
**كما يمكن أيضاً استناداً إلى مخطط التكرار تعريف وسطي التوسيع (Me) أو (Median) أي هي قيمة (x) التي تقسم مخطط التكرار إالى قسمين متساويين.**

## 4-2-7 – مجموع التكرار – منحنى الاستمرار

**مجموع التكرار $D_{(xi)}$ هو تجميع مخطط التكرار $h_{(xi)}$ وهو يعبر عن عدد القيم التي هي أقل من أو تساوي القيمة (xi) و هذا ما يسمى التكرار لعدم التجاوز. كما يمكن البحث عن القيم التي هي أكبر من القيمة (xi) وهذا ما يسمى التكرار للتجاوز.**

**عندما نوقع قيم التكرار للتجاوز أو لعدم التجاوز مع قيم (x) فنحصل على منحني الاستمرار للتجاوز أو لعدم التجاوز.**




**شكل (53) منحني التكرار**

| المجالات | التكرار(سنة) | مجموع التكرار لعدم التجاوز (سنة) | التكرار النسبي×100 |
|---|---|---|---|
| 10-19.9 | 3 | 3 | 12 |
| 20-29.9 | 4 | 7 | 16 |
| 30-39.9 | 7 | 14 | 28 |
| 40-49.9 | 5 | 19 | 20 |
| 50-59.9 | 3 | 22 | 12 |
| 60-69.9 | 2 | 24 | 8 |
| 70-79.9 | 1 | 25 | 4 |

**جدول (12)**

**عندما نقسم قيم منحني الاستمرار للتجاوز أو لعدم التجاوز على عدد عناصر السلسلة (n) نحصل على ما يسمى تابع توزيع الاحتمالات للتجاوز أو لعدم التجاوز.**

**نشير الى أنه عندما نقوم بتجميع قيم التكرار بدءاً من القيم الدنيا نحصل على منحني التكرار لعدم التجاوز. عندما نبدأ بتجميع قيم التكرار بدءاً من القيم العظمى نحصل على منحني الاستمرار للتجاوز.**

**لقيمة ما (xi) يكون مجموع التكرار للتجاوز ومجموع التكرار لعدم التجاوز يساوي مجموع عناصر السلسلة، أي:**

$$\bar{D}(xi) + D(xi) = n \qquad \textbf{(71)}$$

**D(xi) - مجموع التكرار لعدم التجاوز**

$\bar{D}(xi)$ **- مجموع التكرار للتجاوز**

## 7-3- التحليل الاحتمالي للمعطيات الهيدرولوجية

**عند إجراء التحليل الاحتمالي للمعطيات الهيدرولوجية نطبق نظرية الاحتمالات على قيم القياسات ، لذلك لا بد من إيضاح المفاهيم التالية:**

### 7-3-1 - الاحتمال:

**يعرف الاحتمال بشكله البدائي كما يلي:**

$$P = \frac{\text{عدد الحالات المناسبة}}{\text{عدد الحالات الكلية}} = \frac{m}{n}$$

**وبتطبيق ذلك على حجر الزهر نجد مثلاً أن احتمال ظهور العدد (4) هو:**

$$P(x = 4) = \frac{1}{6}$$

**أما إذا طرحنا سؤالاً آخر، ما هو احتمال ظهور عدد أقل أو يساوي (4) فنجد:**

$$P_u(x \le 4) = \frac{4}{6}$$

**نسمي هنا $P_u$ احتمال عدم التجاوز وهو يعطي احتمال الوصول إلى قيمة محددة أو أقل منها.**

**أما احتمال ظهور قيمة أكبر من (4) فهو:**

$$P_{\bar{u}}(x > 4) = \frac{2}{6}$$

**حيث:** $P_{\bar{u}}$ **احتمال التجاوز**

**عندما يكون عدد عناصر السلسلة لا نهائياً يتحول مخطط التكرار إلى منحني كثافة الاحتمال أو ما يسمى منحني توزيع الاحتمال التفاضلي الذي يكتب بالشكل التالي:**

$$\varphi(xi) = \frac{h(xi)}{n} \qquad \textbf{(72)}$$

**و منه نجد:**

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x).dx = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{h(x)}{n}.dx = \frac{n}{n} = 1 \qquad \textbf{(73)}$$

**الشكل التالي يبين منحني التوزيع التفاضلي** $\varphi(x)$ **وكذلك منحني التوزيع التكاملي.**

**بمكاملة تابع كثافة الاحتمال** $\varphi(x)$ **نحصل على تابع توزيع الاحتمال أو منحني توزيع الاحتمال التكاملي:**

$$\Phi(xi) = \int_{-\infty}^{x} [\varphi(x).dx] \qquad \textbf{(74)}$$

**كما نلاحظ أن:**

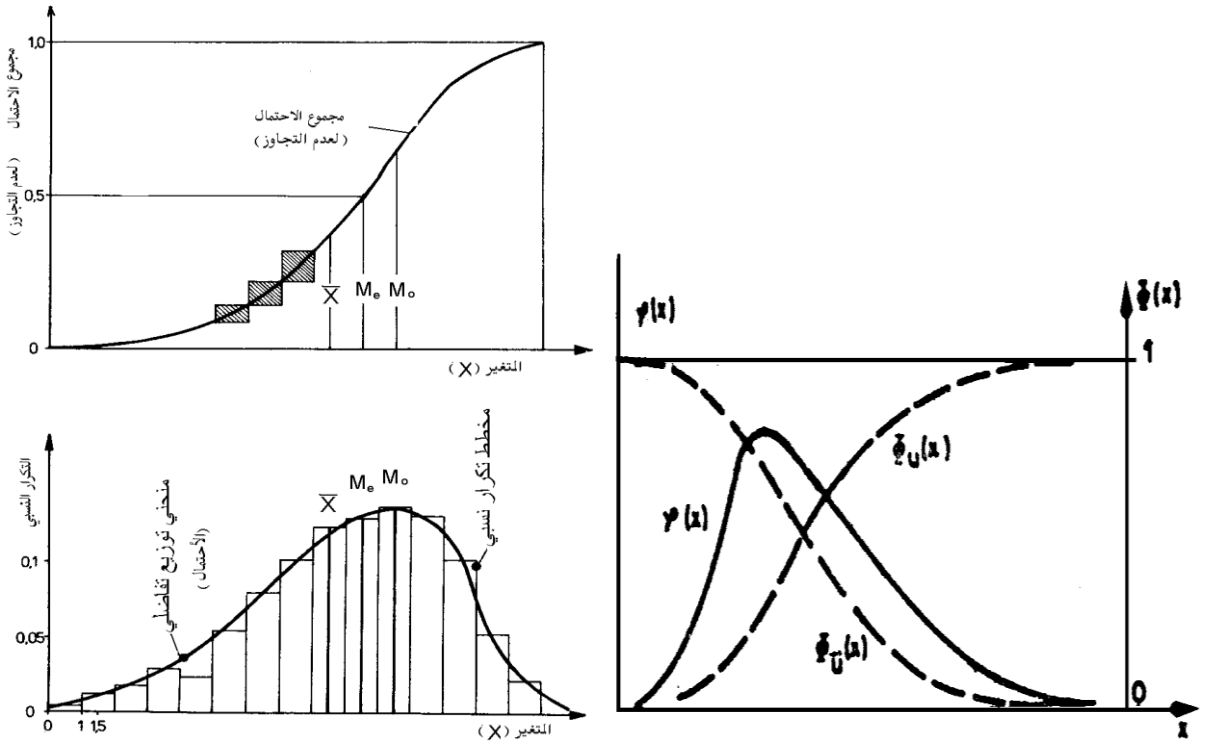
$$\Phi(x_n) = 1 \qquad \textbf{(75)}$$

**بالنظر لأن حدود التكامل تبدأ من القيم الدنيا حتى القيمة التي نحسب لها الاحتمال نكون هنا قد حسبنا احتمال عدم التجاوز و الذي نرمز له بـ:**

$$\Phi(x \le xi) = \Phi_u(xi) = \int_{-\infty}^{xi} \varphi(x).dx \qquad \textbf{(76)}$$

**بالطريقة نفسها نحسب احتمال التجاوز من المعادلة التالية:**

$$\Phi(x > xi) = \Phi_{\bar{u}}(xi) = \int_{xi}^{+\infty} \varphi(x).dx \qquad \textbf{(77)}$$




**شكل (54) منحني**

**نلاحظ هنا أنه تمت مكاملة تابع كثافة الاحتمال من القيمة (xi) حتى القيمة العظمى.**

**الشكل التالي يظهر أحد منحنيات التوزيع التفاضلية بالإضافة إلى منحني التوزيع التكاملي للتجاوز ومنحني التوزيع التكاملي لعدم التجاوز. من السهل أن نثبت هنا العلاقة التالية:**

$$\Phi_u(xi) + \Phi_{\bar{u}} = 1 \qquad \textbf{(78)}$$

**<u>غالباً ما نسمى احتمال التجاوز احتمال الضمان أو اختصاراً الضمان.</u>**

### 2-3-7 - فترة التكرار

**لنفرض أنه تم قياس التصاريف السنوية الأعظمية لأحد الأنهار (أعلى قيمة للتصريف كل سنة) ووجد أن نسبة قيم التصاريف التي هي أعلى من ($120\ m^3/s$) تبلغ 5% أي:**

$$\Phi_{\bar{u}}(120) = 5\%$$

**من هنا نستنتج أنه وسطياً تصادف القيمة للتصريف ($120\ m^3/s$) أو أعلى منها مرة كل 20 سنة. أي من أجل ($Q \geq 120$) تكون ($T = 20$ years).**

**بهذا نسمي T بفترة التكرار ويمكن أن نكتب التالي:**

$$Q_{(T)} = Q_{(20)} = 120\ m^3/s$$

**نعرف فترة التكرار بأنها الزمن الوسطي لتكرار حادث ما ويرمز لها بـ (T)، تسمى أحياناً فترة الرجوع و تقدر بالسنة. مما سبق يمكن أن نستنتج أنه من العينة العشوائية والتي تمثل عناصرها قيمة التصريف الأعظمي من كل عام فإن فترة التكرار تحسب من العلاقة:**

$$T = \frac{1}{\Phi_u} = \frac{1}{1-\Phi_u} \qquad \text{Years} \qquad (79)$$

## 7-4- توابع التوزيع الاحتمالية

**سنحاول الآن إيجاد توابع تحليلية ϕ(x) والتي نستطيع من خلالها حساب الاحتمال. أي أنه انطلاقاً من القياسات المتوافرة سنوجد تابع توزيع احتمالي يصلح لتقدير جميع القيم الممكنة.**

### 7-4-1- الاحتمالات التجريبية

**سنحاول الآن حساب احتمال ظهور قيم العينة العشوائية والذي نسميه الاحتمال التجريبي أو توزيع الاحتمال التجريبي. يتم حساب الاحتمالات التجريبية كما يلي:**

**- ترتب القيم العشوائية (القياسات) من القيم الدنيا حتى العظمى (أي تصاعدياً).**
**- نعطي لكل قيمة رقماً خاصاً ($m_i$) حسب تسلسلها في الترتيب بحيث تأخذ أصغر قيمة الرقم (1) و أكبر قيمة الرقم (n).**
**- نحسب احتمال عدم التجاوز لقيمة ما (xi) باستخدام العلاقة التالية والذي يسمى الاحتمال التجريبي :**

$$P_u(x \le xi) = \frac{mi}{n} \qquad (80)$$

**حيث:**

**$P_u(x \le xi)$ – الاحتمال التجريبي لعدم التجاوز للقيمة $x_i$**

**بهذا يكون الاحتمال التجريبي لعدم التجاوز للقيمة العظمى هو:**

$$P_u(x = x_{\max}) = \frac{m_n}{n} = 1 \qquad (81)$$

**إن هذا الاحتمال ليس صحيحاً تماماً حيث يعني أن جميع القيم التي تحقق الشرط**

$$xi \ge x_{max} \qquad (82)$$

**لها الاحتمال نفسه. وهذا لا يتطابق مع المجموع العام للعناصر حيث أنه يمكن ظهور قيمة خارج مجال العينة المدروسة تكون أكبر من القيمة العظمى:**

$$x > x_{max}$$

**لهذا السبب نستخدم العلاقة التالية لتحديد الاحتمالات التجريبية Pu(xi) أي احتمال عدم التجاوز:**

$$P_u(xi) = \frac{m_i}{n+1} \qquad (83)$$

**و بهذا يكون احتمال التجاوز:**

$$p_{\bar{u}}(xi) = \frac{n - m_i + 1}{n+1} \qquad (84)$$

**أخيراً نشير إلى أنه عندما نقوم بترتيب القيم المقاسة بدءاً من القيمة العظمى (تنازلياً) فإننا نحصل على احتمال التجاوز.**

**<u>2-4-7- تابع توزيع غاوص:</u>**

**هو أحد التوابع المهمة في الاحصاء والذي استخدم من قبل غاوص في دراسة أخطاء القياس. يعطى تابع كثافة الاحتمال بالشكل التالي:**

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}[(x-\bar{x})/\sigma]^2} \qquad (85)$$

**وهو تابع التوزيع التفاضلي حيث:**

$\bar{x}$ **: المتوسط الحسابي**

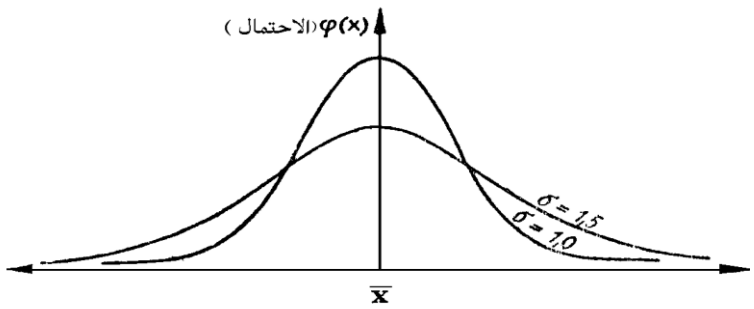
$\sigma$ **: الانحراف المعياري**

**بمكاملة التابع (x)ِ نحصل على تابع التوزيع التكاملي والذي يأخذ الشكل التالي لحالة احتمال عدم التجاوز:**

$$\Phi_u(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{x} e^{\frac{1}{2}[(x-\bar{x})/\sigma]^2} .dx \qquad (86)$$

**يتميز تابع غاوص بالخواص التالية:**

**1 - المتحول (x) ليس له نهاية عظمى أو دنيا**
**2 - قيمة تابع كثافة الاحتمال تساوي الصفر عندما $x = +\infty$ ، $x = -\infty$**




**شكل (54) منحني غاوص**

**3- - أكثر القيم تكراراً حسب تابع توزيع غاوص هي القيمة المتوسطة X أي أن المنحني (x) يبلغ القيمة العظمى عندما x = X**

**4- - للقيم x + X ، x – X الاحتمال نفسه، أي أن تابع كثافة غاوص متناظر حول (X)**

**5- - وسطي التوزيع و معيار التوزيع منطبقان مع المتوسط الحسابي أي:**

$$X = \text{mod}(x) = Me(x) \qquad (87)$$

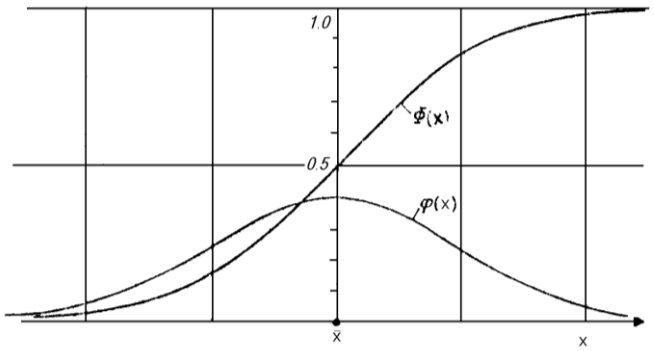
**6- للتابع $\varphi(X)$ لغاوص ثابتان هما ( $(\bar{x}, \sigma)$**

**7- بتغير قيمة ( $\sigma$ ) يتغير شكل منحني كثافة الاحتمال $\varphi(X)$ كما هو موضح بالشكل.**

**عندما ندخل متحولاً خاصاً (K) إلى معادلة كثافة الاحتمال بحيث تكون قيمة الانحراف المعياري لهذا المتحول $(\sigma_{(K)} = 1)$ و قيمة المتوسط الحسابي لـ (K) تساوي الصفر يأخذ تابع غاوص الشكل التالي:**

$$\varphi(K) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} . e^{-(K^2/2)} \qquad (88)$$

**حيث:**




**شكل (55)**

**K: المتحول القياسي ويعطى بالشكل التالي:**

$$K = \frac{xi - \bar{x}}{\sigma} \qquad \textbf{(89)}$$

**أما تابع توزيع الاحتمال فيعطى بالشكل التالي:**

$$\Phi_u(K) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{K} e^{-(K^2/2)}.dK \qquad \textbf{(90)}$$

**جرى التكامل للمعادلة السابقة بشكل جداول موجودة في كتب الإحصاء. لاستخدام تابع توزيع غاوص نحسب خواص السلسلة $(\sigma, \bar{x})$ ثم نحسب قيمة $(K_i)$ للقيم $x_i$ حسب المعادلة 30. باستخدام قيم $(K_i)$ ندخل إلى الجداول.**

**باعتبار أن: $\Phi_u(-K) = 1 - \Phi_u(K)$ فإن الجداول موضوعة للقيم الموجبة لـ K.**

**الجداول المرفقة تعطي قيم $\Phi(K)$ و $\varphi(K)$ وهي موضوعة لأجل المتحول (K) من أجل K=0 ، $\sigma(K) = 1$**

- **<u>شبكة توزيع غاوص</u>**

**إن تابع توزيع غاوص يمكن أن يحول إلى شكل مستقيم كما يلي:**

**بالنظر للمعادلة**

$$K = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \qquad \textbf{(91)}$$

**نجد أن المتحول القياسي (K) هو تابع خطي لـ (x) لهذا يمكن توقيع ذلك بيانياً على شبكة إحداثيات المحور الأفقي فيها للقيم (K) والمحور الشاقولي للقيم (x).**

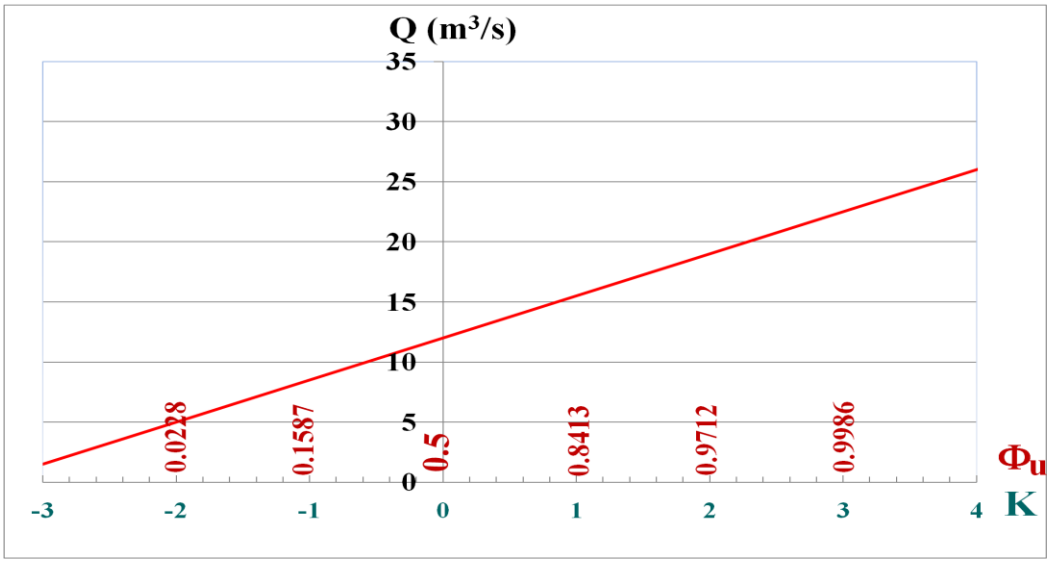
**إن المستقيم الممثل للعلاقة في الشكل (56) يمر من نقطتين:**

- **من أجل K=0 فإن $x = \bar{x}$**
- **من أجل K=1 فإن $x = \bar{x} + \sigma$**
- **إن التدريجات (K) على المحور الأفقي يمكن أن نستنتج لكل منها قيمة $\Phi_u(K)$ من الجداول. بهذا نحصل لكل قيمة (K) على قيمة $\Phi_u(K)$.**

| K | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| .0 | .5000 | .5040 | .5080 | .5120 | .5160 | .5199 | .5239 | .5279 | .5319 | .5359 |
| .1 | .5398 | .5438 | .5478 | .5517 | .5557 | .5596 | .5636 | .5675 | .5714 | .5753 |
| .2 | .5793 | .5832 | .5871 | .5910 | .5948 | .5987 | .6026 | .6064 | .6103 | .6141 |
| .3 | .6179 | .6217 | .6255 | .6293 | .6331 | .6368 | .6406 | .6443 | .6480 | .6517 |
| .4 | .6554 | .6591 | .6628 | .6664 | .6700 | .6736 | .6772 | .6808 | .6844 | .6879 |
| .5 | .6915 | .6950 | .6985 | .7019 | .7054 | .7088 | .7123 | .7157 | .7190 | .7224 |
| .6 | .7257 | .7291 | .7324 | .7357 | .7389 | .7422 | .7454 | .7486 | .7517 | .7549 |
| .7 | .7580 | .7611 | .7642 | .7673 | .7704 | .7734 | .7764 | .7794 | .7823 | .7852 |
| .8 | .7881 | .7910 | .7939 | .7967 | .7995 | .8023 | .8051 | .8078 | .8106 | .8133 |
| .9 | .8159 | .8186 | .8212 | .8238 | .8264 | .8289 | .8315 | .8340 | .8365 | .8389 |
| 1.0 | .8413 | .8438 | .8461 | .8485 | .8508 | .8531 | .8554 | .8577 | .8599 | .8621 |
| 1.1 | .8643 | .8665 | .8686 | .8708 | .8729 | .8749 | .8770 | .8790 | .8810 | .8830 |
| 1.2 | .8849 | .8869 | .8888 | .8907 | .8925 | .8944 | .8962 | .8980 | .8997 | .9015 |
| 1.3 | .9032 | .9049 | .9066 | .9082 | .9099 | .9115 | .9131 | .9147 | .9162 | .9177 |
| 1.4 | .9192 | .9207 | .9222 | .9236 | .9251 | .9265 | .9279 | .9292 | .9306 | .9319 |
| 1.5 | .9332 | .9345 | .9357 | .9370 | .9382 | .9394 | .9406 | .9418 | .9429 | .9441 |
| 1.6 | .9452 | .9463 | .9474 | .9484 | .9495 | .9505 | .9515 | .9525 | .9535 | .9545 |
| 1.7 | .9554 | .9564 | .9573 | .9582 | .9591 | .9599 | .9608 | .9616 | .9625 | .9633 |
| 1.8 | .9641 | .9649 | .9656 | .9664 | .9671 | .9678 | .9686 | .9693 | .9699 | .9706 |
| 1.9 | .9713 | .9719 | .9726 | .9732 | .9738 | .9744 | .9750 | .9756 | .9761 | .9767 |
| 2.0 | .9772 | .9778 | .9783 | .9788 | .9793 | .9798 | .9803 | .9808 | .9812 | .9817 |
| 2.1 | .9821 | .9826 | .9830 | .9834 | .9838 | .9842 | .9846 | .9850 | .9854 | .9857 |
| 2.2 | .9861 | .9864 | .9868 | .9871 | .9875 | .9878 | .9881 | .9884 | .9887 | .9890 |
| 2.3 | .9893 | .9896 | .9898 | .9901 | .9904 | .9906 | .9909 | .9911 | .9913 | .9916 |
| 2.4 | .9918 | .9920 | .9922 | .9925 | .9927 | .9929 | .9931 | .9932 | .9934 | .9936 |
| 2.5 | .9938 | .9940 | .9941 | .9943 | .9945 | .9946 | .9948 | .9949 | .9951 | .9952 |
| 2.6 | .9953 | .9955 | .9956 | .9957 | .9959 | .9960 | .9961 | .9962 | .9963 | .9964 |
| 2.7 | .9965 | .9966 | .9967 | .9968 | .9969 | .9970 | .9971 | .9972 | .9973 | .9974 |
| 2.8 | .9974 | .9975 | .9976 | .9977 | .9977 | .9978 | .9979 | .9979 | .9980 | .9981 |
| 2.9 | .9981 | .9982 | .9982 | .9983 | .9984 | .9984 | .9985 | .9985 | .9986 | .9986 |
| 3.0 | .9987 | .9987 | .9987 | .9988 | .9988 | .9989 | .9989 | .9989 | .9990 | .9990 |
| 3.1 | .9990 | .9991 | .9991 | .9991 | .9992 | .9992 | .9992 | .9992 | .9993 | .9993 |
| 3.2 | .9993 | .9993 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9994 | .9995 | .9995 | .9995 |
| 3.3 | .9995 | .9995 | .9995 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9996 | .9997 |
| 3.4 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9997 | .9998 |

**جدول (13)**

**شبكة توزيع غاوص**




**شكل (56) منحني**

**7-4-3- تابع توزيع القيم الحدية لـ (Gumbel)**

**نهتم في الهيدرولوجيا خصوصاً بتحديد القيم الحدية للظواهر الهيدرولوجية (الدنيا والعظمى) مثال ذلك التصاريف الدنيا و التصاريف العظمى حيث أن مرور مثل هذه التصاريف له تأثير بالغ في الاقتصاد.**

**يصلح تابع توزيع غمبل لمعالجة القيم العشوائية المؤلفة من قيم عظمى ويسمى تابع التوزيع (Type I).**

**نحصل مثلاً على العينة العشوائية لقيم التصاريف السنوية الأعظمية $HQ_{(a)}$ بأن نأخذ التصريف الأعظمي الذي يظهر كل عام. إن مجموعة القيم لعدة سنوات تشكل سلسلة القيم السنوية العظمى للتصاريف.**

**تعطى كثافة الاحتمال حسب تابع توزيع غمبل بالمعادلة التالية:**

$$\varphi(x) = a.e^{-a(x-Mo)}.e^{-e^{-a(x-Mo)}} \qquad (92)$$

**بمكاملة التابع $\varphi(x)$ نحصل على تابع التوزيع الاحتمالي $\Phi(x)$ لعدم التجاوز كما يلي:**

$$\Phi_u = e^{-e^{-a(x-Mo)}} \qquad (93)$$

**حيث:**

**a - ثابت يتناسب عكساً مع الانحراف المعياري**

**Mo - معيار التوزيع.**

**بإدخال المتحول المختزل (y) حيث:**

$$y = a\,(x - Mo) \qquad (94)$$

**نجد:**

$$\Phi_u(x) = e^{-e^{-y}} \qquad (95)$$

**حسب تابع توزيع غمبل (Type I) تتحول قيمة (x) ضمن المجال ($-\infty<x<+\infty$)**

**عندما (x=Mo) أو (y=0) فإن:**

$$\Phi_u(x) = \frac{1}{e} = 0.368 \qquad (96)$$

- **شبكة توزيع غمبل**

**من المعادلة :**

$$y = a\,(x - Mo) \qquad (97)$$

**نوجد علاقة خطية بين (y),(x) كما يوجد إمكانية لتحويل تابع توزيع غمبل (Type I) إلى شكل مستقيم بتشويه المحور الأفقي كما فعلنا عند دراسة تابع توزيع غاوص حيث لكل قيمة (y) من المحور الأفقي قيمة مقابلة $\Phi_u(x)$ تحسب من المعادلة (35)**

**بهذا نجد من أجل:**

$$y = 0 \qquad \Phi_u(x) = 0{,}368$$

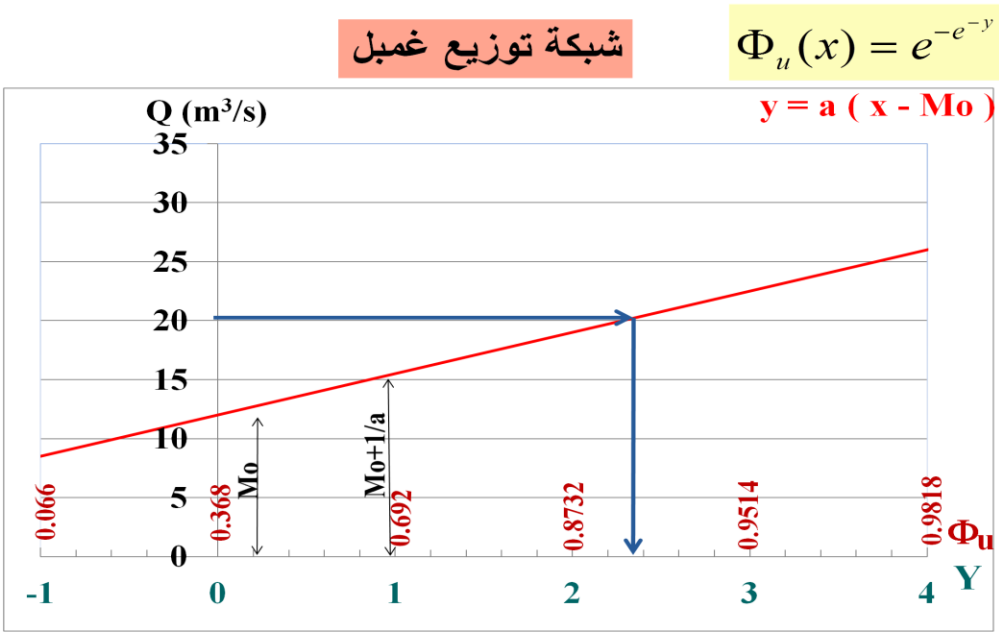
$$y = 1 \qquad \Phi_u(x) = 0{,}692$$

$$y = 2 \qquad \Phi_u(x) = 0{,}8732$$

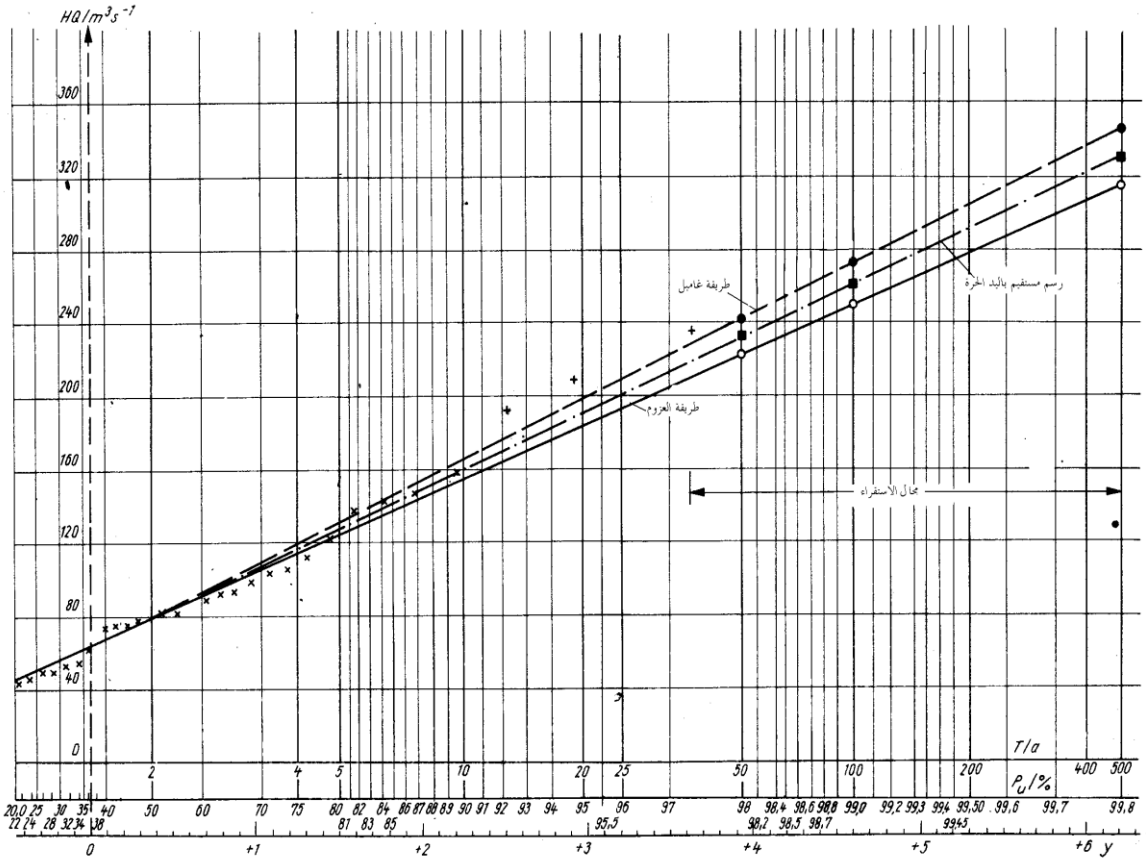
$$y = 3 \qquad \Phi_u(x) = 0{,}9514$$

**وهكذا...**

**أيضاً استناداً إلى العلاقة التي تربط بين التكرار (T) و احتمال عدم التجاوز أو احتمال التجاوز يمكن أن يتبع لكل قيمة (y) أيضاً قيمة لـ (T).**




**شكل (57) منحني**




**شكل (58) منحني**

# الفصل الثامن: حساب التصاريف الأعظمية

## 8-1- مقدمة:

**غالبا ما يتم البحث عن العلاقة بين قيمة التصريف الأعظمي في موقع ما من نهر وبين احتمال التجاوز لهذه القيمة أو فترة التكرار لهذه القيم (T).**

**عند توافر سلسلة مراقبات للتصريف لفترة (20) عاما حتى (30) عاما وبتطبيق نظرية الاحتمالات على سلسلة المراقبات يمكن تحديد القيمة العظمى التي تتوقع حدوثها مستقبلا.**

**لسلسلة المراقبات المتوافرة وبعد استنتاج الثوابت الإحصائية لهذه السلسلة نوجد تابع التوزيع الاحتمالي المناسب لتمثيل هذه الظاهرة، حيث من خلال هذا التابع يمكن أن نصف المجموع العام للعينات وبالتالي استنتاج قيمة الظاهرة(التصريف) خارج مجال المراقبات أي نستنتج قيمة ما لفترة تكرار تتجاوز فترة القياس.**

**إن دقة استنتاج قيمة ظاهرة ما تكون أفضل كلما كانت سلسلة المراقبات تمتد لفترة أطول، أو كلما كان عدد سنوات المراقبة وفترة التكرار التي نحسب لها القيمة العظمى متقاربين.**

**إضافة لذلك فإن جودة القياس تلعب أيضا دورا مهما في دقة حساب قيم الظاهرة المدروسة. فلو كنا نتعامل مع قياسات للتصاريف فإنه قبل البدء بتحديد القيم العظمى لا بد من اختيار جودة القياسات للتصاريف للفترة المتوافرة من حيث تجانس هذه القياسات مثل ( منحنى التحليل الكمي المزدوج)، كما أنه يجب اختبار وجود نقاط شاذة والتي تخرج عن اتجاه المجموع العام فنسعى الى استبعاد هذه القيم وذلك إذا كانت هذه القيمة تقع خارج المجال وذلك عندما يكون عدد القياسات أكبر أو يساوي العشرة. تحسب $(\sigma, \overline{x})$ دون القيم التي يشك بأنها شاذة. أما إذا كان عدد المراقبات قليلا (أقل من عشرة) عندها نستبعد القيمة التي تكون أكبر من ثلاثة أضعاف وسطي التوزيع.**

**إذا كان لدينا قياسات للتصاريف السنوية الأعظمية لعدد قليل من السنوات عندها يمكن زيادة عدد عناصر السلسلة بأخذ قيم القياسات الأعظمية للتصاريف داخل فترة القياس والتي هي أكبر من قيمة محددة تسمى قيمة العتبة ($Q_s$) بذلك نشكل ما يسمى السلاسل الجزئية.**

**إن حساب قيم التصاريف العظمى يمكن أن يتم بعدة طرائق تتعلق بحجم القياسات المتوافرة ونوعها أي هل هذه القياسات هي للتصاريف الأعظمية أو للهطولات الأعظمية وهل هذه القياسات لفترة طويلة أم لفترة قصيرة ، نوع المنشأة وحجمها...إلخ.**

**فيما يلي جدول لبعض الفيضانات في العالم والنتائج الترتبة على ذلك.**

| النهر | نوع الفيضان | التاريخ | الهلاك | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|
| هوانك هي (الصين) | فيضان نهري | 1878 | 90000 | دمر 130000 كم2 ومسح عدة قرى |
| جونزت تاون بنسلفانيا | انهيار سد | 1889 | 2200 | انهيارسد - ارتفع الموج 4 أمتار |
| بانكرز (الصين) | فيضان نهري | 1911 | 100000 | كون بحيرة طولها 130 كم وعرضها 50 كم |
| بانكرز (الصين) | فيضان نهري | 1913 | 200000 | امتد الفيضان من هانكر إلى شنغهاي وترك 10 ملايين نسمة بدون مأوى |
| بفايونت (إيطاليا) | انهيار سد | 1963 | 2000 | غمرت عدة قرى |
| غانج (بنغلاديش) | فيضان نهري | 1991 | 200000 | |

**جدول (14)**

**استنادا الى طبيعة القياسات المتوافرة وطولها سنذكر الآن الطرائق التي يمكن تطبيقها للحصول على التصاريف الأعظمية:**

**1- عند توافر سلسلة قياس للتصاريف عند الموقع المدروس لفترة طويلة.**

**لهذه الحالة نستخدم الطريقة الإحصائية كاستخدام تابع توزيع احتمالي (تابع توزيع غمبل أو تابع توزيع بيرسون) من أجل الحصول على قيمة التصريف لفترة تكرار ما.**

**2 - عند توافر سلسلة قياسات للتصاريف لفترة قصيرة عند الموقع المدروس مع وجود سلسلة قياسات تصاريف لفترة طويلة عند موقع مجاور.**

**لهذه الحالة نوجد علاقة ارتباط بين القياسات للفترة المشتركة بين الموقعين المتجاورين ثم نسعى إلى تمديد فترة القياس القصيرة استنادا الى علاقة الارتباط المستنتجة (انظر بحث القياسات المائية).**

**3- عند توافر قياسات للتصاريف لفترة قصيرة في الموقع المدروس وقياسات للهطول لفترة طويلة على الحوض المدروس.**

**هنا نستخدم أحد الموديلات التي تصف علاقة المطر بالجريان وذلك لتحديد التصاريف التي تنتج عن الهطولات.**

**4-لا توجد أي قياسات في الموقع المدروس مع وجود سلسلة قياسات طويلة للتصاريف في موقع مجاور.**

**نوجد علاقات تشابه بين الموقع المدروس والموقع المجاور.**

**5- عند توافر قياسات للهطول لفترة طويلة على الحوض المدروس.**

**لهذه الحالة نستعين بموديلات تحديد علاقة المطر بالجريان.**

**6- عند قياسات للهطول لفترة قصيرة على الحوض المدروس.**

**نسعى هنا إلى تمديد فترة القياسات ثم نتابع حسب الحالة (5).**

**7- عند عدم توافر أية قياسات. هنا نلجأ الى الطرائق التقريبية.**

## 8-2- حساب التصاريف الأعظمية باستخدام الطرق الإحصائية:

### 8-2-1- حساب التصاريف الأعظمية باستخدام تابع توزيع غمبل (Type I):

**يستخدم تابع توزيع غمبل لحساب التصاريف الأعظمية باحتمال معين بعد الحصول على الثوابت الإحصائية لسلسلة القياسات المتوافرة والتي تكون عادة قيماً سنوية عظمى (كالتصاريف الأعظمية أو الهطولات الأعظمية).**

**لحساب القيمة العظمى لتصريف (HQ) لفترة تكرار (T) أي نستخدم العلاقة المعروفة التالية:**

$$HQ_{(T)} = \overline{HQ} + K(T).\sigma \qquad \textbf{(98)}$$

**والتي تأخذ الشكل العام التالي:**

$$x_{(T)} = \bar{x} + K(T).\sigma \qquad \textbf{(99)}$$

**حيث:**

$\overline{HQ}, \bar{x}$ **القيم الوسطية**

$\sigma$ **الانحراف المعياري.**

$HQ_{(T)}$ , $x_{(T)}$ **قيمة (x) أو ( HQ) التي تتكرر كل (T) سنة.**

**K(T) - ثابت التوزيع ويحدد حسب تابع التوزيع الاحتمالي المختار.**

**لتابع توزيع غمبل الشكل التالي:**

$$\Phi_u(x) = e^{-e^{-y}} \qquad \textbf{(100)}$$

$$y = a\,(x - Mo) \qquad (101)$$

**أما K(T) فيعطى بالنسبة لتوزيع غمبل بالعلاقة:**

$$K(T) = -\frac{\sqrt{6}}{\pi}(\gamma + \ln.\ln\frac{T}{T-1}) \qquad (102)$$

$\gamma = 0{,}5772$ **ثابت أويلر**

**تحدد ثوابت تابع توزيع غمبل بطريقتين هما طريقة غمبل وطريقة العزوم، انظر المعادلة (101).**

**1- <u>طريقة العزوم :</u>**

**يحدد الثابت ( a ) من العلاقة:**

$$a = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} = \frac{1{,}2826}{\sigma} \qquad (103)$$

**يحسب معيار التوزيع (Mo) من العلاقة:**

$$Mo = \bar{x} - 0{,}5772\frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma \qquad (104)$$

$$Mo = \bar{x} - 0{,}45\sigma \qquad (105)$$

**بهذا نحسب القيمة ($x_T$) باستخدام المعادلة (99).** $\bar{x}$ **القيمة المتوسطة**

**2-<u>طريقة غمبل:</u>**

**يحدد الثابت ( a) من العلاقة التالية :**

$$\frac{1}{a} = \frac{\sigma}{\sigma_n} \qquad (106)$$

**يحدد معيار التوزيع من العلاقة التالية:**

$$Mo = \bar{x} - y_n\frac{\sigma}{\sigma_n} \qquad (107)$$

| حجم العينة n | فترة الرجوع T | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 75 | 100 | 1000 |
| 15 | 0.967 | 1.703 | 2.117 | 2.41 | 2.632 | 3.321 | 3.721 | 4.004 | 6.265 |
| 20 | 0.919 | 1.625 | 2.023 | 2.302 | 2.517 | 3.179 | 3.563 | 3.836 | 6.006 |
| 25 | 0.888 | 1.575 | 1.963 | 2.235 | 2.444 | 3.088 | 3.463 | 3.729 | 5.842 |
| 30 | 0.866 | 1.541 | 1.922 | 2.188 | 2.393 | 3.026 | 3.393 | 3.653 | 5.727 |
| 35 | 0.851 | 1.516 | 1.891 | 2.152 | 2.354 | 2.979 | 3.341 | 3.598 | |
| 40 | 0.838 | 1.495 | 1.866 | 2.126 | 2.326 | 2.943 | 3.301 | 3.554 | 5.576 |
| 45 | 0.829 | 1.478 | 1.847 | 2.104 | 2.303 | 2.913 | 3.268 | 3.52 | |
| 50 | 0.82 | 1.466 | 1.831 | 2.086 | 2.283 | 2.889 | 3.241 | 3.491 | 5.478 |
| 55 | 0.813 | 1.455 | 1.818 | 2.071 | 2.267 | 2.869 | 3.219 | 3.467 | |
| 60 | 0.807 | 1.446 | 1.806 | 2.059 | 2.253 | 2.852 | 3.2 | 3.446 | |
| 65 | 0.801 | 1.437 | 1.796 | 2.048 | 2.241 | 2.837 | 3.183 | 3.429 | |
| 70 | 0.797 | 1.43 | 1.788 | 2.038 | 2.23 | 2.824 | 3.169 | 3.413 | 5.359 |
| 75 | 0.792 | 1.423 | 1.78 | 2.029 | 2.22 | 2.812 | 3.155 | 3.4 | |
| 80 | 0.788 | 1.417 | 1.773 | 2.02 | 2.212 | 2.802 | 3.145 | 3.387 | |
| 85 | 0.785 | 1.413 | 1.767 | 2.013 | 2.205 | 2.793 | 3.135 | 3.376 | |
| 90 | 0.782 | 1.409 | 1.762 | 2.007 | 2.198 | 2.785 | 3.125 | 3.367 | |
| 95 | 0.78 | 1.405 | 1.757 | 2.002 | 2.193 | 2.777 | 3.116 | 3.357 | |
| 100 | 0.779 | 1.401 | 1.752 | 1.998 | 2.187 | 2.77 | 3.109 | 3.349 | 5.261 |
| ∞ | 0.72 | 1.31 | 1.64 | 1.87 | 2.04 | 2.59 | 2.91 | 3.14 | 4.94 |

| n | Yn | σn |
|---|---|---|
| 15 | 5128 | 1.020 |
| 20 | 0.524 | 1.062 |
| 22 | 0.527 | 1.075 |
| 24 | 0.53 | 1.086 |
| 26 | 0.532 | 1.096 |
| 28 | 0.534 | 1.104 |
| 30 | 0.536 | 1.112 |
| 32 | 0.538 | 1.119 |
| 34 | 0.54 | 1.125 |
| 36 | 0.541 | 1.131 |
| 38 | 0.547 | 1.136 |
| 40 | 0.544 | 1.141 |
| 42 | 0.545 | 1.145 |
| 44 | 0.546 | 1.149 |
| 46 | 0.547 | 1.153 |
| 48 | 0.548 | 1.157 |
| 50 | 0.549 | 1.160 |
| 55 | 0.55 | 1.168 |
| 60 | 0.552 | 1.174 |
| 70 | 0.555 | 1.185 |
| 80 | 0.557 | 1.193 |
| 90 | 0.559 | 1.200 |
| 100 | 0.56 | 1.206 |
| 500 | 0.572 | 1.258 |
| 1000 | 0.575 | 1.268 |

**جدول (15)**

**تتعلق قيم $(y_n, \sigma_n)$ بعدد عناصر السلسلة المدروسة وتؤخذ من الجدول (15). تحسب قيمة التصريف الأعظمي لفترة تكرار (T) بالعلاقة التالية:**

$$x(T) = HQ_{(T)} = Mo + \frac{1}{a}.y(T) \qquad \textbf{(108)}$$

$$Y(T) = -\ln.\ln.\frac{T}{T-1} \qquad \textbf{(109)}$$

**لتوضيح خطوات حساب القيم العظمى باحتمال معين باستخدام تابع توزيع غمبل (Type I).**

## 8-3- السلاسل السنوية والسلاسل الجزئية :

**يقصد بالسلاسل السنوية السلاسل التي تتألف عناصرها من القيم السنوية العظمى .**

**عندما تتوافر سلسلة قياسات لفنرة قصيرة ( أقل من 15 سنة ) فيمكن هنا بدلا من تشكيل السلسلة الجزئية، بحيث نختار جميع قيم التصريف مثلا والتي هي أكبر من قيمة محددة نسميها قيمة العتبة ( Qs) . يجب التأكيد هنا الى أن الحصول على التصريف الأعظمي لفترة تكرار أكبر بكثير من من فترة القياس ليس صحيحا تماما.**

**أي نتجنب استنتاج التصريف الأعظمي لفترة تكرار تزيد على ضعف فترة القياس .**

**إن تحديد قيمة العتبة (Qs ) يجب ان يتم بعناية بحيث يمكن أن نختارها كأدنى قيمة تصريف سنوية أعظمية خلال فترة المراقبة . بحيث يصبح حجم السلسلة ( n= 5m) حيث (M) عدد سنوات القياس .**

**يتم عمليا اختيار قيمة ( Qs ) بحيث يصبح حجم السلسلة مساويا n= (2-3)M**

**عند استخدام السلاسل الجزئية في تقدير التصاريف العظمى لفترة تكرار (T* سنة) فإنه لتحديد قيمة ثابت التوزيع الاحتمالي $K_{(r)}$في العلاقات نستخدم القيمة (T) من المعادلة التالية:**

$$T = T^*(\frac{n}{M})$$

## 8-4- اختبار جودة تمثيل القيم التجريبية السنوية عبر توابع التوزيع الاحتمالية المستخدمة :

**من أجل معرفة أي من هذه التوابع تمثل بشكل أفضل القيم التجريبية لابد من القيام باختبار جودة التمثيل للقيم التجريبية عبر التوابع الاحتمالية وقد تم استخدام الاختبار $nw^2$ وتتلخص مراحل الاختبار بالخطوات التالية:**

1- **اختيار قيمة الضمان الاحتمالي (S) حيث S = (1-α)**

**α - معامل عدم الضمان والذي غالبا يؤخذ α = 0.05**

2- **حساب الاحتمالات التجريبية حيث نرتب القيم تصاعديا ونحسب احتمال عدم التجاوز.**

$$P_u(xi) = \frac{2m_i - 1}{2n}$$

**3- حساب قيم الاحتمالات النظرية استنادا إلى تابع التوزيع المختار.**

**4 - حساب قيمة $nw^2$ من العلاقة:**

$$nw^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^{n}\left(\Phi u\,(xi) - \frac{2*m(xi)-1}{2n}\right)^2$$

| $x_i$ | m | $\Phi(x_i)$ | $2\cdot m-1$ | $\frac{2\cdot m-1}{2\cdot n}$ | $\Phi(x)-\frac{2\cdot m-1}{2\cdot n}$ | $(\Phi(x)-\frac{2\cdot m-1}{2\cdot n})^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| min<br>-<br>-<br>-<br>max | | | | | | |
| | | | | | | $\Sigma$ |
| | | | | | | $nw^2$ |

**إذا كان $\Phi_{u(x\,i)} = P_{U(Xi)}$ فهذا يعني أن التمثيل جيد .**
**إذا كان $\Phi_{u(xi)} \neq P_{U(Xi)}$ عندها نقارن القيمة المحسوبة للدليل مع القيمة المسموحة حيث تتعلق القيمة المسموحة للدليل $nw^2$ بمعامل عدم الضمان $\alpha$.**

| $\alpha$ | 0.1 | 0.05 | 0.01 |
|---|---|---|---|
| $nw^2$ | 0.347 | 0.461 | 0.744 |
| $d(\alpha)$ | 1.22 | 1.36 | 1.63 |

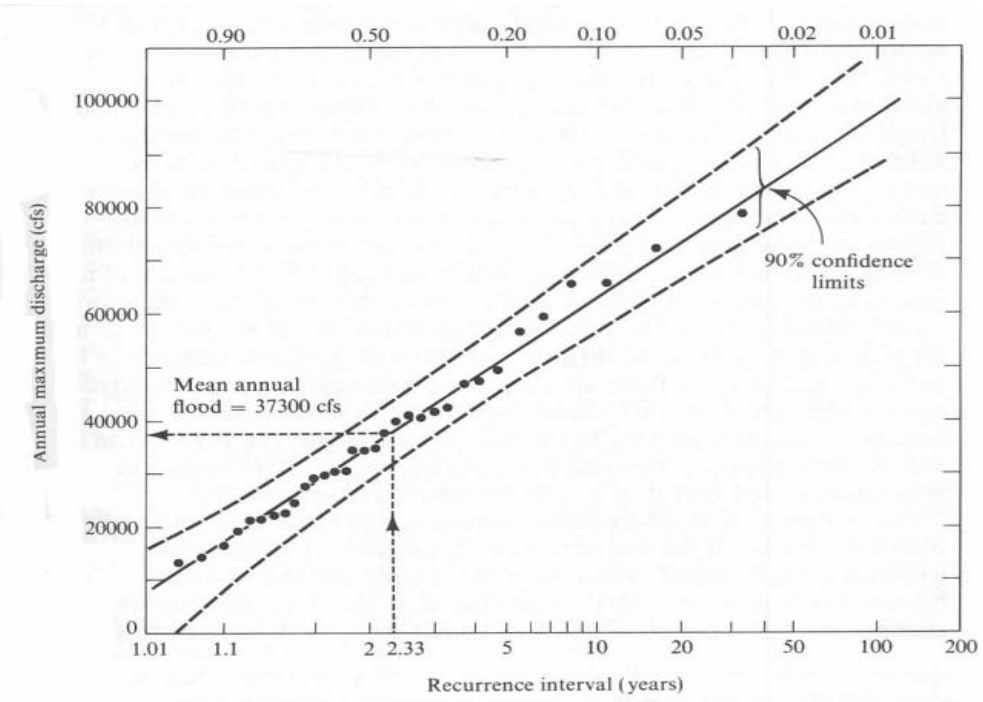
**جدول (16) قيم المسموحة $nw^2$ حسب قيمة $\alpha$**

## 5-8- مجال الثقة :

**عندما نقول إن ارتفاع الهطول (h) الذي يستمر (24ساعة) ويتكرر مرة كل عشر سنوات هو(86mm) فإن هذه القيمة تشكل في بعض الحالات أساساً غير كافٍ لتحديد التصاريف الأعظمية التي سنقوم على أساسها بتحديد أبعاد المنشآت الهندسية .**

**باحتمال مؤكد يمكن أن تقع قيمة ارتفاع الهطول التصميمي (h) أعلى أو أخفض من القيمة المستنتجة أعلاه والناتجة عن دراسة التكرارات. بشكل مشابه يصلح هذا التصور بالنسبة للتصاريف الأعظمية .**

**إن مجال الثقة هو الذي يحدد هذه الانحرافات عن القيمة المستنتجة بمعرفة معامل عدم الضمان $\alpha$ أو معامل الضمان $s=1-\alpha$ فإنه يمكن أن نستنتج هذه الانحرافات باستخدام العلاقات التالية**




**شكل (59) منحني**

## 8-6- المعادلة المنطقية لحساب التصاريف الأعظمية

**عندما لا تتوافر قياسات للتصاريف في موقع ما يكون من الضروري تحديد قيمة التصاريف الأعظمية الناتجة عن هطولات غزيرة.**

**ولذلك لابد من تحديد معامل الجريان الأعظمي (Y) لحوض التجميع وشدة الهطول الأعظمي الموافق لفترة تكرار معينة. حيث أن معامل الجريان هو الهطول الفعال على الهطول الكلي.**

**ترتبط قيمة التصريف الأعظمي دوماً باحتمال معين أو فترة تكرار معينة لذلك فإن قيمة الهطولات الغزيرة يجب أن ترتبط أيضاً بفترة التكرار نفسها التي يحسب لها التصريف.**

**تأخذ المعادلة المنطقية لحساب التصاريف الأعظمية الشكل التالي**

$$HQ = \Psi_s . PI . \frac{A}{3,6} \qquad \mathbf{m^3/s}$$

**في هذه المعادلة:**

**PI – تقدر ب(mm/h).  A - تقدر ب($Km^2$).  HQ- تقدر ب($m^3/s$).**

# الفهرس


| | |
|---|---|
| الفصل الأول: الهيدرولوجيا والمناخ | 2 |
| 1-5- أقسام الهيدرولوجيا: | 2 |
| 1-6- كمية المياه في الطبيعة | 3 |
| 1-7- الدورة الهيدرولوجية | 4 |
| 1-8- المناخ : | 8 |
| أولاً: الضغط الجوي: | 8 |
| ثانياً: الإشعاع الشمسي: | 9 |
| ثالثاً: الرطوبة: | 10 |
| رابعاً: التكاثف: | 11 |
| خامساً : الرياح: | 12 |
| سادساً : الحرارة : | 13 |
| الفصل الثاني: الموازنة المائية وموازنة الطاقة | 14 |
| 2-1- معادلة الموازنة المائية | 14 |
| 2-2- معادلة موازنة الطاقة | 16 |
| الفصل الثالث : القياسات المائية | 17 |
| 3-4- قياس المناسيب المائية | 17 |
| 3-5- قياس التصاريف في المجاري المائية المكشوفة | 18 |
| 3-6- منحني مفتاح التصاريف Rating Curve | 23 |
| 3-7- تمثيل متحولات عشوائية وفق منحنيات رياضية | 24 |
| الفصل الرابع: الخواص المورفولوجية للأحواض الساكبة | 26 |
| 4-3- الحوض الساكب | 26 |
| 4-4- مواصفات الحوض الساكب الفيزيائية | 28 |
| 1- مساحة الحوض الساكب | 28 |
| 2- شكل الحوض الساكب | 29 |
| 3- اتجاه الحوض الساكب | 30 |
| 4- متوسط ارتفاع الحوض الساكب | 30 |
| 5- متوسط ميل الحوض الصباب ($J_o$) | 31 |

6- علاقة مساحة الحوض الصباب بالارتفاع عن سطح البحر 31
7- مخطط تنامي مساحة الحوض الساكب 31

3-4- الشبكة النهرية 32
6- تسمية وترتيب الشبكة النهرية 32
7- المخطط الهيدرولوجي الوصفي للمسيلات 33
8- كثافة الشبكة النهرية (D) 33
9- تعرج النهر Φ 34
10- ميل المسيل (J) 34

الفصل الخامس: الهطولات 36

1-5- الشروط الواجب توفرها للحصول على قياسات موثوقة 36

2-5 - أجهزة قياس الهطول 36

1- أجهزة قياس الهطول العادية 37

2- أجهزة قياس الهطول الألية 38

3-5- معالجة معطيات قياس الهطول 39

4-5- تصحيح قياسات الهطول 39

5-5- تقدير ارتفاع الهطول الوسطي في منطقة ما 40
6-5- تمثيل نتائج القياسات المطرية 42

1-6-5- مواصفات الهطول 42
2-6-5- التغير الزماني والمكاني للهطولات المطرية 44
3-6-5- الأمطار الغزيرة والأمطار التصميمية 44
4-6-5- تحليل بيانات الهطول 45

الفصل السادس: علاقة المطر بالجريان السطحي 46

5-6- مقدمة 46
6-6- زمن التركيز ($T_C$) 49
7-6- تقدير الجريان السطحي 53

1-3-6- طرائق تقدير الجريان السطحي 54

2- حسب دليل التسرب (Φ) 54

3- حسب نظرية التسرب 55
4- الطريقة الأميركية في تحديد نوع التربة والغطاء النباتي (SCS) 57
5- تقدير الجريان السطحي باستخدام معاملات الجريان 61
6-8- تركيز الجريان 64
6-4-1- منحنى الواحدة Unit Hydrograph (UH) 66
6-4-1-1- استنتاج منحنى الواحدة بمعرفة منحنى التصريف 67
6-4-1-2- استنتاج منحني التصريف الناتج عن شدة هطول معينة باستخدام منحني الواحدة 67
6-4-1-3- استنتاج منحني الواحدة لفترات هطول مختلفة 69
6-4-1-4- منحنيات الواحدة الاصطناعية 71
6-5- انتقال الفيضانات عبر المجاري المائية –طريقة مسكنجم:Muskingum-Method 73
6-6- انتقال الفيضانات عبر بحيرات السدود 76
الفصل السابع: تطبيق نظرية الاحتمالات والإحصاء الرياضي في الهيدرولوجيا 78
7-1- مقدمة 78
7-2- التحليل الأولي للقياسات الهيدرولوجية 79
7-2-1- الثوابت الإحصائية الأولية 79
7-2-2 - التكرار المطلق 80
7-2-3- التكرار النسبي 81
7-2-4 – مجموع التكرار – منحني الاستمرار 82
7-3- التحليل الاحتمالي للمعطيات الهيدرولوجية 83
7-3-1 – الاحتمال 83
7-3-2 - فترة التكرار 85
7-4- توابع التوزيع الاحتمالية 86
7-4-1- الاحتمالات التجريبية 86
7-4-2- تابع توزيع غاوص 87

7-4-3- تابع توزيع القيم الحدية لـ (Gumbel) 91

الفصل الثامن: حساب التصاريف الأعظمية 94

8-1- مقدمة 94

8-2- حساب التصاريف الأعظمية باستخدام الطرق الإحصائية 96

8-6-1-حساب التصاريف الأعظمية باستخدام تابع توزيع غمبل (Type I) 96

8-7- السلاسل السنوية والسلاسل الجزئية 99

8-8- اختبار جودة تمثيل القيم التجريبية السنوية عبر توابع التوزيع الاحتمالية المستخدمة 99

8-9- مجال الثقة 100

8-10-المعادلة المنطقية لحساب التصاريف الأعظمية 101