

التحليل الهيدرولوجي

HYDROLOGIC ANALYSES

يشمل موضوع الهيدرولوجيا (علم المياه)، دراسة وتحليل حدوث، وتدفق، وتوزيع الماء خلال الدورة الهيدرولوجية، والتي تشمل نقل الرطوبة من المحيط إلى الجو، وسطح الأرض، ثم العودة إلى المحيط. وتكون التحليلات الهيدرولوجية مطلوبة في معظم المشروعات التي تشمل التخطيط، أو التصميم، أو الإنشاء، أو الترميم، أو المعالجة، أو تقييم الجدوى للأنواع المختلفة من المباني. وبرغم أن أنواع التحليلات الهيدرولوجية المطلوبة لأنواع مختلفة من المشروعات ربما تكون مختلفة بعض الشيء، إلا أن المبادئ الأساسية والمنهجيات تكون متماثلة بوجه عام. والتحليلات الهيدرولوجية الشائعة الاستخدام للأنواع المختلفة من المشروعات تشمل التالي:

١- مشروعات التنمية الاجتماعية

- تحليل شدة سقوط المطر - المدة - التكرار أو تحليل سقوط المطر - العمق - المدة - التكرار.

- تقدير قمم التدفقات السابقة واللاحقة لتصميم أنظمة صرف العواصف، ومعايرة البرابخ والجسور، ودراسات تأمين الفيضان، وتخطيط السهل الفيضي.

- تطوير وتحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي للتدفق المفاجئ لتصميم أحواض الاحتجاز/ التوقيف والأراضي الرطبة.

• تحليل حصيلة الماء في المجاري المائية والخزانات وأحواض الصرف.

٢- مشروعات التعدين

• تقدير قمم التدفقات لتصميم قنوات التحويل.

• تطوير وتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لتصميم أحواض الترسيب

وأربطة النفايات.

• تقييم خصائص التدفق المنخفض للمجاري المائية المستقبلية لترسب ماء

المنجم الفائض.

• تقدير الجريان السطحي الذي ينتج أحواض الصرف المحتملة بما فيها

انسياب الجليد الذائب.

• تقدير أحوال التعدين السابقة واللاحقة للتقارير البيئية.

٣- السدود، والخزانات، والمقائض

• إنتاج متابعات من تدفقات المجاري المائية لتقييم حصيلة حوض الصرف.

• التحليلات الهيدرولوجية لمعرفة الاعتمادية على إمداد المياه المتاح.

• التحليلات الهيدرولوجية لحساب تخزين الخزان المطلوب.

• تحديد المنحنيات المائية لتصميم حوض الفيضان في المقائض الذي تساهم به

نزول الأمطار وذوبان الجليد أو كلاهما.

• تحديد الخزان لمعايرة المقائض والخزانات والسدود.

• تحليل تشغيل الخزان للاستخدام المنفرد والمتعدد للمياه المتاحة.

• تحليل التدفق المنخفض للمجرى المائي لحساب متطلبات تدفق المجرى

المائي.

• تحليل تصدع السد لتقييم السلامة وتحليل المخاطر.

• تقييم الظروف السابقة واللاحقة لفيضان المشروع وتدفق المجاري المائية لأجل عمل التقارير البيئية.

٤- مشروعات الطاقة الكهرومائية

- توليد متتابعات من تدفقات المجاري المائية لتقييم حصيلة حوض الصرف.
- التحليلات الهيدرولوجية لحساب قابلية الاعتماد على إمداد الماء المتاح.
- دراسات تشغيل الخزان لحساب القمة والكمية الثابتة لجهد توليد الطاقة.
- التقييم السابق واللاحق لأنماط تدفق المجاري المائية في المشروع يومياً وشهرياً.

٥- مشروعات الطاقة النووية

- تقدير أقصى تسريب محتمل أثناء العواصف محلياً وبشكل عام.
- تحديد أقصى فيضان محتمل وتصميم المنحنيات المائية لفيضان حوض النهر.
- تحديد المنحنيات المائية لفيضان تصدع السد.
- تحديد المنحنيات المائية للحدث المتحد (مثلاً، ذوبان الجليد المتحد مع أقل من أقصى حدث تسريب محتمل).

• تقدير التدفقات المنخفضة للمجاري المائية لتقييم أثار تراجع مياه التبريد لترسبات الماء الفائض من محطة الطاقة.

• تقدير أقصى حمل جليد محتمل على المباني المتعلقة بالسلامة.

وبشكل عام، فإن التقارير البيئية لمعظم مشروعات التطوير تتطلب التقييم السابق واللاحق لتدفقات المجاري المائية يومياً وشهرياً، والمنحنيات المائية للفيضان، وتدفقات القمة، والتدفقات المنخفضة للمجاري المائية في الجوار القريب من الموقع.

التحليلات الهيدرولوجية المطلوبة للتسهيلات المذكورة أعلاه يتم وصفها في الأجزاء اللاحقة من هذا الفصل.

تقدير تدفقات القمة

Estimation of Peak Flows

تكون تقديرات تدفقات القمة مطلوبة لأجل التصميمات الهيدروليكية للجسور والبرابيح، وتحليلات شكل سطح الماء لأجل دراسات تأمين الفيضان، ولتقييم الفيضان المحتمل في مواقع مختلفة. من المرغوب فيه عمل تقدير لتدفقات القمة باستخدام طرق عديدة مختلفة واختيار القيم المعقولة عن طريق الحكم. بعض الطرق شائعة الاستخدام لتحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي يتم وصفها في هذا الجزء تحت عنوان "المنحنيات المائية للجريان السطحي". ويمكن استخدام المنحنيات المائية للجريان السطحي كذلك لتقدير تدفقات القمة.

الطريقة المنطقية Rational Method

المعادلة المنطقية لتقدير تدفقات القمة هي:

$$Q = 0.2755 C I A \quad (٢,١)$$

حيث إن:

Q = تدفق القمة (م^٣/ث).

C = معامل الجريان السطحي (لابعدي) المقدر عن طريق الحكم في ضوء

القيم النموذجية المعطاة في الجدول رقم (٢,١).

I = شدة سقوط المطر في فترة العودة المطلوبة، المناظرة للمدة المساوية لـ زمن

تركيز حوض الصرف (مم/ساعة).

A = مساحة حوض الصرف (كم^٢).

وهذه الطريقة مفيدة لتقدير تدفقات القمة لفترات العودة المختلفة لأحواض صرف بمساحة أقل من ٢,٥ كم^٢، برغم أن المبادئ الأساسية لأحواض الصرف يمكن أن تكون قابلة للتطبيق على مساحات تصريف أكبر أيضاً.

معاملات الجريان السطحي Runoff Coefficients

القيم شائعة الاستخدام لمعاملات الجريان السطحي موضحة في الجدول رقم (٢, ١) (ASCE 1976). والقيم المعطاة في الجدول رقم (٢, ١) قابلة للتطبيق للعواصف التي تمتد فترات عودتها من خمس سنوات إلى عشر سنوات. والقيم الأعلى يمكن استخدامها لفترات عودة أكبر ولأنواع تربة طفلية متماسكة. وفي حالة أحواض صرف تشمل أنواع مختلفة من المساحات، يمكن حساب معامل الجريان السطحي الموزون أو المركب باستخدام العلاقة:

$$C = (C_1 A_1 + C_2 A_2 + C_3 A_3 + \dots C_n A_n) / A_t \quad (٢,٢)$$

حيث إن:

C = معامل الجريان السطحي المركب.

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ = معاملات الجريان السطحي التي تطبق على مساحات

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ ، على الترتيب.

n = عدد الأنواع المختلفة من المساحات داخل حوض الصرف.

A_t = المساحة الكلية = $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$.

زمن التركيز Time of Concentration

يعرف زمن التركيز على أنه الزمن المستغرق من قبل الجريان السطحي للانتقال من أعلى نقطة في التجمع المائي إلى النقطة الذي سيصدر عنها تدفق القمة. وقد تم اقتراح طرق متعددة لتقدير زمن التركيز (MacCuen et al. 1984; USBR 1977, 1987).

الجدول رقم (٢, ١). قيم معاملات الجريان السطحي شائعة الاستخدام.

وصف المنطقة	معامل الجريان السطحي
المناطق التجارية بوسط البلد	٠,٧٠ - ٠,٩٥
المناطق التجارية المجاورة	٠,٥٠ - ٠,٧٠
مناطق إقامة العائلات	٠,٣٠ - ٠,٥٠
المناطق السكنية متعددة الوحدات المنفصلة	٠,٤٠ - ٠,٦٠
المناطق السكنية المتصلة	٠,٦٠ - ٠,٧٥
الضواحي السكنية	٠,٢٥ - ٠,٤٠
الشقق	٠,٥٠ - ٠,٧٠
المناطق الصناعية غير الكثيفة	٠,٥٠ - ٠,٨٠
المناطق الصناعية الكثيفة	٠,٦٠ - ٠,٩٠
الحدائق والمقابر	٠,١٠ - ٠,٢٥
الملاعب	٠,٢٠ - ٠,٣٥
السكك الحديدية	٠,٢٠ - ٠,٣٥
الطرق غير الممهدة	٠,١٠ - ٠,٣٠
الطرق الممهدة بالاسمنت	٠,٧٠ - ٠,٩٥
الأرصقة أو الخرسانة	٠,٧٠ - ٠,٨٥
الأسطح	٠,٧٥ - ٠,٩٥
أرض خضراء ذات تربة رملية (أفقية إلى ميل ٢٪)	٠,٠٥ - ٠,١٠
أرض خضراء ذات تربة رملية (ميل من ٢٪ إلى ٧٪)	٠,١٠ - ٠,١٥
أرض خضراء ذات تربة رملية (ميل أكبر من ٧٪)	٠,١٥ - ٠,٢٠
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (أفقية إلى ميل ٢٪)	٠,١٣ - ٠,١٧
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (ميل من ٢٪ إلى ٧٪)	٠,١٨ - ٠,٢٢
أرض خضراء ذات تربة ثقيلة (ميل أكبر من ٧٪)	٠,٢٥ - ٠,٣٥

ومن الممارسة الجيدة استخدام ثلاث طرق مختلفة على الأقل لتقدير زمن التركيز. وعلى مدى هذه التقديرات، فإن القيمة النهائية يجب أن يتم اختيارها عن طريق الحكم. بعض الطرق البسيطة والمفيدة نسبياً موضحة أدناه.

١ - طريقة كريبيش (USBR 1977)

$$(٢,٣) \quad t_c = (0.87 L^3 / H)^{0.385}$$

حيث إن:

t_c = زمن التركيز (ساعة).

L = طول أطول مسار للماء (كم).

H = الفرق في الارتفاع بين أعلى نقطة للتجمع المائي والموضع الذي يقدر

عنده معدل التصريف (م).

تؤدي هذه الطريقة إلى تقديرات منخفضة نسبياً لقيمة t_c (Prakash 1987).

٢ - طريقة رقم منحني خدمة المحافظة على التربة (USDA 1972, 1985)

$$(٢,٤) \quad t_L = 1.347 L_f^{0.8} (S_a + 2.54)^{0.7} / (1900 \sqrt{S_p})$$

$$(٢,٥) \quad t_L = 0.6 t_c$$

$$(٢,٦) \quad S_a = (2540 / CN) - 25.4$$

حيث إن:

t_L = زمن تأخر حوض النهر (ساعة).

L_f = الطول الهيدروليكي للمجرى المائي (م).

CN = رقم منحني مجرى الماء.

S_a = أقصى احتباس محتمل (سم).

S_p = متوسط ميل أرض المجرى المائي (نسبة مئوية).

وقد وجد أن هذه الطريقة تؤدي إلى قيمة كبيرة نسبياً لـ t_L (Prakash 1987).

٣- طريقة سنيدر (Chow 1964)

$$t_L = 0.7517 C_t (L L_{ca})^{0.3} \quad (٢,٧)$$

حيث إن:

L_{ca} = الطول على امتداد أطول مسار للماء من الموضع الذي سيتم عنده تقدير التصريف إلى مركز متوسط مجرى الماء (كم).

C_t = معامل.

ويمكن اعتبار قيمة C_t على أنها تساوي ٢,٠ لأحواض الصرف الجبلية الضخمة بعض الشيء الشبيهة بمرتفعات أبالتشاين، وتساوي ٠,٤ لأحواض الصرف الشبيهة بتلك التي توجد في جنوب كاليفورنيا، ومن ٠,٧ إلى ١,٠ لأحواض الصرف الشبيهة بمناطق سيرا نيفادا، وتساوي ٨,٠ لأحواض الصرف التي تحد الخليج الشرقي للمكسيك. وقد أدى تحليل ٢٠ حوض نهر في شمال ووسط الولايات الأطلنطية إلى العلاقة العملية:

$$C_t = 0.6 / \sqrt{S} \quad (٢,٨)$$

حيث إن:

S = ميل حوض النهر (م/م). ويقدر الإمكان ينصح باستخدام قيم C_t المعاييرة.

٤- طريقة مكتب استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة (USBR 1987)

$$t_L = 4.6167 K_n [L L_{ca} / S^{0.5}]^{0.33} \quad (٢,٩)$$

حيث إن:

S = ميل أطول مسار للماء (م/م).

K_n = معامل (القيم النموذجية معطاة في الجدول رقم ٢,٢).

الجدول رقم (٢،٢). قيم K_n النموذجية.

الإقليم	حجم مجمع الأمطار (كم ^٢)	K_n^*
السهول العظمى في كلورادو، كنساس، أوكلاهوما، نبرسكا، نيومكسيكو، ومنج، وشمال داكوتا.	١٠٢٨٠ - ٥,٢	٠,٠٧٠ للبحيرات ذات التدفق السطحي الكبير. ٠,٠٣٠ للبحيرات ذات شبكات الصرف جيدة التصميم.
جبال الروكي ومستنقعات كلورادو، ومنج، يوتا، أوريجون، مونتانا، أيداهو، ونيو مكسيكو.	٦٥٠٠ - ٣,٤	٠,٢٦٠ للفيضانات في ١٠٠ عام. ٠,١٣٠ - ٠,١٦٠ للعاصفة العامة في أقصى تدفق محتمل.
الصحراء الجنوب غربية والبحيرات الكبرى وسهل كلورادو في أريزونا وكاليفورنيا وأجزاء من كلورادو	١٢٢٥٠ - ٠,٦	٠,٠٥٥ - ٠,٠٧٣ لأحداث العواصف الرعدية. ٠,٠٧٠ للبحيرات ذات غابات الصنوبر على ارتفاعات عالية. ٠,٠٤٢ للمناطق الصحراوية.
سيرانيفادا، كاليفورنيا	٥٣٧٠ - ٥٣,٤	٠,١٥٠ للبحيرات ذات النمو الصنوبري الغني. ٠,٠٦٤ للبحيرات ذات شبكات الصرف جيدة التطوير.
ساحل وسلاسل جبال كاسكاد في كاليفورنيا وأريجون ووشنطن.	١٩٨٠ - ٨,٧	٠,١٥٠ للبحيرات ذات النمو الصنوبري الكثيف الممتد في السهل الفيضي للشاطئ. ٠,٠٨٠ للبحيرات المنخفضة ذات الغطاء النباتي الأكثر تناثرا.

تابع الجدول رقم (٢,٢).

الإقليم	حجم مجمع الأمطار (كم ^٢)	K_n^*
البحيرات في مدن كاليفورنيا وتكساس وكتاكي وفرجينيا وميريلاند.	٠,٥ - ٢٣٨	٠,٠٣٣ للبحيرات ذات الكثافة القليلة أو التطوير الجزئي مع مباني ثانوية فقط لجمع مياه الفيضان.
		٠,٠١٣ للبحيرات ذات الكثافة العالية في التطوير مع نظام جمع جيد.

* القيم ما بين الحدود العليا والدنيا الموضحة تصلح للاستخدام في البحيرات ذات الخصائص المتوسطة.

المصدر: (USBR (1987).

٥ - طريقة هيدروليكا المجرى المائي

يقسم مجرى الماء إلى أجزاء مختلفة على طول مسار الماء الأساسي اعتماداً على خصائص الخشونة والميل. ويتم تقدير طول مسار السريان ومتوسط سرعة السريان لكل جزء. إذن:

$$(٢,١٠) \quad t_c = [L_1/V_1 + L_2/V_2 + L_3/V_3 + \dots + L_n/V_n]/3600$$

حيث إن:

 $n =$ عدد الأجزاء. $L_n, \dots, L_3, L_2, L_1 =$ أطوال أجزاء المجرى المائي (م) ذات خصائص

الخشونة والميل المختلفة.

 $V_n, \dots, V_3, V_2, V_1 =$ سرعات السريان السطحي أو في القناة (م/ث) الخاصة

بكل جزء من أجزاء المجرى المائي.

- ويمكن تقدير سرعات السريان باستخدام معادلة مانتيغ لذروة عامين أو لتسرب الشاطئ في حالة القنوات المحددة جيداً والقيم المعطاة في الجدول رقم (٢,٣) للتدفق السطحي (USDA 1972). "النوع" في الجدول رقم (٢,٣) يشير إلى:
- نوع ١: التدفق السطحي على مناطق الغابات ذات النفايات الأرضية الكثيفة ومروج الدريس.
 - نوع ٢: التدفق السطحي على الأرض المحروثة أو المناطق الزراعية الأقل حراثة والأراضي التي تمحصد خطياً أو كتورياً والغابات.
 - نوع ٣: التدفق السطحي على مراعي الحشائش القصيرة.
 - نوع ٤: التدفق السطحي على المناطق المزروعة على شكل صفوف مستقيمة.
 - نوع ٥: التدفق السطحي على المساحات الجرداء تقريباً أو الغير محروثة والمراوح الغرينية في مناطق الجبال الغربية.
 - نوع ٦: التدفق في المجاري المائية المزروعة بالحشائش.
 - نوع ٧: التدفق الرقائقي على المناطق الممهدة والأخاديد الصغيرة المرتفعة.

الجدول رقم (٢,٣). سرعات السريان السطحي التقريبية (سم/ث).

ميل الأرض (%)	النوع ١	النوع ٢	النوع ٣	النوع ٤	النوع ٥	النوع ٦	النوع ٧
٠,٥	٦	١١	١٥	٢٠	٢٢	٣٤	٤٣
١,٠	٨	١٥	٢١	٢٧	٣١	٤٦	٦١
٢,٠	١١	٢١	٣١	٤٠	٤٣	٦٤	٨٨
٣,٠	١٣	٢٧	٤٠	٤٩	٥٥	٨٢	١٠٧
٤,٠	١٥	٣١	٤٣	٥٥	٦١	٩١	١٢٢
٥,٠	١٧	٣٧	٤٩	٦١	٧٠	١٠٤	١٣٧

تابع الجدول رقم (٢,٣). سرعات السريان السطحي التقريبية (سم/ث).

ميل الأرض							نوع السطح
(%)	النوع ١	النوع ٢	النوع ٣	النوع ٤	النوع ٥	النوع ٦	
١٠,٠	٢٤	٤٩	٦٧	٨٨	٩٨	١٥٠	النوع ٧
٢٠,٠	٣٥	٦٩	٩٨	١٢٢	١٣٧	٢١٠	
٣٠,٠	٤٣	٨٢	١١٩	١٥٢	١٧١	٢٥٦	
٤٠,٠	٤٩	٩٨	١٣٧	١٨٠	١٩٨	٢٩٠	
٥٠,٠	٥٥	١٠٧	١٥٢	١٩٨	٢١٣	٣٥٥	
٦٠,٠	٦١	١٢٢	١٦٨	٢١٣	٢٤٤	٣٦٦	

المصدر: (USDA (1972, 1985).

معادلة السريان الطبقي (USDA 1986)

المعادلة العملية لتقدير زمن الانتقال للتدفق الطبقي لأقل من حوالي ٩٠ م على

الأسطح المستوية أو في منابع المجاري المائية هي:

$$t_e = \left[0.0289 (n L)^{0.8} \right] / \left[P_2^{0.5} S^{0.4} \right] \quad (٢,١١)$$

حيث إن:

t_e = زمن الانتقال (ساعة).

L = طول السريان (م).

P_2 = معدل المطر في ٢٤ ساعة خلال عامين (سم).

S = ميل الأرض (م/م).

n = معامل مانتيق للخشونة.

والقيم النموذجية لمعامل مانتيق للخشونة في حالة السريان الطبقي مبينة في الجدول

رقم (٢,٤).

الجدول رقم (٢، ٤). قيم معامل ماننق n النموذجية للسريان الطبقي.

معامل ماننق n	وصف الأسطح
٠,٠١١	ناعم (خرسانة، اسفلت، حصي، تربة جرداء)
٠,٠٥	أرض مراحة من الزراعة (بدون بقايا)
٠,٠٦	أرض مزروعة الغطاء المتبقي $\geq 20\%$
٠,١٧	أرض مزروعة الغطاء المتبقي $< 20\%$
٠,١٥	عشب (قصير)
٠,٢٤	عشب (كثيف)
٠,٤١	عشب (برمودا)
٠,١٣	سلاسل جبال (طبيعية)
٠,٤٠	غابات (شجيرات خفيفة)
٠,٨٠	غابات (شجيرات كثيفة)

المصدر: USDA (1986).

سرعات السريان المتوسطة في حالة التدفقات الضحلة المركزة على الميول

المسطحة نسبياً الأقل من ٠,٠٠٥ م/م يمكن تقديرها عن طريق (USDA 1986):

$$(2, 12) \quad V = 4.9176 \sqrt{S} \quad \text{الأسطح غير الممهدة:}$$

$$(2, 13) \quad V = 6.1957 \sqrt{S} \quad \text{الأسطح الممهدة:}$$

حيث إن:

$$V = \text{سرعة السريان (م/ث).}$$

$$S = \text{ميل سطح الماء (م/م).}$$

٦- طريقة هيربي- هاثاواي (MacCuen et al. 1984)

$$(2, 14) \quad T_c = 0.02407 L_f^{0.47} n^{0.47} S_f^{-0.235}$$

حيث إن:

L_f = مسافة الخط المستقيم (م) من أبعد نقطة في مجرى الماء إلى النقطة تحت

الدراسة التي يتم قياسها بموازاة الميل.

S_f = متوسط ميل حوض النهر (م/م).

n = معامل الإعاقة أو معامل ماننق للخشونة.

قيم معامل الإعاقة n ، النموذجية موضحة في الجدول رقم (٢, ٥) (USCE 1959).

وقد تم تطوير الطرق المذكورة سابقاً لأحجام وأنواع معينة من أحواض

الصرف. مع هذا، فإن تطبيقهم على أنواع أخرى من أحواض الصرف أمر شائع تماماً.

ويجب اختيار قيم ملائمة من أزمنة التركيز مع مراعاة ظروف أحواض الصرف.

الجدول رقم (٢, ٥). قيم معامل الإعاقة n النموذجية.

نوع السطح	معامل الإعاقة n
سطح ناعم غير منفذ للماء	٠,٠٢
تربة ناعمة قاحلة	٠,١٠
حشائش فقيرة أو محاصيل أو أسطح قاحلة متوسطة الخشونة	٠,٢٠
مراعي وحشائش	٠,٤٠
غابات نفضية	٠,٦٠
غابات صنوبرية ونفضية بها كم هائل من الأوراق المتساقطة والحشائش الكثيفة	٠,٨٠

المصدر: (ASCE 1959).

مثال رقم (٢, ١): احسب زمن التركيز لحوض صرف بمساحة ١٢ كم^٢ موضوع في

الأركان الأربعة لمنطقة في الجنوب الغربي للولايات المتحدة (ركن كلورادو ويوتا

ونيو مكسيكو وأريزونا). متغيرات حوض الصرف المناسبة هي:

$$L = 5.18 \text{ km}$$

طول حوض الصرف

$$S = 0.057 \text{ m/m}$$

$$CN = 76$$

$$K_n = 0.045$$

$$C_t = 0.4$$

$$L_{ca} = 2.59 \text{ km}$$

وأسطح التربة تقريباً جرداء مع بعض الحبيبات الغرينية.

الحل:

استخدم طرق متعددة لحساب t_e واختار القيمة الملائمة عن طريق الحكم.

١- طريقة كرييتش - المعادلة رقم (٢,٣)

$$H = 5.18 \times 1000 \times 0.057 = 295.26 \text{ m}$$

$$t_e = [0.87 (5.18)^3 / 295.26]^{0.385} = 0.71 \text{ h}$$

٢- طريقة خدمة المحافظة على التربة - المعادلات رقم (٢,٤ - ٢,٦)

$$S_a = (2540 / 76) - 25.4 = 8.021 \text{ cm}$$

$$t_L = 1.347 (5180)^{0.8} (8.021 + 25.4)^{0.7} / [1900 (0.057 \times 100)] = 1.448 \text{ h}$$

$$t_e = 1.448 / 0.6 = 2.41 \text{ h}$$

٣- طريقة سنيدر - المعادلة رقم (٢,٧)

$$t_L = 0.7517 \times 0.4 (5.18 \times 2.59)^{0.3} = 0.665 \text{ h}$$

$$t_e = 0.655 / 0.6 = 1.09 \text{ h}$$

٤- طريقة مكتب استصلاح الأراضي بالولايات المتحدة - المعادلة رقم (٢,٩)

$$t_L = 4.6169 \times 0.045 [(5.18 \times 2.59) / (0.057)^{0.5}]^{0.33} = 0.785 \text{ h}$$

$$t_e = 0.785 / 0.6 = 1.31 \text{ h}$$

٥- طريقة هيدروليكا المجرى المائي - المعادلة رقم (٢,١٠)

سرعة السريان السطحي تساوي ٧٤ سم/ث (من الجدول رقم ٢,٣)

$$t_e = 5.18 \times 1000 / (0.74 \times 3600) = 1.94 \text{ h}$$

تتفاوت تقديرات حساب زمن التركيز من ٠,٧١ ساعة إلى ٢,٤١ ساعة. ويتضح أن قيمة الوسيط ١,٣١ ساعة هي التقريب المعقول. وهي أيضاً قريبة لمتوسط الخمس تقديرات.

شدة المطر (شدة التساقط) Rainfall Intensity

يمكن الحصول على شدة المطر لفترات عودة مختلفة ومناظرة لمدد مختلفة (مثلاً، أزمنة التركيز) من NOAA أطلس 2 للولايات الغربية الإحدى عشر: مونتانا وكولورادو ونيو مكسيكو وأيداهو ويوتا ونيفاذا وأريزونا وواشنطن وأويجون وكاليفورنيا (NOAA 1973). قامت بعض الولايات والمدن بتطوير منحني تكرار-مدة-شدة التساقط (IDF)، ومنحني التكرار-المدة-العمق، ومنحني المدة-المساحة-العمق (DAD) لكل المناطق في نطاق سلطتها باستخدام بيانات التساقط المناسبة (مثلاً، النشرة 70 لولاية إلينوى (Huff and Angel 1989)). وبالنسبة لمناطق أخرى في الولايات المتحدة فإن أعماق التساقط المأخوذة من البحث التقني رقم 40 (TP-40) يمكن أن تستخدم مع عامل مضاعفة حوالي 1.20 لتعويض عدم التأكيدات وأحداث العواصف الشديدة التي وقعت أثناء العقود الثلاثة الأخيرة منذ نشر البحث (TP-40) (Hershfield 1961).

منحني تكرار-مدة-شدة التساقط هو تخطيط لشدة التساقط على المحور-y والمدة على المحور-x مع إيضاح فترة العودة على كل منحني مدة-شدة. أيأ كان المناسب، يمكن استخدام أي من المقياس الحسابي أو المقياس اللوغاريتمي لكلا المنحنيين لعمل هذه المخططات. منحني التكرار-المدة-العمق يشبه منحني تكرار-مدة-شدة الترسيب IDF ما عدا أن شدة التساقط تستبدل بعمق التساقط. ومنحني التكرار-المساحة-العمق DAD هو تخطيط لمساحة حوض الصرف بالمقياس

لوغاريتمي على المحور- y وعمق التساقط بالمقياس الحسابي على المحور- x مع إيضاح المدة على كل منحني مساحة-عمق. وبتقرير الأكثر ملائمة يمكن تبادل أدوار المحورين x و y .

وبالنسبة للمناطق التي تكون فيها بيانات التساقط المتاحة محدودة، فإنه يمكن تقدير القيم التمهيدية لشدة التساقط أو العمق عن طريق (Ponce 1989; Rouse 1950):

$$d = at / (t + b)^m \quad \text{أو} \quad i = a / (t + b)^m \quad (٢, ١٥)$$

حيث إن:

i = شدة التساقط (مم/ الساعة).

d = عمق التساقط (مم).

t = الفترة الزمنية (ساعة).

a, b, m معاملات عملية.

وبهدف التبسيط، يوضع الأس $m = 1$. ويمكن حساب قيم المعاملات الأخرى عن طريق التعويض عن البيانات المتاحة لأعماق المطر أو الشدة وحساب متوسط القيم المحسوبة للمجموعات المختلفة من نقاط البيانات.

مثال رقم (٢, ٢): قم بإعداد منحنيات تكرار-مدة-شدة التساقط IDF للاستخدام في تصميم نظام الصرف في موقع صناعي قرب جولييت، إلينوى.

الحل:

أعماق المطر للفترات المختلفة وفترات العودة الخاصة بجولييت، إلينوى التي تم الحصول عليها من نشرة (Huff and Angel 1989) موضحة في الجدول رقم (٢, ٦ أ). وقيم شدة التساقط المناظرة موضحة في الجدول رقم (٢, ٦ ب). ومنحنيات تكرار-

مدة-شدة التساقط IDF لمحدد من ٥ دقائق إلى ٢ ساعة، ممثلة بالمقياس الحسابي، موضحة في الشكل رقم (١، ٢، أ)، وتلك الخاصة بمحدد من ١٠ دقائق إلى ٢٤ ساعة، ممثلة بالمقياس اللوغاريتمي، موضحة في الشكل رقم (١، ٢، ب).

الجدول رقم (٢، ٦). جدول تكرار-مدة-عمق المطر.

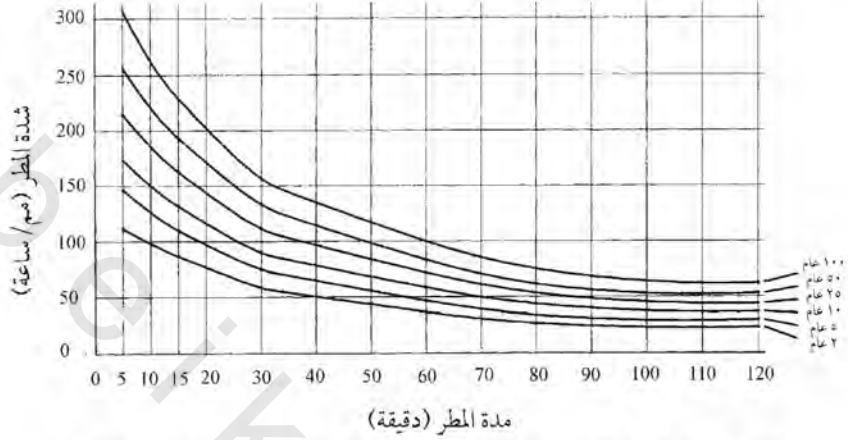
عمق المطر لفترات العودة (تكرار) المختلفة (مم)						الفترة
١٠٠ عام	٥٠ عام	٢٥ عام	١٠ عام	٥ عام	٢ عام	(ساعة)
٢١٥,١٤	١٨٢,١٢	١٥٣,٢٤	١٢٣,١٩	١٠٣,٦٣	٨١,٢٨	٢٤
١٩٧,٨٧	١٦٧,٦٤	١٤١,٢٢	١١٣,٢٨	٩٥,٢٥	٧٤,٦٨	١٨
١٨٧,٢٠	١٥٨,٥٠	١٣٣,٣٥	١٠٧,١٩	٩٠,١٧	٧٠,٦١	١٢
١٦١,٢٩	١٣٦,٦٥	١١٥,٠٦	٩٢,٤٦	٧٧,٧٢	٦٠,٩٦	٦
١٣٧,٦٧	١١٦,٥٩	٩٨,٣٠	٧٨,٧٤	٦٦,٢٩	٥٢,٠٧	٣
١٢٧,٠٠	١٠٧,٤٤	٩٠,٤٢	٧٢,٦٤	٦١,٢١	٤٨,٠١	٢
١٠١,٠٩	٨٥,٦٠	٧٢,١٤	٥٧,٩١	٤٨,٧٧	٣٨,١٠	١
٧٩,٥٠	٦٧,٣١	٥٦,٦٤	٤٥,٤٧	٣٨,٣٥	٢٩,٩٧	٠,٥٠٠ (٣٠ دقيقة)
٥٨,١٧	٤٩,٢٨	٤١,٤١	٣٣,٢٧	٢٧,٩٤	٢١,٨٤	٠,٢٥٠ (١٥ دقيقة)
٤٧,٢٤	٤٠,١٣	٣٣,٧٨	٢٧,١٨	٢٢,٨٦	١٧,٧٨	٠,١٦٧ (١٠ دقيقة)
٢٥,٩١	٢١,٨٤	١٨,٢٩	١٤,٧٣	١٢,٤٥	٩,٦٥	٠,٠٨٣ (٥ دقيقة)

المصدر: Huff and Angel (1989).

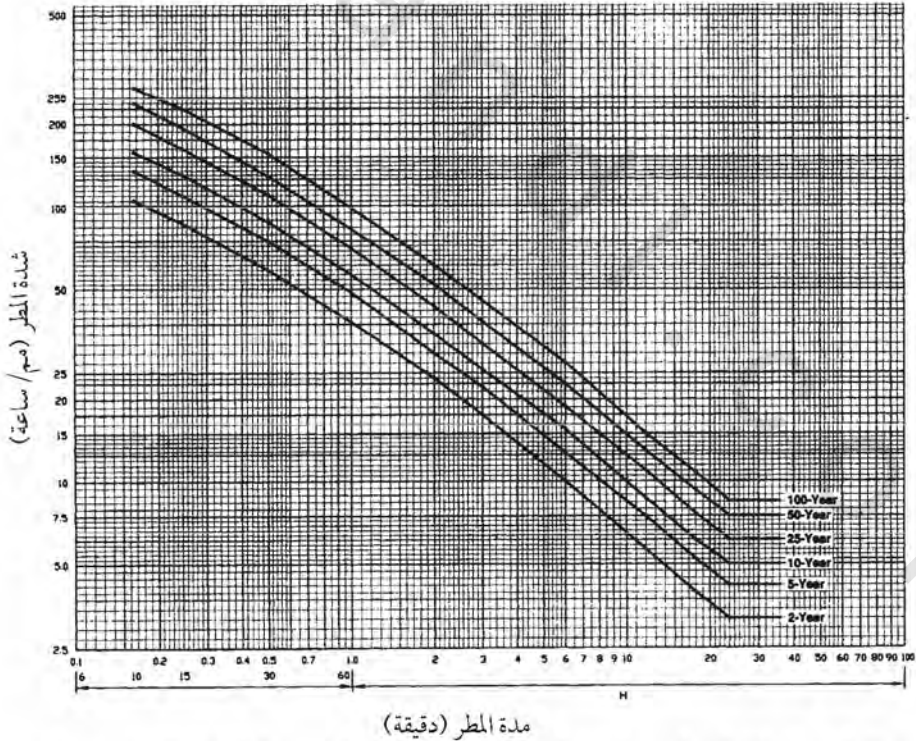
الجدول رقم (٢، ٦). جدول تكرار-مدة-شدة المطر.

شدة المطر لفترات العودة المختلفة (مم/ ساعة)						الفترة
عام ١٠٠	عام ٥٠	عام ٢٥	عام ١٠	عام ٥	عام ٢	(ساعة)
٨,٩٦	٧,٥٩	٦,٣٩	٥,١٣	٤,٣٢	٣,٣٩	٢٤
١٠,٩٩	٩,٣١	٧,٨٥	٦,٢٩	٥,٢٩	٤,١٥	١٨
١٥,٦٠	١٣,٢١	١١,١١	٨,٩٣	٧,٥١	٥,٨٨	١٢
٢٦,٨٨	٢٢,٧٨	١٩,١٨	١٥,٤١	١٢,٩٥	١٠,١٦	٦
٤٥,٨٩	٣٨,٨٦	٣٢,٧٧	٢٦,٢٥	٢٢,١٠	١٧,٣٦	٣
٦٣,٥٠	٥٣,٧٢	٤٥,٢١	٣٦,٣٢	٣٠,٦١	٢٤,٠٠	٢
١٠١,٠٩	٨٥,٦٠	٧٢,١٤	٥٧,٩١	٤٨,٧٧	٣٨,١٠	١
١٥٩,٠٠	١٣٤,٦٢	١١٣,٢٨	٩٠,٩٣	٧٦,٧١	٥٩,٩٤	٠,٥٠٠ (٣٠ دقيقة)
٢٣٢,٦٦	١٩٧,١٠	١٦٥,٦١	١٣٣,١٠	١١١,٧٦	٨٧,٣٨	٠,٢٥٠ (١٥ دقيقة)
٢٨٣,٤٦	٢٤٠,٧٩	٢٠٢,٦٩	١٦٣,٠٦	١٣٧,١٦	١٠٦,٦٨	٠,١٦٧ (١٠ دقيقة)
٣١٠,٩٠	٢٦٢,١٣	٢١٩,٥٦	١٧٦,٧٨	١٤٩,٥٣	١١٥,٨٢	٠,٠٨٣ (٥ دقيقة)

المصدر: Huff and Angel (1989).



الشكل رقم (١، ٢). منحنيات تكرار-مدة-شدة التساقط IDF (المقياس الحسابي).



الشكل رقم (١، ٢). منحنيات تكرار-مدة-شدة التساقط IDF (المقياس اللوغاريتمي).

مثال رقم (٢,٣): بيانات خمس سنوات متاحة عن تساقط المطر لموقع منجم بعيد موضحة في الجدول رقم (٢,٧). طور جدول تقريبي لتكرار-مدة-شدة التساقط يمكن استخدامه لأغراض التخطيط واستكماله بالقياس ليمتد لفترة عودة حوالي عشر سنوات.

الجدول رقم (٢,٧). بيانات تساقط المطر لموقع المنجم.

فترة التساقط (دقيقة)			فترة العودة (التكرار) للمطر
٦٠	٣٠	١٠	
٥٤,٣	٣٦,٩	١٩,٢	ستتان عمق عالي التساقط (مم)
٦٢,٧	٤١,٧	٢٢,١	خمس سنوات عمق عالي التساقط (مم)

الحل:

باستخدام المعادلة رقم (٢,١٥)، حيث $m = 1$ و $i = d/t$ فإن أعماق المطر المتاحة لـ ستين، لمدة ١٠ و ٣٠ و ٦٠ دقيقة هي:

$$i = 19.2 \times 60/10 = 115.2 = a/(0.167 + b)$$

$$i = 36.9 \times 60/30 = 73.8 = a/(0.5 + b)$$

$$i = 54.3 = a/(1.0 + b)$$

بحل أول معادلتين متزامتين ينتج:

$$a = 68.38 \quad , \quad b = 0.4266$$

وبحل المعادلة الأولى والمعادلة الثالثة ينتج:

$$a = 85.56 \quad , \quad b = 0.577$$

وبحل المعادلة الثانية والمعادلة الثالثة ينتج:

$$a = 102.75 \quad , \quad b = 0.8923$$

ومتوسطات هذه المجموعات الثلاثة من القيم هي:

$$a = 85.56 \quad , \quad b = 0.6315$$

إذن، يمكن تطوير جدول تقريبي لتكرار-مدة-شدة تساقط من المعادلة التالية:

$$i(2 - yr) = 85.56 / (t + 0.6315)$$

وبالمثل، المعادلات الثلاثة لأعماق خمس سنوات من نزول المطر هي:

$$i = (22.1 \times 60 / 10) = 132.6 = a / (0.167 + b)$$

$$i = (41.7 \times 60 / 30) = 83.4 = a / (0.5 + b)$$

$$i = 62.7 = a / (1.0 + b)$$

ويحل هذه المعادلات بنفس الترتيب السابق ينتج

$$a = 74.85 \quad , \quad b = 0.3975$$

$$a = 99.08 \quad , \quad b = 0.5802$$

$$a = 126.31 \quad , \quad b = 1.0145$$

وباستخدام متوسطات هذه القيم في المعادلة:

$$i(5 - yr) = 100.08 / (t + 0.6641)$$

وفي غياب أي بيانات أخرى، فإن شدة التساقط المتاحة لفترات عودة ستين و خمس

سنوات يمكن أن تحول إلى العمق المناظر، باستخدام العلاقة: $d = it$ ويمكن تمثيل

أعماق كل مدة بيانياً على أوراق جامبل Gumbel للاحتمال، ويمكن الحصول على أعماق

التساقط لفترة عشر سنوات للمدد المناظرة عن طريق الاستكمال القياسي (انظر الجزء في

هذا الفصل تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة"). وبالتبادل، بفرض أن

أعماق ستين من سقوط المطر يكون مساوياً تقريباً للمتوسطات النسبية، مثلاً، لفترة

٦٠ دقيقة، بمتوسط $X = 54.3$ مم. إذن، باستخدام المعادلة رقم (٢، ٢٣):

$$K(5 - yr) = -0.7797 \{0.5772 + \ln [\ln (5/4)]\} = 0.71946$$

باستخدام المعادلة رقم (٢، ٢١):

$$62.7 = 54.3 + 0.71946 s$$

إذن:

$$s = 11.6754$$

وبإعادة استخدام المعادلتين رقم (٢,٢٣) ورقم (٢,٢١):

$$K(10 - yr) = 1.30457$$

$$d(10 - yr) = 54.3 + 1.30457 \times 11.6754 = 69.53 \text{ mm}$$

$$i(10 - yr) = 69.53 \times 60 / 60 = 69.53 \text{ mm/h}$$

وبالمثل يمكن تقدير قيم عشر سنوات للفترات الأخرى.

لاحظ أن هذه النتائج تكون تقريبية ويمكن أن تكون مفيدة لأغراض

التخطيط فقط. ويجب أن يتم تعديلها بمجرد وجود بيانات إضافية متاحة.

بالنسبة للحالات التي تكون فيها بيانات نزول المطر لسنوات قليلة (مثلاً،

خمس سنوات) لمحطات المعايرة المتعددة (مثلاً، عشر محطات) داخل نفس النطاق

المناخي متاحة، فإنه يمكن دمج البيانات وافترض أنها مكافئة لـ ٥٠ سنة من البيانات

للمحطة الواحدة. هذا التقريب يعرف بـ "طريقة سنة المحطة" (Chow 1964). وعندما

يكون الوضع مناسباً، يمكن استخدام الطرق العشوائية لمد البيانات المتاحة.

وباستخدام البيانات الممتدة، يمكن استخدام الطرق الإحصائية المذكورة في الجزء

تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة" لتقدير أعماق تساقط المطر لفترات

عودة مختلفة.

مثال رقم (٢,٤): أوضحت عملية تحليل بيانات سجلات تساقط المطر من ستة

محطات تقوم باستمرار بقياس تساقط المطر في منطقة تعدين بعيدة (تقريباً ٨ × ٨ كم)

أن القيم السنوية القصوى العشر سنوات موضحة في الجدول رقم (٢,٨). احسب

أعماق عشرة دقائق لفترات ٢، ١٠، ٥٠، و ١٠٠ سنة من تساقط المطر لتصميم نظام

الصرف للمبنى.

الجدول رقم (٢,٨). المعدل السنوي الأقصى لتساقط المطر لمدة عشر دقائق (مم).

المحطة الأولى		المحطة الثانية		المحطة الثالثة	
السنة	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط	التاريخ
١٩٩٣	٢٨ نوفمبر	١٨,٠	٢٨ نوفمبر	١٩,٠	٢٩ نوفمبر
١٩٩٤	١٠ ديسمبر	٢٣,٤	٢٥ يناير	١٦,٦	١٦ نوفمبر
١٩٩٥	٤ يناير	١٩,٨	١٥ نوفمبر	٢٠,٦	١٥ نوفمبر
١٩٩٦	٢٤ يناير	١٦,٠	١٤ فبراير	١٧,٦	١٤ فبراير
١٩٩٧	١٤ أبريل	٢٥,٥	١٤ أبريل	١٩,٤	١٢ يناير
١٩٩٨	٢ نوفمبر	٢٩,٦	١٥ يناير	١٧,٠	٢٤ أكتوبر

المحطة الرابعة		المحطة الخامسة		المحطة السادسة	
السنة	التاريخ	التساقط	التاريخ	التساقط	التاريخ
١٩٩٣	٢٩ نوفمبر	٢١,٢	٢٨ نوفمبر	٢٢,٠	-
١٩٩٤	١٨ مارس	١٤,٤	١٣ فبراير	١٩,٤	٢٤ نوفمبر
١٩٩٥	٢٣ نوفمبر	٢٣,٤	١٥ نوفمبر	٢١,٠	٢٧ نوفمبر
١٩٩٦	١٥ نوفمبر	١٤,٢	١٢ يناير	١٨,٨	١٨ أبريل
١٩٩٧	١٢ يناير	١٨,٠	١٤ أبريل	٢١,٨	١٦ نوفمبر
١٩٩٨	-	-	١٧ نوفمبر	١٩,٦	١٠ مايو

الحل:

محطات قياس المطر تقع داخل منطقة تعدين صغيرة نسبياً، والتي تقع داخل نفس النطاق المناخي. وبالتالي، يستخدم تقريب سنة المحطة. والقيم في محطات مختلفة تتعلق بنفس التاريخ يمكن أن تمثل واحدة ونفس العاصفة ولا يمكن بالضرورة أن تقدم نقاط بيانات إضافية مستقلة. لاحظ أن هناك ثلاث قيم لتاريخ ٢٨ نوفمبر

١٩٩٦، وقيمتان لتاريخ ٢٩ نوفمبر ١٩٩٣، وثلاثة لتاريخ ١٥ نوفمبر ١٩٩٥، وقيمتان لتاريخ ١٤ فبراير ١٩٩٦، وثلاثة لتاريخ ١٤ إبريل ١٩٩٧، واثنان لتاريخ ١٢ يناير ١٩٩٧. ولتحديد سجل تقريبي كافٍ لأكثر من ست سنوات للمحطة الواحدة داخل منطقة الموقع، تؤخذ في الاعتبار فقط أعلى قيم تمت ملاحظتها في كل من هذه التواريخ. هذا يؤدي إلى ٢٥ نقطة بيانات مستقلة موضحة في الجدول رقم (٢،٩)، بتقريب أقصى قيم سنوية لتساقط المطر في الموقع من ٢٥ سنة مدة ١٠ دقائق. وبشكل طبيعي، يجب استخدام أفضل توزيع احتمالية مناسب لتحليل التكرار تستخدم نقاط هذه البيانات. مع هذا، فإن توزيع نوع ١ Fisher-Tippett (أي، جامبل Gumbel) مناسب لبيانات سقوط المطر (Hershfield 1961; NOAA 1973). وبالتالي، يستخدم هذا التوزيع لتقدير أعماق سقوط المطر خلال ٢، ١٠، ٥٠، ١٠٠ سنة لمدة ١٠ دقائق لمنطقة الموقع. باستخدام الدوال المتاحة في حزم برامج الحاسب القياسية (مثلاً، برنامج الإكسل)، فإن المتوسط، X ، والانحراف القياسي، s ، للقيم الـ ٢٥ في الجدول رقم (٢،٩) وجد أنها تساوي ٢٩،٥٣٢ و ٣،٨٠٣، على الترتيب. وباستخدام المعادلات رقم (٢،٢٤)، ورقم (٢،٢٥)، ورقم (٢،٢٦):

$$\alpha = 1.2826/3.803 = 0.337$$

$$u = 19.532 - 0.5772/0.337 = 17.819$$

وبالتالي:

$$P(10 - \text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1 - 0.10)]/0.337 = 24.50 \text{ mm}$$

$$P(50 - \text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1 - 0.02)]/0.337 = 29.40 \text{ mm}$$

$$P(100 - \text{yr}) = 17.819 - \ln[-\ln(1 - 0.01)]/0.337 = 31.47 \text{ mm}$$

يجب ملاحظة أن هذه التقديرات أولية ويمكن أن تكون مفيدة لتصميم نظام الصرف في الموقع باستخدام عوامل الأمان المعقولة.

الجدول رقم (٢,٩). أقصى معدل سنوي تم تسجيله لتساقط المطر لمدة عشر دقائق (مم).

التاريخ	المعدل الأقصى لسقوط المطر لمدة ١٠ دقائق
٩٣/١١/٢٨	٢٢,٠
٩٣/١١/٢٩	٢١,٢
٩٤/١/٢٥	١٦,٦
٩٤/٢/١٣	١٩,٤
٩٤/٣/١٨	١٤,٤
٩٤/١١/١٦	١٨,٠
٩٤/١١/٢٤	١٦,٨
٩٤/١٢/١٠	٢٣,٤
٩٥/١/٤	١٩,٨
٩٥/١١/١٥	٢٤,٨
٩٥/١١/٢٣	٢٣,٤
٩٥/١١/٢٧	١٨,٦
٩٦/١/١٢	١٨,٨
٩٦/١/٢٤	١٦,٠
٩٦/٢/١٤	١٩,٢
٩٦/٤/١٨	١٨,٦
٩٦/١١/١٥	١٤,٢
٩٧/١/١٢	١٨,٠
٩٧/٤/١٤	٢٥,٥
٩٧/١١/١٦	١٥,٠
٩٨/١/١٥	١٧,٠
٩٨/٥/١٠	١٥,٦
٩٨/١٠/٢٤	٢٢,٨
٩٨/١١/٢	٢٩,٦
٩٨/١١/١٧	١٩,٦

معادلات الانحسار Regression Equations

قامت هيئة المسح الجيولوجي بالولايات المتحدة بتحديد مجموعات مختلفة من معادلات الانحسار لتقدير تدفقات القمة لفترات عودة مختلفة للمواقع التي لا يتم قياسها للولايات المختلفة بالولايات المتحدة الأمريكية وبورتوريكو (USGS 1994). والأخطاء القياسية التي تم تدوينها في التقارير عالية نسبياً. مع هذا، فهي مفيدة للتحقق من معقولية تدفقات القمة المقدرة باستخدام الطرق الأخرى. هذه المعادلات مدونة في التقارير بنظام وحدات قدم-رطل-ثانية (FPS). ومن المناسب بشكل عام استخدامهم بنظام وحدات قدم-رطل-ثانية وتحويل النتائج إلى النظام العالمي (SI).

مثال رقم (٢،٥): باستخدام نموذج HEC-I، فإن تدفق القمة في ١٠٠ سنة لجدول في كنساس يقدر بحوالي ٣٦٧ م^٣/ث. استخدم معادلات الانحسار USGS للتحقق من معقولية تدفق القمة المقدّر في ١٠٠ سنة. المعاملات المناسبة المطلوبة لاستخدام

معادلات الانحسار هي: $D = 61,4 \text{ كم}^2 (23,70 \text{ ميل}^2)$

متوسط التساقط السنوي للمنطقة = ٧١ سم (٢٨ بوصة)

الحل:

الشكل العام لمعادلات الانحسار لمناطق الصرف من ١٧،٠ إلى أقل من ٣٠ ميل^٢

(٤٤،٠ إلى ٧٧،٧ كم^٢) في كنساس هي (USGS 2000a):

(٢،١٦)

$$Q = a DA^b P^{bl}$$

حيث إن:

Q = تدفق القمة لكل قدم مكعب لكل ثانية (قدم^٣/ث).

DA = مساحة الصرف (ميل^٢).

P = متوسط التساقط السنوي (بوصة).

bl, b, a = معاملات الانحسار التي توجد في (USGS 2000a).

وقيم معاملات الانحسار في فترة العودة ١٠٠ سنة، على امتداد أخطاء التنبؤ المقدرة، موضحة في الجدول رقم (٢، ١٠). وباستخدام المعادلة رقم (٢، ١٦) مع المعاملات المعطاة في الجدول رقم (٢، ١٠):

$$Q_{100} = 19.80 \times (23.70)^{0.634} \times (28)^{1.288} = 10770 \text{ ft}^3/\text{s} = 305 \text{ m}^3/\text{s}$$

تدفقات القمة المقدرة في ١٠٠ سنة والأخطاء القياسية للتقدير اعتماداً على معادلة الانحسار موضحة في الجدول رقم (٢، ١١). في ضوء القيم المعطاة في معادلات الانحسار USGS، يتضح أن تصرف ٣٦٧ م^٣/ث يعدّ تقديرًا محافظاً ومعقولاً.

الجدول رقم (٢، ١٠). معاملات الانحسار وأخطاء التنبؤ لمعادلة الانحسار USGS في كنساس.

معاملات الانحسار*			
فترة العودة	a	b	b1 الخطأ (%)
١٠٠ عام		٠,٦٣٤	٧١ +
	١٩,٨٠		٤٤ -

* مناطق صرف تتراوح من ٠,١٧ إلى أقل من ٣٠ ميل مربع.

المصدر: (1994) USGS.

الجدول رقم (٢، ١١). تدفقات القمة المحسوبة لـ ١٠٠ سنة.

معادلة الانحسار			
الخط الفرعي لتقسيم المياه	قمة التدفق مقدرة بـ (HEC-1)*	قمة التدفق المحسوب	أخطاء التنبؤ (+) أخطاء التنبؤ (-)
٦١,٤ كم ^٢	٣٦٧ م ^٣ /ث	٣٠٥ م ^٣ /ث	٢١٧ م ^٣ /ث ١٣٤ م ^٣ /ث

* انظر المثال رقم (٢، ٨).

التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة Statistical Analysis of Available Data

المعاملات الأربعة الشائعة للتحليل الإحصائي للبيانات التي يجب تطبيقها هي

التالية:

$$(٢, ١٧) \quad \bar{X} = \sum X / n \quad \text{المتوسط:}$$

$$(٢, ١٨) \quad s = \left[\sum (X - \bar{X})^2 / (n - 1) \right]^{0.5} \quad \text{الانحراف القياسي:}$$

$$(٢, ١٩) \quad G = n \sum (X - \bar{X})^3 / [(n - 1)(n - 2)s^3] \quad \text{معامل الالتواء:}$$

$$(٢, ٢٠) \quad k = \left[n(n + 1) / \{(n - 1)(n - 2)(n - 3)\} \right] \times \left[\sum \{(X - \bar{X}) / s\}^4 \right] - \left[3(n - 1)^2 / (n - 2)(n - 3) \right]$$

حيث إن:

X = قيمة المتغير.

n = عدد نقاط البيانات.

$\sum$ = المجموع من 1 إلى n .

k = معامل الالتفاف.

في حالة التوزيع الطبيعي، فإن $G = 0$ و $k = 3$. وفي حالة توزيع جامبل (القيمة القصوى لنوع ١)، فإن $G = 1.1396$ و $k = 5.4$.

إذا كانت بيانات تدفق القمة السنوي الخاصة بالموقع متاحة، فإنه يمكن تقدير تدفقات القمة لفترات العودة الأعلى عن طريق التحليل الإحصائي. عملياً، فإن تدفقات القمة لفترة العودة المرغوبة يجب أن تقدر باستخدام توزيعات احتمال متعددة والقيم المختارة يجب أن يتم اختيارها عن طريق الحكم، معطية وزناً أكبر لتوزيعات بيرسون اللوغاريتمية من نوع ٣ والأكثر ملائمة. ويكون التوزيع الطبيعي أو توزيع

اللوغاريتم الطبيعي مقبولا إذا كان معامل الالتواء صغيراً. وتوزيع جامبل معامل التواء ثابت قيمته ١.١٣٩٦. ويكون توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ قابلاً للتطبيق لأي معامل التواء معروف (USWRC 1981). والطريقة البسيطة لحساب جودة الملائمة هي التخطيط البياني لتدفقات القمة السنوية على أوراق احتمالية عديدة (مثلاً، الأوراق الطبيعية أو أوراق اللوغاريتم الطبيعي أو أوراق جامبل للاحتتمالية) وتحديد أفضل توزيع مناسب عن طريق الملاحظة.

الخطوات الحسابية للتحليل الإحصائي لتدفقات القمة السنوية هي كما يلي:

- رتب قيم تدفق القمة السنوي تنازلياً على أساس المقدار. حدد مرتبة، m ، لكل قيمة على أن تكون أعلى قيمة تساوي ١. حدد مراتب مختلفة (متتالية) حتى لو كانت قيمتان أو أكثر متساويتان. يمكن عمل هذا على أوراق العمل.
- احسب لوغاريتمات (بالأساس ١٠) لكل القيم.
- احسب المتوسط $\bar{X}$ ، والانحراف القياسي s ، ومعامل الالتواء G ، لكل القيم ولوغاريتماتهم. ويمكن عمل هذا باستخدام الدوال المتاحة في حزم برامج الحاسب القياسية (مثل، برنامج الإكسل).
- احسب موضع التمثيل البياني لكل قيمة باستخدام صيغة فايبول، $m/(n+1)$ ، حيث n هي عدد نقاط البيانات الكلية. واستخدم مواضع التمثيل هذه لإعداد منحنيات بيانية للخط المستقيم على أوراق احتمالية مختلفة. ويكون موضع التمثيل البياني هو الاحتمالية المدرجة على الإحداثي السيني من ورقة الاحتمالية.
- احسب تدفق القمة لفترة العودة المرغوبة عن طريق الملاحظة البصرية أو الاستكمال القياسي من تمثيل توزيع الاحتمالية، أو بالتبادل، عن طريق استخدام المعادلة:

(٢,٢١)

$$Q_T = \bar{X} + Ks$$

حيث إن:

$$Q_T = \text{تدفق القمة في فترة العودة } T \text{ سنة.}$$

$K = \text{عامل التكرار الذي تم الحصول عليه من الجداول (USWRC 1981;}$

Chow 1964)

وفي حالة التوزيع الطبيعي، فإن قيم Q_T ، و $\bar{X}$ ، و s تتعلق بتدفقات القمة السنوية الغير منقولة، و K هو الانحراف الطبيعي القياسي، الذي يمكن الحصول عليه من الجداول الإحصائية المناظرة لـ $P = 1/T$ ، حيث إن P تساوي احتمالية أن القيم الموضحة سوف تتساوى أو تتجاوز (مثلاً، P تساوي ٠,٠١، لتدفق قمة في ١٠٠ سنة). وإذا كانت جداول عوامل التكرار لتوزيع بيرسون اللوغاريتمي المستخدمة من نوع ٣، فإن قيم K الجدولية في حالة G تساوي صفر يمكن أن تستخدم للتوزيع الطبيعي وتوزيع اللوغاريتم الطبيعي (USWRC 1981). وقيم K شائعة الاستخدام في حالة التوزيع الطبيعي وتوزيع اللوغاريتم الطبيعي معطاة في الجدول رقم (٢,١٢).

وفي حالة توزيع اللوغاريتم الطبيعي وتوزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣، فإن قيم $\bar{X}$ و s المستخدمة في المعادلة رقم (٢,٢١) يتم حسابها من لوغاريتمات تدفقات القمة السنوية، وقيم Q_T المقدرة هي لوغاريتم قمة التدفق المرغوبة. ومعامل التكرار لتوزيع اللوغاريتم الطبيعي هو نفسه في حالة التوزيع الطبيعي، وفي حالة توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ فهي تلك المناظرة لمعامل الالتواء المحسوب مسبقاً، G ، للوغاريتمات تدفقات القمة السنوية. وهذه القيم مجدولة في جداول إحصائية (مثل، USWRC 1981). وبالتبادل، فإن قيم K التقريبية في حالة توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ يمكن تقديرها عن طريق المعادلة:

(٢,٢٢) $K \text{ (LP Type III)} = 2/G \left\{ \left[(K_n - G/6) G/6 + 1 \right]^3 - 1 \right\}$
 حيث إن K_n هي قيمة K في حالة التوزيع الطبيعي.

الجدول رقم (٢,١٢). القيم المختارة لمعامل التكرار في حالة التوزيع الطبيعي والتوزيع اللوغاريتم الطبيعي.

فترة العودة (سنة)	احتمالية التجاوز P	معامل التكرار K
٢	٠,٥٠	٠
٢,٥	٠,٤٠	٠,٢٥٣٣٥
٣,٣٣	٠,٣٠	٠,٥٢٤٤٠
٥	٠,٢٠	٠,٨٤١٦٢
١٠	٠,١٠	١,٢٨١٥٥
٢٠	٠,٠٥	١,٦٤٤٨٥
٢٥	٠,٠٤	١,٧٥٠٦٩
٤٠	٠,٠٢٥	١,٩٥٩٩٦
٥٠	٠,٠٢	٢,٠٥٣٧٥
١٠٠	٠,٠١	٢,٣٢٦٣٥
٢٠٠	٠,٠٠٥	٢,٥٧٥٨٣
٥٠٠	٠,٠٠٢	٢,٨٧٨١٦
١٠٠٠	٠,٠٠١	٣,٠٩٠٢٣
٢٠٠٠	٠,٠٠٠٥	٣,٢٩٠٥٣
١٠٠٠٠	٠,٠٠٠١	٣,٧١٩٠٢

المصدر: (USWRC (1981).

وفي حالة توزيع جامبل، فإن كل من Q_T و $\bar{X}$ و s تتعلق بتدفقات القمة السنوية ويمكن تقدير K (جامبل) من المعادلة:

$$(٢,٢٣) \quad K = -0.7797 \{0.5772 + \ln[\ln T - \ln(T-1)]\}$$

وبالتبادل، يمكن تقدير Q_T لتوزيع جامبل عن طريق المعادلات التالية:

$$(٢,٢٤) \quad \alpha = 1.2826/s$$

$$(٢,٢٥) \quad u = \bar{X} - 0.5772/\alpha$$

$$(٢,٢٦) \quad 1-P = 1-1/T = \exp[-\exp\{-\alpha(Q_T - u)\}]$$

أو:

$$(٢,٢٦) \quad Q_T = u - \{\ln[-\ln(1-P)]\}/\alpha$$

يستخدم توزيع جامبل لتعريف الفيضان السنوي المتوسط. وبوضع $Q_T = \bar{X}$ تصبح المعادلة:

$$1-P = 1-1/T = \exp[-\exp\{-\alpha(\bar{X} - u)\}]$$

وكذلك من المعادلة رقم (٢,٢٥):

$$-\alpha(\bar{X} - u) = -0.5772$$

وبالتالي تصبح فترة عودة متوسط الفيضان السنوي: $T = 2.33 \text{ yr}$

ولأجل تحليلات إحصائية أدق لتدفقات القمة السنوية، راجع المراجع القياسية

على تطبيقات الطرق الإحصائية في الهيدرولوجيا (مثل، Haan 1977; Yevjevich 1972a, 1997).

مثال رقم (٢,٦): احسب تدفق القمة في ٥٠٠ سنة لنهر أوهايو بلويس فيل، كنتاكي، باستخدام بيانات تدفق القمة السنوي المعطاة في الجدول رقم (٢,١٣).

الحل:

١- التوزيع الطبيعي:

استخدام المعادلة رقم (٢,٢١) باعتبار $K = 2.87816$ من الجدول رقم (٢,١٢) و $\bar{X} = 14329.4$ و $s = 3677.0$ من الجدول رقم (٢,١٣):

$$Q_{500} = 14329.4 + 2.87816 \times 3677.0 = 24912 \text{ m}^3 / \text{s}$$

٢- توزيع اللوغاريتم الطبيعي:

باستخدام المعادلة رقم (٢,٢١) مع $K = 2.87816$ من الجدول رقم (٢,١٢) و $\bar{X} = 4.142405$ و $s = 0.110875$ من الجدول رقم (٢,١٣):

$$\text{Log}(Q_{500}) = 4.142405 + 2.87816 \times 0.110875 = 4.46152$$

بالتالي:

$$Q_{500} = 28941 \text{ m}^3 / \text{s}$$

٣- توزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣:

باستخدام $\bar{X} = 4.142405$ و $s = 0.110875$ و $G = -0.24$ ومن الجدول رقم (٢,١٣) و $K (\text{LP Type III}) = 2.588996$ (عن طريق الاستكمال القياسي من الجداول لعامل التكرار الخاص بتوزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣ في حالة $G = -0.24$)، والمعادلة رقم (٢,٢١)، تعطي:

$$\text{Log}(Q_{500}) = 4.142405 + 2.588996 \times 0.110875 = 4.42946$$

بالتالي، $Q_{500} = 26882 \text{ m}^3 / \text{s}$. وبالتبادل، باستخدام المعادلة رقم (٢,٢٢)

لتوزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣:

$$K (\text{LP III}) = 2 / (-0.24) \{ [(2.87816 + 0.24 / 6)$$

$$(-0.24 / 6) + 1 \}^3 - 1 \} = 2.59$$

والذي هو تقريباً نفس القيمة المستكملة من الجداول.

٤- توزيع جامبل:

باستخدام المعادلة رقم (٢, ٢٣) لتقدير عامل التكرار الخاص بتوزيع جامبل:

$$K(\text{Gumbel}) = -0.7797[0.5772 + \ln\{\ln(500/499)\}] = 4.3947$$

بالتالي، باستخدام المعادلة رقم (٢, ٢١) مع $\bar{X} = 14329.4$ و $s = 3677.0$:

$$Q_{500} = 14329.4 + 4.3947 \times 3677.0 = 30489 \text{ m}^3/\text{s}$$

بالتبادل، وباستخدام المعادلات رقم (٢, ٢٤) ورقم (٢, ٢٥) ورقم (٢, ٢٦)

مع $P = 0.002$ في حالة $T = 500 \text{ yr}$:

$$\alpha = 1.2826/3677.0 = 0.0003488$$

$$u = 14329.4 - 0.5772/0.0003488 = 12675$$

$$Q_{500} = 12675 - \ln[-\ln(1-0.002)]/0.0003488 = 30489 \text{ m}^3/\text{s}$$

يختلف تدفق القمة المقدّر في ٥٠٠ سنة من ٢٤٩١٢ م^٣/ث إلى ٣٠٤٨٩ م^٣/ث.

والقيم المقدرة باستخدام توزيع لوغاريتم بيرسون من نوع ٣ تكون قريبة من هذا

المدى. إذن، يتضح أن القيمة ٢٧٠٠٠ م^٣/ث تعتبر قيمة معقولة.

الجدول رقم (٢, ١٣). التحليل الإحصائي لتدفقات القمة السنوي لنهر أوهايو بلويسفيل، كنتاكي.

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٧٢	١١٠٧٠	٣١٤٢٧	٤,٤٩٧٣	١	٠,٠٠٨٥
١٨٧٣	٩٨٨١	٢٣٨٦٨	٤,٣٧٧٨	٢	٠,٠١٧١
١٨٧٤	١١٨٣٥	٢٣٣٥٨	٤,٣٦٨٤	٣	٠,٠٢٥٦
١٨٧٥	١٤٤٣٩	٢٢٢٢٥	٤,٣٤٦٨	٤	٠,٠٣٤٢
١٨٧٦	١٥٥٧٢	٢١٧٧٢	٤,٣٣٧٩	٥	٠,٠٤٢٧

تابع الجدول رقم (١٣، ٢).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٧٧	١٤٥٢٤	٢١٢٣٥	٤,٣٢٧٠	٦	٠,٠٥١٣
١٨٧٨	٦٨٥٢	٢٠١٨٧	٤,٣٠٥١	٧	٠,٠٥٩٨
١٨٧٩	١٠١٣٦	١٩٩٣٢	٤,٢٩٩٥	٨	٠,٠٦٨٤
١٨٨٠	١٤٦٣٨	١٩٤٥١	٤,٢٨٨٩	٩	٠,٠٧٦٩
١٨٨١	١١٨٣٥	١٨١٧٧	٤,٢٥٩٥	١٠	٠,٠٨٥٥
١٨٨٢	١٧٦٦٧	١٧٩٧٩	٤,٢٥٤٨	١١	٠,٠٩٤٠
١٨٨٣	٢١٢٣٥	١٧٩٧٩	٤,٢٥٤٨	١٢	٠,١٠٢٦
١٨٨٤	٢٣٣٥٨	١٧٨٦٥	٤,٢٥٢٠	١٣	٠,١١١١
١٨٨٥	١١٦٣٧	١٧٦٦٧	٤,٢٤٧٢	١٤	٠,١١٩٦
١٨٨٦	١٥٧٤٢	١٧٦١١	٤,٢٤٥٨	١٥	٠,١٢٨٢
١٨٨٧	١٥٧٤٢	١٧٤٦٩	٤,٢٤٢٣	١٦	٠,١٣٦٧
١٨٨٨	٩٥٤١	١٧٣٢٧	٤,٢٣٨٧	١٧	٠,١٤٥٣
١٨٨٩	٨٢٩٦	١٧٤٢٤	٤,٢٣٦٦	١٨	٠,١٥٣٨
١٨٩٠	١٦٨٧٤	١٧٢١٤	٤,٢٣٥٩	١٩	٠,١٦٢٤
١٨٩١	١٥٥٧٢	١٧٢١٤	٤,٢٣٥٩	٢٠	٠,١٧٠٩
١٨٩٢	١١٧٧٨	١٦٩٣١	٤,٢٢٨٧	٢١	٠,١٧٩٥
١٨٩٣	١٤٢١٣	١٦٨٧٤	٤,٢٢٧٢	٢٢	٠,١٨٨٠
١٨٩٤	٧٨٤٣	١٦٨١٨	٤,٢٢٥٨	٢٣	٠,١٩٦٦
١٨٩٥	١١٣٢٥	١٦٧٨٩	٤,٢٢٥٠	٢٤	٠,٢٠٥١
١٨٩٦	١١٩٢٠	١٦٦٧٦	٤,٢٢٢١	٢٥	٠,٢١٣٧
١٨٩٧	١٦٨١٨	١٦٦٤٨	٤,٢٢١٤	٢٦	٠,٢٢٢٢
١٨٩٨	١٧٢١٤	١٦٥٩١	٤,٢١٩٩	٢٧	٠,٢٣٠٨

تابع الجدول رقم (١٣، ٢).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٨٩٩	١٥٧١٤	١٥٩٤٠	٤,٢٠٢٥	٢٨	٠,٢٣٩٣
١٩٠٠	٨٢٦٧	١٥٨٨٣	٤,٢٠٠٩	٢٩	٠,٢٤٧٩
١٩٠١	١٥٩٤٠	١٥٨٥٥	٤,٢٠٠٢	٣٠	٠,٢٥٦٤
١٩٠٢	١٢٧٩٧	١٥٧٩٨	٤,١٩٨٦	٣١	٠,٢٦٤٩
١٩٠٣	١٤١٨٥	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٢	٠,٢٧٣٥
١٩٠٤	١٢١٤٦	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٣	٠,٢٨٢٠
١٩٠٥	١١٦٣٧	١٥٧٧٠	٤,١٩٧٨	٣٤	٠,٢٩٠٦
١٩٠٦	١٣٢٧٩	١٥٧٤٢	٤,١٩٧١	٣٥	٠,٢٩٩١
١٩٠٧	٢٠١٨٧	١٥٧٤٢	٤,١٩٧١	٣٦	٠,٣٠٧٧
١٩٠٨	١٥١١٩	١٥٧١٤	٤,١٩٦٣	٣٧	٠,٣١٦٢
١٩٠٩	١٥٧٧٠	١٥٥٧٢	٤,١٩٢٣	٣٨	٠,٣٢٤٨
١٩١٠	١٤٠٧١	١٥٥٧٢	٤,١٩٢٣	٣٩	٠,٣٣٣٣
١٩١١	١٢٠٦١	١٥٥١٥	٤,١٩٠٨	٤٠	٠,٣٤١٩
١٩١٢	١٤١٨٥	١٥٢٣٢	٤,١٨٢٨	٤١	٠,٣٥٠٤
١٩١٣	٢١٧٧٢	١٥١٤٧	٤,١٨٠٣	٤٢	٠,٣٥٩٠
١٩١٤	١١٨٠٦	١٥١١٩	٤,١٧٩٥	٤٣	٠,٣٦٧٥
١٩١٥	١٤٦٠٩	١٥١١٩	٤,١٧٩٥	٤٤	٠,٣٧٦١
١٩١٦	١٥١١٩	١٥٠٦٢	٤,١٧٧٩	٤٥	٠,٣٨٤٦
١٩١٧	١٤٨٦٤	١٤٨٩٢	٤,١٧٢٩	٤٦	٠,٣٩٣٢
١٩١٨	١٣٣٠٧	١٤٨٦٤	٤,١٧٢١	٤٧	٠,٤٠١٧
١٩١٩	١٣٦٧٥	١٤٨٦٤	٤,١٧٢١	٤٨	٠,٤١٠٣
١٩٢٠	١٥٢٣٢	١٤٨٣٦	٤,١٧١٣	٤٩	٠,٤١٨٨

تابع الجدول رقم (١٣، ٢).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	$\log Q$	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٢١	١٠٢٧٨	١٤٧٥١	٤,١٦٨٨	٥٠	٠,٤٢٧٠
١٩٢٢	١٥٥١٥	١٤٦٣٨	٤,١٦٥٥	٥١	٠,٤٣٥٩
١٩٢٣	١٣٤٧٧	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٢	٠,٤٤٤٤
١٩٢٤	١٥٧٧٠	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٣	٠,٤٥٣٠
١٩٢٥	١٠١٩٣	١٤٦٠٩	٤,١٦٤٦	٥٤	٠,٤٦١٥
١٩٢٦	١١٩٧٦	١٤٥٨١	٤,١٦٣٨	٥٥	٠,٤٧٠١
١٩٢٧	١٦٦٧٦	١٤٥٨١	٤,١٦٣٨	٥٦	٠,٤٧٨٦
١٩٢٨	١٢٢٣١	١٤٥٢٤	٤,١٦٢١	٥٧	٠,٤٨٧٢
١٩٢٩	١٤٥٨١	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٥٨	٠,٤٩٥٧
١٩٣٠	١٠٨١٥	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٥٩	٠,٥٠٤٣
١٩٣١	١٠٦١٧	١٤٤٣٩	٤,١٥٩٥	٦٠	٠,٥١٢٨
١٩٣٢	١٥١٤٧	١٤٣٢٦	٤,١٥٦١	٦١	٠,٥٢١٤
١٩٣٣	١٩٩٣٢	١٤٢١٣	٤,١٥٢٧	٦٢	٠,٥٢٩٩
١٩٣٤	١١٦٠٨	١٤١٨٥	٤,١٥١٨	٦٣	٠,٥٣٨٥
١٩٣٥	١٥٧٩٨	١٤١٨٥	٤,١٥١٨	٦٤	٠,٥٤٧٠
١٩٣٦	١٧٦١١	١٤٠٧١	٤,١٤٨٣	٦٥	٠,٥٥٥٦
١٩٣٧	٣١٤٢٧	١٣٩٥٨	٤,١٤٤٨	٦٦	٠,٥٦٤١
١٩٣٨	٩٧٩٦	١٣٩٥٨	٤,١٤٤٨	٦٧	٠,٥٧٣٠
١٩٣٩	١٧٩٧٩	١٣٩٣٠	٤,١٤٣٩	٦٨	٠,٥٨١٢
١٩٤٠	١٦٩٣١	١٣٦٧٥	٤,١٣٥٩	٦٩	٠,٥٨٩٧
١٩٤١	٧٧٥٨	١٣٥٠٥	٤,١٣٠٥	٧٠	٠,٥٩٨٣
١٩٤٢	١١٣٨٢	١٣٤٧٧	٤,١٢٩٦	٧١	٠,٦٠٦٨

تابع الجدول رقم (١٣، ٢).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٤٣	١٧٤٦٩	١٣٣٠٧	٤,١٢٤١	٧٢	٠,٦١٥٤
١٩٤٤	١٣١٠٩	١٣٢٧٩	٤,١٢٣١	٧٣	٠,٦٢٤٠
١٩٤٥	٢٣٨٦٨	١٣١٩٤	٤,١٢٠٤	٧٤	٠,٦٣٢٥
١٩٤٦	١٣٥٠٥	١٣١٦٥	٤,١١٩٤	٧٥	٠,٦٤١٠
١٩٤٧	٩٩٦٦	١٣١٠٩	٤,١١٧٦	٧٦	٠,٦٤٩٦
١٩٤٨	١٩٤٥١	١٣٠٨٠	٤,١١٦٦	٧٧	٠,٦٥٨١
١٩٤٩	١٤٤٣٩	١٢٩١١	٤,١١٠٩	٧٨	٠,٦٦٦٧
١٩٥٠	١٧٢٤٢	١٢٧٩٧	٤,١٠٧١	٧٩	٠,٦٧٥٢
١٩٥١	١٤٨٩٢	١٢٢٣١	٤,٠٨٧٥	٨٠	٠,٦٨٣٨
١٩٥٢	١٥٨٥٥	١٢١٤٦	٤,٠٨٤٤	٨١	٠,٦٩٢٣
١٩٥٣	٨٨٩٠	١٢١١٨	٤,٠٨٣٤	٨٢	٠,٧٠٠٨
١٩٥٤	٦٧١٠	١٢٠٦١	٤,٠٨١٤	٨٣	٠,٧٠٩٤
١٩٥٥	١٧٢١٤	١٢٠٣٣	٤,٠٨٠٤	٨٤	٠,٧١٧٩
١٩٥٦	١٣٨٣٦	١١٩٧٧	٤,٠٧٨٣	٨٥	٠,٧٢٦٥
١٩٥٧	١٣٩٥٨	١١٩٢٠	٤,٠٧٦٣	٨٦	٠,٧٣٥٠
١٩٥٨	١٥٧٧٠	١١٨٩١	٤,٠٧٥٢	٨٧	٠,٧٤٣٦
١٩٥٩	١٤٥٨١	١١٨٣٥	٤,٠٧٣٢	٨٨	٠,٧٥٢١
١٩٦٠	١٠٢٤٩	١١٨٣٥	٤,٠٧٣٢	٨٩	٠,٧٦٠٧
١٩٦١	١٦٧٨٩	١١٨٠٦	٤,٠٧٢١	٩٠	٠,٧٦٩٢
١٩٦٢	١٧٨٦٥	١١٧٧٨	٤,٠٧١١	٩١	٠,٧٧٧٨
١٩٦٣	١٦٦٤٨	١١٦٣٧	٤,٠٦٥٨	٩٢	٠,٧٨٦٣
١٩٦٤	٢٢٢٢٥	١١٦٣٧	٤,٠٦٥٨	٩٣	٠,٧٩٤٩

تابع الجدول رقم (١٣، ٢).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	$\log Q$	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٦٥	١٣١٩٤	١١٦٠٨	٤,٠٦٤٨	٩٤	٠,٨٠٣٤
١٩٦٦	١٤٦٠٩	١١٣٨٢	٤,٠٥٦٢	٩٥	٠,٨١٢٠
١٩٦٧	١٨١٧٧	١١٣٢٥	٤,٠٥٤٠	٩٦	٠,٨٢٠٥
١٩٦٨	١٦٥٩١	١١٠٧٠	٤,٠٤٤٢	٩٧	٠,٨٢٩١
١٩٦٩	٩٩٦٦	١١٠١٤	٤,٠٤١٩	٩٨	٠,٨٣٧٦
١٩٧٠	١٤٣٢٦	١٠٨١٥	٤,٠٣٤٠	٩٩	٠,٨٤٦١
١٩٧١	١٣١٦٥	١٠٦١٧	٤,٠٢٦٠	١٠٠	٠,٨٥٤٧
١٩٧٢	١٤٧٥١	١٠٢٧٨	٤,٠١١٩	١٠١	٠,٨٦٣٢
١٩٧٣	١٥٠٦٢	١٠٢٤٩	٤,٠١٠٧	١٠٢	٠,٨٧١٨
١٩٧٤	١٥٨٨٣	١٠١٩٣	٤,٠٠٨٣	١٠٣	٠,٨٨٠٣
١٩٧٥	١٤٦٠٩	١٠١٣٦	٤,٠٠٥٩	١٠٤	٠,٨٨٨٩
١٩٧٦	١٣٩٣٠	٩٩٦٦	٣,٩٩٨٥	١٠٥	٠,٨٩٧٤
١٩٧٧	١٤٤٣٩	٩٩٦٦	٣,٩٩٨٥	١٠٦	٠,٩٠٦٠
١٩٧٨	١٧٣٢٧	٩٨٨١	٣,٩٩٤٨	١٠٧	٠,٩١٤٥
١٩٧٩	١٧٩٧٩	٩٧٩٦	٣,٩٩١١	١٠٨	٠,٩٢٣١
١٩٨٠	١١٠١٤	٩٥٤١	٣,٩٧٩٦	١٠٩	٠,٩٣١٦
١٩٨١	١١٨٩١	٨٨٩٠	٣,٩٤٨٩	١١٠	٠,٩٤٠٢
١٩٨٢	١٣٠٨٠	٨٢٩٦	٣,٩١٨٨	١١١	٠,٩٤٨٧
١٩٨٣	١٤٨٦٤	٨٢٦٧	٣,٩١٧٤	١١٢	٠,٩٥٧٣
١٩٨٤	١٢٩١١	٧٨٤٣	٣,٨٩٤٥	١١٣	٠,٩٦٥٨
١٩٨٥	١٢٠٣٣	٧٧٥٨	٣,٨٨٩٧	١١٤	٠,٩٧٤٤
١٩٨٦	١٣٩٥٨	٦٨٥٢	٣,٨٣٥٨	١١٥	٠,٩٨٢٩

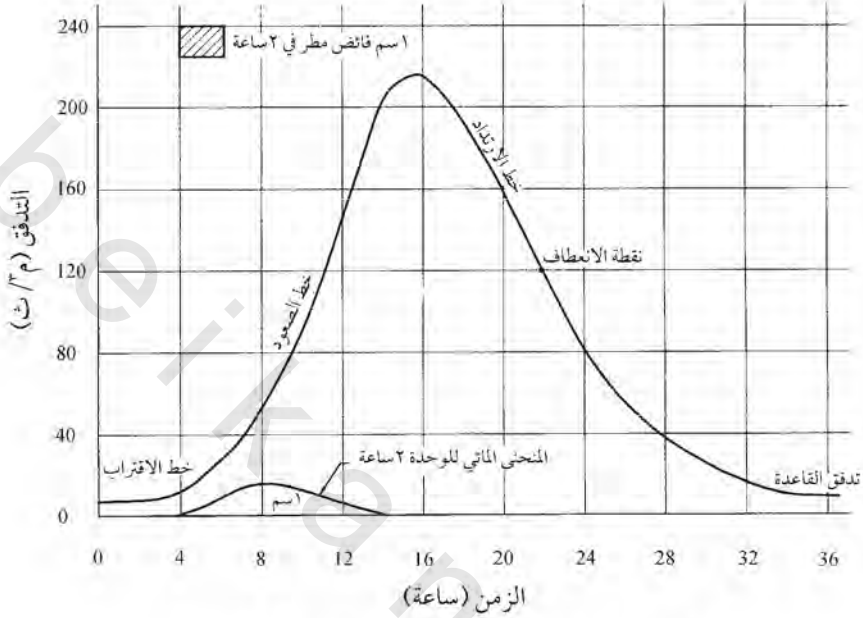
تابع الجدول رقم (٢، ١٣).

عام	Q (م ^٣ /ث)	Q مرتبة	log Q	الدرجة	موقع التمثيل البياني
١٩٨٧	١٢١١٨	٦٧١٠	٣,٨٢٧٣	١١٦	٠,٩٩١٤
المجموع	١٦٦٢٢١٠	١٦٦٢٢١٠	٤٨٠,٥١٩		
المتوسط ($\bar{X}$)	١٤٣٢٩,٤	١٤٣٢٩,٤	٤,١٤٢٤٠٥		
الانحراف القياسي (s)	٣٦٧٧,٠	٣٦٧٧,٠	٠,١١٠٨٧٥		
الالتواء (G)	١,٠١٠٨٨٨	١,٠١٠٨٨٨	-٠,٢٤٠٢٦		

المنحنيات المائية للجريان السطحي

Surface Runoff Hydrographs

يتضمن هذا تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لمجرى الماء عند النقطة موضع الاهتمام. المنحنى المائي هو تمثيل بياني (أو تمثيل جداولي) للتدفقات مقابل الزمن. المنحنيات المائية للجريان السطحي الناتجة من أحداث التدفقات المفاجئة (العواصف) للفترة المحددة موضحة هنا. قمة المنحنى المائي للجريان السطحي للتدفق المفاجئ (للعاصفة) في $T - y_T$ يفترض أن يمثل قمة تدفق $T - y_T$ ، رغم أن هذا يمكن ألا يطابق دائماً تدفق قمة $T - y_T$ المقدّر إحصائياً. طرق تحديد المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (PMF) موضحة في جزء من هذا الفصل بعنوان "المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل". يتكون المنحنى المائي للجريان السطحي من طرف الاقتراب المرتفع ببطء، والطرف المرتفع سريعاً نسبياً، والطرف المنحسر الذي يتصل بالمنحنى المائي لتدفق القاعدة (الشكل رقم ٢، ٢).



الشكل رقم (٢،٢). المنحنى المائي النموذجي للجريان السطحي.

عادةً، يتم تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي باستخدام نماذج الحاسب الآلي، مثل (HEC-HMS USACE 2002) و (HEC-1 USACE 1991a) و (TR-20 USDA 1983a) و (SEDIMOT-II Wilson et al. 1984). والطريقة الأكثر شيوعاً في الاستخدام لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي هي لف وحدة الإحداثيات الرأسية (الصادية) للمنحنى المائي مع زيادات سقوط المطر الزائدة لوحدة المدة المرتبة في تتابع مناسب. اللف هو عملية مضاعفة وتجميع. والزيادة في سقوط المطر هي التساقط ناقص الفواقد. البيانات اللازمة لعمل المنحنى المائي للجريان السطحي هي كالتالي:

- معاملات حوض الصرف بما فيها منطقة الصرف وزمن التركيز أو زمن الإعاقة لحساب منحنى الوحدة المائي لحوض النهر.
- مدة وزمن توزيع التساقط وانسياب الجليد الذائب.
- فواقد التربة.
- المنحنى المائي لتدفق القاعدة.

ينقسم حوض الصرف الكلي إلى أحواض صرف فرعية، يمثل كل منها مساحة صرف خط فرعي مهم للمجرى المائي الأساسي. ويعتمد تحديد أحواض صرف الخطوط الفرعية المهمة على الحكم. كلما كان عدد أحواض الصرف أكبر، كلما كانت شبكة العمل الهيدرولوجية أكثر تعقيداً. يجب تحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لكل حوض صرف فرعي، محفور على امتداد القنوات مشتركة الاتصال، ويدمج مع المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحواض الصرف الفرعية الأخرى التي توجد في مواقع مناسبة. ويجب إعداد المنحنى البياني الخطي لشبكة العمل ليوضح موقع كل حوض صرف فرعي ومسار تدفق الجريان السطحي من كل أحواض الصرف الفرعية إلى النقطة حيث يتم تحديد المنحنى المائي المركب للجريان السطحي لحوض الصرف بأكمله. في بعض الأحيان، فإن تقسيم حوض الصرف إلى أعداد مختلفة من أحواض الصرف الفرعية يمكن أن يؤدي إلى تدفقات قمة مختلفة يمكن ملاحظتها عند منفذ حوض الصرف. إذا تم اختيار كل معاملات المنحنيات المائية بشكل منسجم ويتم استخدام معاملات المنحنى المائي الموزونة لإيضاح مساهمة الخطوط الفرعية الثانوية في كل حوض صرف فرعي، فإن الاختلاف في عدد أحواض الصرف الفرعية التي ينقسم إليها حوض الصرف يمكن ألا تؤدي إلى اختلافات ذات أهمية (أي، أكبر من حوالي ١٠٪) في تدفقات القمة المقدرة لحوض الصرف بأكمله (Prakash 1987).

طرق تقدير زمن التركيز أو زمن الإعاقة موضحة في جزء من هذا الفصل بعنوان "الطريقة المنطقية".

المنحنى المائي الودودي Unit Hdrograph

المنحنى المائي الودودي هو المنحنى المائي للجريان المباشر من حوض الصرف الناتج من عمق وحدة تساقط المطر الفعالة (أي، التساقط ناقص الفواقد)، الموزع بشكل منتظم على مساحة حوض الصرف والذي يحدث أثناء فترة محددة من الزمن تعرف بمدة الوحدة. يجب أن تكون وحدة المدة صغيرة بما فيه الكفاية حتى يمكن افتراض أن معدل الترسيب أثناء هذه الفترة ثابتاً. وبشكل عام، فإن القيمة الأصغر من ٢٩،٠ مرة في زمن الإعاقة تعد معقولة (USACE 1991a). والطريقتان المستخدمتان لتحديد منحنى مائي وحدودي هما المباشرة وغير المباشرة (الطرق الصناعية). في الطريقة المباشرة، فإن مساحة حوض الصرف الفرعي، والمنحنى المائي للانصباب الملاحظ عند منفذ حوض الصرف الفرعي، ومتغيرات تدفق القاعدة المقدرة أو المنحنى المائي لتدفق القاعدة، والتساقط المتعلق بالمنحنى المائي للانصباب الملاحظ، ومتغيرات الفقد في التساقط، وزمن الإعاقة تستخدم كمدخل لاستنتاج المنحنى المائي الودودي. وحتى تكون هذه الطريقة قابلة للتطبيق، فإن المنحنى المائي للمنفذ الملاحظ يجب أن يكون الناتج عن تدفق مفاجئ معزول ذو شدة منتظمة خلال فترته وتوزيعاً منتظماً على حوض الصرف الفرعي بأكمله. وفي نموذج HEC-1، تدمج هذه الطريقة في شكل "منهجية الكمال" (USACE 1991a). (راجع المراجع الأخرى لزيادة التفاصيل، مثل ASCE 1996) ويكون الترسيب غالباً مطلوباً لتحديد واستخدام المنحنيات المائية الودودية الصناعية (المركبة) التي يتم حسابها باستخدام الطرق غير المباشرة. وبعض الطرق البسيطة نسبياً لتحديد المنحنيات المائية الودودية هي التالية:

المنحنى المائي الوحدوي اللابعدي (USDA 1972, 1985; USBR 1987)

Dimensionless Unit Hydrograph

قامت العديد من الوكالات (مثل، USDA و USBR) بتحديد المنحنيات المائية العامة عديمة البعد والوحدة (أي، المنحنيات البيانية أو الجداول للتصرف عديم البعد مقابل الزمن عديم البعد) القابل للتطبيق على أحواض الصرف ذات الأحجام المختلفة في المناطق المختلفة. وقد أدمج نموذج HCE-1 قيم المنحنى المائي اللابعدي SCS (أي، t/t_p) مقابل (q/q_p) مع شفرته، حيث t تساوي الزمن بالساعة الذي يكون خلاله الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي (UHO) هو q ($م^3/ث$)، و t_p يساوي الزمن من البداية إلى القمة للمنحنى المائي الوحدوي بالساعة، و q_p قمة الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي ($م^3/ث$). إذا كانت مساحة حوض الصرف الفرعي A (كم^٢)، ومدة الوحدة t_r (ساعة)، وزمن الإعاقه t_L (ساعة)، معلومة فإن:

$$(٢,٢٧) \quad t_p = t_T / 2 + t_L$$

$$(٢,٢٨) \quad q_p = 2.08 A / t_p$$

كما ذكر سابقاً، $t_T = 0.29 t_L$. ولأي زمن t ، فإن النسبة t/t_p يتم حسابها من المعادلة رقم (٢.٢٧) ويتم الحصول على قيمة q/q_p المناظرة من الجداول التي يحسب منها q (الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الوحدوي UHO عند زمن t). من وجهة نظر عملية، فإن هذه واحدة من أكثر الطرق ملائمة لأنها تتطلب فقط متغير واحد t_L ، ليتم تقديره، بالإضافة إلى مساحة حوض الصرف الفرعي.

المنحنى المائي الوحدوي لكلارك (ASCE 1996; USACE 1991a,2002)

Clark's Unit Hydrograph

لاستخدام هذه الطريقة، تقسم مساحة حوض الصرف إلى مناطق متعددة عن طريق المتساويات الزمنية، وهي المحليات الهندسية للنقاط المتساوية في أزمنة الانتقال

حتى منفذ حوض الصرف الفرعي. والمساحة بين كل متساوية زمنية ومنفذ حوض الصرف يتم إجراء المسح عليها يعبر عنها بمنحنى زمن مساحة لابعدي أو جدول بين $A^* = A(i)/A$ و $t^* = t(i)/t_c$ ، حيث $A(i)$ = المساحة و $t(i)$ = زمن الانتقال من المتساوية الزمنية i إلى منفذ حوض الصرف. إذا لم يكن منحنى الزمن المساحة لموقع معين متاحاً، فإنه يمكن استخدام معادلات نماذج HEC-1 و HEC-HMS:

$$A^* = 1.414(t^*)^{1.5} \quad 0 \leq t^* < 0.5 \quad (٢,٢٩)$$

$$1 - A^* = 1.414(1 - t^*)^{1.5} \quad 0.5 \leq t^* < 1.0 \quad (٢,٢٩ ب)$$

برغم عدم الضرورة المطلقة، فإن خطوة الزمن في الحسابات تؤخذ عادة على أنها نفس مدة الوحدة المختارة Δt . ويمكن حساب الإحداثيات الصادية للمنحنى المائي الوحدوي لكلا ركن عن طريق التالي:

$$B(t) = A[A^*(t) - A^*(t - \Delta t)] \quad (٢,٣٠)$$

$$q(t) = 2C_0 B(t) + C_1 q(t + \Delta t) \quad (٢,٣١)$$

$$U(t) = 0.5[q(t - \Delta t) + q(t)] \quad (٢,٣٢)$$

$$C_0 = \Delta t / (2K + \Delta t) \quad (٢,٣٣)$$

$$C_1 = 1 - 2C_0 \quad (٢,٣٤)$$

حيث إن K هي معامل التخزين بوحدات الزمن. وتكون هذه الطريقة مفيدة فقط عندما يكون موقع محدد أو قيمة إقليمية متاحة أو يمكن تقديرها. ويمكن إيجاد طرق لتقدير K في مراجع أخرى (مثل، Bras 1990; Ponce 1989; USACE 1960).

المنحنى المائي الوحدوي لسنايدر Snyder's Unit Hydrograph

لا تنتج هذه الطريقة المنحنى المائي الوحدوي الكامل. وهي تقدم اتساع القاعدة بالساعة، وقمة التدفق (m^3/s)، والاتساعات عند ٥٠٪ و ٧٥٪ من قمة

التدفق بالساعة وتكون مفيدة فقط عندما تكون القيم المعاييرة لمعاملات سنايدر C_p و t_L للمنطقة أو حوض الصرف متاحة. ويتم تقدير المعامل t_L ن المعادلة رقم (٢.٧) و C_p هو ثابت في المعادلة:

$$(٢,٣٥) \quad q_p = 2.78 C_p A / t_L$$

والقيم النموذجية لـ C_p هي ٠,٩٤ لأحواض الصرف الشبيهة بالتي توجد في جنوب كاليفورنيا، و ٠,٦٣ للشبيهة لمرتفعات أبلاشيان الجبلية، و ٠,٣١ للشبيهة بالأجزاء من الولايات التي تحده الساحل الشرقي للمكسيك. تفاصيل الطريقة موجودة في مراجع أخرى، مثل (SCE 1996; Chow 1964) بمعرفة C_p و t_L يمكن استخدام نموذج HEC-1 لتحديد المنحنى المائي الودوي لسنايدر. ويستخدم هذا النموذج طريقة المحاولة والخطأ للحصول على معاملات كلارك المناظرة وبالتالي ينتج المنحنى المائي الودوي. ويتم افتراض قيمة أولية لمعامل كلارك، K ، ويتم تقدير زمن التركيز من العلاقة، $t_c = t_L / 0.6$ ، ويتم حساب الإحداثي الصادي للمنحنى المائي الودوي من مدة الوحدة المرغوبة، Δt . وبالتالي يتم حساب قيم المحاولة لمعاملات سنايدر من:

$$(٢,٣٦) \quad C'_p = q'_p (t'_p - 0.5\Delta t) / (2.78A)$$

$$(٢,٣٧) \quad t'_L = 1.048 (t'_p - 0.75\Delta t)$$

حيث إن:

$t'_p =$ الزمن عندما تقع q'_p على الإحداثيات الصادية للرسم المائي الودوي لكلارك.

$q'_p =$ أقصى إحدائي صادي للرسم المائي الودوي.

القيم المفترضة مبدئياً لكل من t_c و K تضبط للتعويض عن الفروق بين

قيم C'_p و t'_L المحسوبة والقيم المعطاة لكل من C_p و t_L . ويعاد حساب مجموعة

جديدة من C_p' و t_L' حتى تصبح هذه القيم قريبة الاتفاق مع القيم المعطاة مع درجة اختلاف مقبولة (مثلاً ١٪). ثم تستخدم المجموعة النهائية لتصوير الإحداثي الصادي للمنحنيات المائية الوحدية لكلارك.

طريقة الموجة الكينيماتيكية Kinematic Wave Method

هذه الطريقة تدمج في نماذج HEC-1 و HEC-HMS (USACE 1991a, 2002) وتكون مفيدة عند تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحواض الصرف الفرعية التي تكوّن التدفقات الجانبية إلى المجاري المائية. وهي مفيدة أيضاً عند تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي للتدفقات عبر الحدود الخطية لأحواض الصرف الفرعية. ويمكن تقسيم مساحة حوض النهر التي تساهم في التدفق الجانبي إلى المجرى المائي إلى وحدات فرعية منفصلة اعتماداً على ميل الأرض أو أنواع أغطية السطح أو اتجاه السريان. على سبيل المثال، ويمكن حساب الجريان السطحي إلى المجرى المائي من الجانب الأيمن والأيسر من الشاطئ باستخدام وحدتين فرعيتين مختلفتين لنفس حوض النهر. ويجب القيام بحسابات الجريان السطحي بشكل منفصل لكل وحدة فرعية. ويفترض أن يتدفق سقوط المطر الزائد جانبياً إلى المجرى المائي خلال قناة مستطيلة عريضة. ويتم استخدام كل من طول مسار التدفق L ، وميل الأرض S ، ومعامل ماننق للخشونة n ، والنسبة المئوية لمساحة حوض النهر الذي تمثله هذه الوحدة الفرعية، كمعاملات معطاة. ويختلف معامل ماننق للخشونة للجريان السطحي بشكل نموذجي من 0.5 للكساء الأخضر الكثيف إلى 0.10 للأعماق شديدة الضحلة على الأسطح المرصوفة بالخرسانة أو الإسفلت. ويستخدم معامل الخشونة وميل الأرض لحساب معاملات الموجة الكينيماتيكية α و m . وفي حالة القناة العريضة حيث يكون المحيط المبتل (الملامس للسائل المتدفق) مساوياً

تقريباً لعرض القناة، فإن تقريب الموجة الكينيماتيكية للتصرف Q ، هو:

(٢,٣٨)

$$Q = \alpha A^m$$

حيث إن:

$$\alpha = (1/n)S^{1/3}$$

$$m = 5/3$$

يعرف q بأنه معدل سقوط المطر الزائد لكل وحدة عرض من مسار التدفق إلى القناة.

معادلة التسلسل الناتجة مع تقريب الموجة الكينيماتيكية هي:

(٢,٣٩)

$$\partial A / \partial t + \alpha m A^{m-1} \partial A / \partial x = q$$

يتم حل الشكل المنفصل من المعادلة رقم (٢,٣٩) رقمياً لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي للتدفق البري لكل وحدة عرض من الوحدة الفرعية. ويقدر متوسط عرض الوحدة الفرعية عن طريق قسمة مساحته على متوسط الطول L . ويتم ضرب الإحداثيات الرأسية للمنحنيات المائية للجريان السطحي في هذا العرض للحصول على المنحنى المائي للجريان السطحي للوحدة الفرعية كاملاً. المنحنيات المائية للجريان السطحي من هذه الوحدات الفرعية تدمج مع المنحنى المائي الذي يدخل بداية المجرى المائي أو منشئ المياه الفرعي عند حافة منبع التدفق لكل وحدة فرعية. وتفصيل أكثر عن هذه الطريقة تجدها في مراجع أخرى (مثل، USACE 1991a, 2002).

عمق ومدة المطر التصميمي Design Storm Duration and Depth

يتم حساب مدة المطر (التساقط) التصميمي لمنشئ المياه باستخدام زمن الحركة المقدّر للجريان السطحي من الحافة العلوية لمنشئ المياه إلى النقطة موضع الاهتمام خلال مسارات الجريان السطحي، والقنوات، والخزانات. وأوضحت دراسة لبيانات أقصى تدفق سنوي لأحد المجاري المائية في ولاية ميريلاند أن مدة تدفق مفاجئ (عاصفة) ٢٤ ساعة يمكن أن يكون ملائماً لمساحة صرف من ٥ - ١٣٠ كم^٢

(Levy MacCuen 1999). ويمكن استخدام مدد تدفق مفاجئ (عاصفة) أصغر لأحواض صرف أصغر بأزمنة تحرك أصغر للجريان السطحي، ومدة من ٢٤ - ٩٦ ساعة يمكن أن تكون ضرورية لأحواض صرف أكبر. ويمكن الحصول على أعماق التساقط لفترات العودة المرغوبة والمدد من NOAA Atlas2 للإحدى عشر ولاية غربية (NOAA 1973)، ومن TP-40 للولايات المجاورة الأخرى (Hershfield 1961)، والبحث العلمي رقم ٤٧ لآلاسكا (Miller 1963)، والبحث العلمي رقم ٤٣ لهاواي (USDOC 1962)، والبحث العلمي رقم ٤٢ لبورتوريكو وجزر فيرجين (USDOC 1961). وطرق تقدير متوسط أعماق التساقط المساحي من تقديرات النقطة محتواة أيضاً في هذه البحوث.

وللف مع الإحداثيات الرأسية للمنحنى المائي للوحدة، فإنه يجب تقسيم أعماق التساقط إلى فترات زمنية تساوي وحدة المدة ومتتالية لتقريب المدة الزمنية للتساقط في حالة التدفق المفاجئ موضع الاهتمام. وقد تم اقتراح طرق متعددة للتوزيع الزمني ولتتالي التساقط الزائد. وإذا كانت المنحنيات المائية لحدث سقوط المطر في الموقع المجاور متاحة، فإن التوزيع وتتالي التساقط الزائد لتدفق التصميم يجب أن يتم اختياره قريباً للتدفقات الملحوظة بقدر الإمكان. وبعض الطرق شائعة الاستخدام موضحة في الجزء التالي:

طريقة SCS Method

عبرت طريقة SCS عن التوزيع الزمني وتتالي ٢٤ ساعة سقوط مطر عن طريق أربعة منحنيات تطبق على مناطق مختلفة من الولايات المتحدة. والتوزيعات التقريبية لأعماق التساقط المناسبة لاستخدام الحاسب مبينة في الجدول رقم (٢.١٤) (USDA 1986; Ponce 1989).

توزيع النوع ١ يطبق على هاواي، والجانب الساحلي من سيرا نيفادا في جنوب كاليفورنيا، والمناطق الداخلية من ألاسكا. النوع ١١ يمثل المناطق على الجانب الساحلي من سيرا نيفادا وجبال كاسكاد في أوريغون وواشنطن وشمال كاليفورنيا والمناطق الساحلية في ألاسكا. ويمثل النوع ٣ خليج المكسيك والمناطق الساحلية الأطلنطية حيث تجلب العواصف الاستوائية كميات كبيرة من سقوط المطر في ٢٤ ساعة. ويطبق النوع ٢ على بقية الولايات المتحدة وبورتوريكو وجزر فيرجين. إن توزيعات النوع ٢ والنوع ٣ شبيهة جدا لبعضها البعض.

الجدول رقم (٢، ١٤). التوزيع الزمني وتتالي عواصف التصميم.

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١١	النوع ٢	النوع ٣
٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠	٠,٠٠٠٠٠
٠,٥	٠,٠٠٨٧١	٠,٠١٠٠٠	٠,٠٠٥١٣	٠,٠٠٥٠٠
١,٠	٠,٠١٧٤٥	٠,٠٢٠٠٠	٠,٠١٠٥٠	٠,٠١٠٠٠
١,٥	٠,٠٢٦٢١	٠,٠٣٥٠٠	٠,٠١٦١٣	٠,٠١٥٠٠
٢,٠	٠,٠٣٥٠٠	٠,٠٥٠٠٠	٠,٠٢٢٠٠	٠,٠٢٠٠٠
٢,٥	٠,٠٤٤١٦	٠,٠٦٦٠٠	٠,٠٢٨١٣	٠,٠٢٥١٩
٣,٠	٠,٠٥٤٠٥	٠,٠٨٢٠٠	٠,٠٣٤٥٠	٠,٠٣٠٧٥
٣,٥	٠,٠٦٤٦٦	٠,٠٩٨٠٠	٠,٠٤١١٣	٠,٠٣٦٦٩
٤,٠	٠,٠٧٦٠٠	٠,١١٦٠٠	٠,٠٤٨٠٠	٠,٠٤٣٠٠
٤,٥	٠,٠٨٧٨٤	٠,١٣٥٠٠	٠,٠٥٥٢٥	٠,٠٤٩٦٩
٥,٠	٠,٠٩٩٩٥	٠,١٥٦٠٠	٠,٠٦٣٠٠	٠,٠٥٦٧٥
٥,٥	٠,١١٢٣٤	٠,١٨٠٠٠	٠,٠٧١٢٥	٠,٠٦٤١٩
٦,٠	٠,١٢٥٠٠	٠,٢٠٦٠٠	٠,٠٨٠٠٠	٠,٠٧٢٠٠

تابع الجدول رقم (٢، ١٤).

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١ أ	النوع ٢	النوع ٣
٦,٥	٠,١٣٩١٥	٠,٢٣٧٠٠	٠,٠٨٩٢٥	٠,٠٨٠٦٣
٧,٠	٠,١٥٦٠٠	٠,٢٦٨٠٠	٠,٠٩٩٠٠	٠,٠٩٠٥٠
٧,٥	٠,١٧٤٦٠	٠,٣١٠٠٠	٠,١٠٩٢٥	٠,١٠١٦٣
٨,٠	٠,١٩٤٠٠	٠,٤٢٥٠٠	٠,١٢٠٠٠	٠,١١٤٠٠
٨,٥	٠,٢١٩٠٠	٠,٤٨٠٠٠	٠,١٣٢٢٥	٠,١٢٨٤٤
٩,٠	٠,٢٥٤٠٠	٠,٥٢٠٠٠	٠,١٤٧٠٠	٠,١٤٥٧٥
٩,٥	٠,٣٠٣٠٠	٠,٥٥٠٠٠	٠,١٦٣٠٠	٠,١٦٥٩٤
١٠,٠	٠,٥١٥٠٠	٠,٥٧٧٠٠	٠,١٨١٠٠	٠,١٨٩٠٠
١٠,٥	٠,٥٨٣٠٠	٠,٦٠١٠٠	٠,٢٠٤٠٠	٠,٢١٦٥٠
١١,٠	٠,٦٢٣٠٠	٠,٦٢٤٠٠	٠,٢٣٥٠٠	٠,٢٥٠٠٠
١١,٥	٠,٦٥٥٥٠	٠,٦٤٥٠٠	٠,٢٨٣٠٠	٠,٢٩٨٠٠
١٢,٠	٠,٦٨٤٠٠	٠,٦٦٤٠٠	٠,٢٦٣٠٠	٠,٥٠٠٠٠
١٢,٥	٠,٧٠٩٢٥	٠,٦٨٣٠٠	٠,٧٣٥٠٠	٠,٧٠٢٠٠
١٣,٠	٠,٧٣٢٠٠	٠,٧٠١٠٠	٠,٧٧٢٠٠	٠,٧٥٠٠٠
١٣,٥	٠,٧٥٢٢٥	٠,٧١٩٠٠	٠,٧٩٩٠٠	٠,٧٨٣٥٠
١٤,٠	٠,٧٧٠٠٠	٠,٧٣٦٠٠	٠,٨٢٠٠٠	٠,٨١١٠٠
١٤,٥	٠,٧٨٦٢٥	٠,٧٥٢٨١	٠,٨٣٧٦٣	٠,٨٣٤٠٦
١٥,٠	٠,٨٠٢٠٠	٠,٧٦٩٢٤	٠,٨٥٣٥٠	٠,٨٥٤٢٥
١٥,٥	٠,٨١٧٢٥	٠,٧٨٥٢٩	٠,٨٦٧٦٣	٠,٨٧١٥٦
١٦,٠	٠,٨٣٢٠٠	٠,٨٠٠٩٦	٠,٨٨٠٠٠	٠,٨٨٦٠٠
١٦,٥	٠,٨٤٦٢٥	٠,٨١٦٢٥	٠,٨٩١١٩	٠,٨٩٨٣٨
١٧,٠	٠,٨٦٠٠٠	٠,٨٣١١٦	٠,٩٠١٧٥	٠,٩٠٩٥٠

تابع الجدول رقم (٢، ١٤).

المدة (ساعة)	النوع ١	النوع ١ أ	النوع ٢	النوع ٣
١٧,٥	٠,٨٧٣٢٥	٠,٨٤٥٦٩	٠,٩١١٦٩	٠,٩١٩٣٨
١٨,٠	٠,٨٨٦٠٠	٠,٨٥٩٨٤	٠,٩٢١٠٠	٠,٩٢٨٠٠
١٨,٥	٠,٨٩٨٢٥	٠,٨٧٣٦١	٠,٩٢٩٦٩	٠,٩٣٥٨١
١٩,٠	٠,٩١٠٠٠	٠,٨٨٧٠٠	٠,٩٣٧٧٥	٠,٩٤٣٢٥
١٩,٥	٠,٩٢١٢٥	٠,٩٠٠٠١	٠,٩٤٥١٩	٠,٩٥٠٣١
٢٠,٠	٠,٩٣٢٠٠	٠,٩١٢٦٤	٠,٩٥٢٠٠	٠,٩٥٧٠٠
٢٠,٥	٠,٩٤٢٢٥	٠,٩٢٤٨٩	٠,٩٥٨٤٤	٠,٩٦٣٣٦
٢١,٠	٠,٩٥٢٠٠	٠,٩٣٦٧٦	٠,٩٦٤٧٥	٠,٩٦٩٤٤
٢١,٥	٠,٩٦١٢٥	٠,٩٤٨٢٥	٠,٩٧٠٩٤	٠,٩٧٥٢٣
٢٢,٠	٠,٩٧٠٠٠	٠,٩٥٩٣٦	٠,٩٧٧٠٠	٠,٩٨٠٧٥
٢٢,٥	٠,٩٧٨٢٥	٠,٩٧٠٠٩	٠,٩٨٢٩٤	٠,٩٨٥٩٨
٢٣,٠	٠,٩٨٦٠٠	٠,٩٨٠٤٤	٠,٩٨٨٧٥	٠,٩٩٠٩٤
٢٣,٥	٠,٩٩٣٢٥	٠,٩٩٠٤١	٠,٩٩٤٤٤	٠,٩٩٥٦١
٢٤,٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠	١,٠٠٠٠٠

المصدر: (USDA (1986) ; Ponce (1989).

منهج نموذج HEC-1 Model Approach

يستخدم هذا النموذج قيم محددة من أعماق التساقط في فترات ٥، ١٥، ٦٠ دقيقة و ٢، ٣، ٦، ١٢، ٢٤، ٩٦، ١٦٨، ١٤٠ ساعة اعتماداً على مدة تدفق عاصفة التصميم. ويكون النموذج توزيعاً مثلثاً بعمق نزول مطر محدد لأي مدة يحدث أثناء الجزء المركزي من التدفق المفاجئ (العاصفة). وتعتبر هذه الطريقة مناسبة للحالات التي لا يمكن تحديد متتاليات الموقع المحددة للتساقط الزائد.

فواقد التربة Soil Losses

تشمل فواقد التربة الجزء من التساقط الذي يفقد بسبب التسرب والنتح والحجز بالكساء الأخضر ومخزون الانخفاض والتبخر. وطرق تقدير فواقد التربة بسيطة نسبياً في الاستخدام ولا تتطلب وجود معاملات. وبعض الصعوبات النسبية التي تواجه الحصول على فواقد التربة موضحة في الجزء التالي:

١ - الفقد الأولي الثابت (مم) المتبوع بمعدل الفقد المنتظم (مم/الساعة). تعد هذه مناسبة لأحواض الصرف التي تكون متاحاً فيها القيم المعاييرة للفقد المنتظم ومعدل الفقد المنتظم لحدث التدفق المفاجئ (العاصفة) الشبيهة بتلك التي يطور لأجلها المنحنى المائي للجريان السطحي. ويفقد التساقط بأكمله حتى يكتمل الفقد الأولي الموصوف مسبقاً. بالتالي يحدث الفقد في التساقط بالمعدل المنتظم الموصوف مسبقاً.

٢ - طريقة رقم المنحنى (USDA 1972, 1985; ASCE 1996). في هذه الطريقة يخصص رقم منحنى (CN) لكل مكون من مناشئ المياه اعتماداً على نوع التربة واستخدام الأرض وأحوال الرطوبة الأولية للتربة. وإن إحصائيات التربة المنشورة لمعظم المدن بالولايات المتحدة متاحة في كثير من المكتبات والمكاتب المحلية لهيئة المحافظة على الموارد الطبيعية. وتصنف أنواع التربة إلى أربع مجموعات تربة هيدرولوجيا:

أ) أنواع التربة ذات معدلات التسرب العالي حتى عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من رمال أو حصى جيدة الصرف إلى زائدة الصرف. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي منخفض ويخصص لها أرقام منحنى منخفضة.

ب) الأنواع ذات معدلات التسرب المتوسط عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة العميقة والمتوسطة إلى جيدة الصرف ذات القوام متوسط النعومة إلى القوام متوسط الخشونة.

ج) الأنواع ذات معدلات التسرب القليل عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة ذات الطبقات التي تعيق حركة المياه لأسفل أو أنواع التربة ذات القوام متوسط النعومة إلى القوام الناعم. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي عالي نسبياً ويخصص لها أرقام منحني عالية بشكل متوسط.

د) الأنواع التي لها معدلات تسرب قليل جداً عندما تكون مبتلة تماماً وتتكون بشكل رئيس من أنواع التربة الطينية ذات إمكانية انتفاخ عالية وأنواع التربة التي لها منسوب مياه عالي بشكل دائم وأنواع التربة التي بها طبقة طينية عند أو قريباً من السطح وأنواع التربة قليلة العمق فوق طبقة غير منفذة تقريباً. وهذه الأنواع لها إمكانية جريان سطحي عالية ويخصص لها أرقام منحني عالية.

أحوال رطوبة التربة الناتجة من الظروف الجوية التي تسبق حدوث العاصفة المطرية التي يطور لها المنحني المائي للجريان السطحي، يشار لها على أنها أحوال الرطوبة الأولية (AMC). وتنقسم أحوال الرطوبة الأولية إلى ثلاث حالات:

١ - أحوال الرطوبة الأولية ١: وهي تمثل الحالة التي تكون التربة فيها جافة لكن ليس لحد نقطة الذبول والتساقط المقدم (خلال ٥ أيام قبل حدوث التدفق المفاجئ) يكون أقل من ١٣ مم لموسم السكون وأقل من حوالي ٣٦ مم لموسم نمو المحصول.

٢- أحوال الرطوبة الأولية ٢: وهي تمثل متوسط الأحوال التي تمثل العواصف السنوية عندما يكون التساقط المقدم من ١٣ إلى ٢٨ مم لموسم السكون ومن ٣٦ إلى ٥٣ مم لموسم نمو المحصول.

٣- أحوال الرطوبة الأولية ٣: وهي تمثل أحوال سقوط المطر الغزير (أكبر من ٢٨ مم أثناء موسم السكون وأكبر من ٥٣ مم أثناء موسم نمو المحصول) أو أن سقوط المطر الخفيف ودرجات الحرارة المنخفضة قد حدثت خلال ٥ أيام سابقة على حدوث العاصفة المطرية.

وطبقاً لطريقة رقم المنحنى:

$$Q = (P - I_a)^2 / [P + 0.8 S_a] \quad (٢,٤٠)$$

حيث إن:

Q = الجريان السطحي (سم).

P = التساقط الكلي (سم).

S_a = أقصى احتجاز محتمل كما هو محدد في المعادلة رقم (٢,٦) (سم).

I_a = التسرب الأولي (سم) $= 0.2 S_a$.

وإذا كانت $P \leq I_a$ فلا يكون هناك جريان سطحي.

أرقام المنحنى في حالة أحوال الرطوبة الأولية ٢ معطاة في الجدول رقم (٢,١٥) (USDA 1972, 1985). وأرقام المنحنى المناظرة لأحوال الرطوبة الأولية ١ وأحوال

الرطوبة الأولية ٣ يمكن تقديرها باستخدام المعادلات التالية (Hawkins et al. 1985):

$$CN_I (CN_s \text{ for AMCI}) = CN_{II} / (2.3 - 0.013 CN_{II}) \quad (٢,٤١)$$

$$CN_{III} (CN_s \text{ for AMCIII}) = CN_{II} / (0.43 + 0.0057 CN_{II}) \quad (٢,٤٢)$$

إذا كان مناشئ المياه يحتوى على أجزاء بها أنواع عديدة من التربة وتركيبات غطاء التربة، ورقم المنحنى المناسب CN_s مخصص لكل جزء ويمكن تقدير رقم المنحنى CN الموزون لكامل مناشئ المياه باستخدام المعادلة:

$$CN(\text{weighted}) = CN(1)A_1 + CN(2)A_2 + \dots + CN(n)A_n \quad (٢,٤٣)$$

حيث إن:

$CN(1)A_1$ = رقم المنحنى ١ والمساحة ١ على الترتيب، وهكذا لباقي الأجزاء المختلفة.

n = العدد الكلي للأجزاء في مناشئ المياه.

الجدول رقم (٢,١٥). أرقام منحنى الجريان السطحي النموذجية (AMCII و $I_a = 0.2 S_a$).

مجموعة التربة الهيدرولوجيا				الغطاء		
D	C	B	A	الظروف الهيدرولوجيا	المعالجة أو الممارسة	استخدام الأرض
٩٤	٩١	٨٦	٧٧	-	صف مستقيم	أرض محروثة بدون زراعة
٩١	٨٨	٨١	٧٢	فقيرة	صف مستقيم	محاصيل صفية
٨٩	٨٥	٧٨	٦٧	جيدة		
٨٨	٨٤	٧٩	٧٠	فقيرة	خطوط كتورية	
٨٦	٨٢	٧٥	٦٥	جيدة		
٨٢	٨٠	٧٤	٦٦	فقيرة	خطوط كتورية مسورة	
٨١	٧٨	٧١	٦٢	جيدة		
٨٨	٨٤	٧٦	٦٥	فقيرة	صف مستقيم	حبوب صغيرة
٨٧	٨٣	٧٥	٦٣	جيدة		
٨٥	٨٢	٧٤	٦٣	فقيرة	خطوط كتورية	
٨٤	٨١	٧٣	٦١	جيدة		

تابع الجدول رقم (٢, ١٥).

مجموعة التربة الهيدرولوجيا				الغطاء		
D	C	B	A	الظروف الهيدرولوجيا	المعالجة أو الممارسة	استخدام الأرض
٨٢	٦٩	٧٢	٦١	فقيرة	خطوط كتورية مسورة	
٨١	٧٨	٧٠	٥٩	جيدة		
٨٩	٨٥	٧٧	٦٦	فقيرة	صف مستقيم	بذور إنتاج وبقول
٨٥	٨١	٧٢	٥٨	جيدة		مروج خضراء ومراعي
٨٥	٨٣	٧٥	٦٤	فقيرة	خطوط كتورية	مبذورة أو مثورة بالحبوب
٨٣	٧٨	٦٩	٥٥	جيدة		
٨٣	٨٠	٧٣	٦٣	فقيرة	خطوط كتورية مسورة	
٨٠	٧٦	٦٧	٥١	جيدة		
٨٩	٨٦	٧٩	٦٨	فقيرة	عام	مراعي أو سلاسل جبال
٨٤	٧٩	٦٩	٤٩	متوسطة		
٨٠	٧٤	٦١	٣٩	جيدة		
٧٨	٧١	٥٨	٣٠	جيدة	عام	أرض خضراء
٨٣	٧٧	٦٦	٤٥	فقيرة	عام	أخشاب
٧٩	٧٣	٦٠	٣٦	متوسطة		
٧٧	٧٠	٥٥	٢٥	جيدة		
٨٦	٨٢	٧٤	٥٩	عام	عام	مزارع
٨٩	٨٧	٨٢	٧٢	عام	تراب	طرق
٩٢	٩٠	٨٤	٧٤	عام	سطح صلب	
٨٩	٨٦	٧٩	٦٨	فقيرة	غطاء عشبي > ٥٠٪	أرض فضاء (حدائق،
٨٤	٧٩	٦٩	٤٩	متوسطة	غطاء عشبي ٥٠-٧٥٪	مروج، ملاعب جولف،

تابع الجدول رقم (٢، ١٥).

مجموعة التربة الهيدرولوجيا				الغطاء		
D	C	B	A	الظروف الهيدرولوجيا	المعالجة أو الممارسة	استخدام الأرض
٨٠	٧٤	٦١	٣٩	جيدة	غطاء عشبي < ٧٥٪	مقابر، الخ
٩٥	٩٤	٩٢	٨٩	عام	عام	مناطق تجارية وعمالية (٨٥٪ غير منفذة)
٩٣	٩١	٨٨	٨١	عام	عام	أحياء صناعية (٧٢٪ غير منفذة)
٩٢-٨٢	٩٠-٧٧	٨٥-٦٥	٧٧-٤٦	أحجام من ٨/١ إلى ٢ ايكر	نقل أرقام المنحنى مع الزيادة في حجم القطعة.	مناطق سكنية
٩٨-٩٥	٩٨-٩٥	٩٨-٩٥	٩٨-٩٥	عام	عام	أماكن انتظار السيارات

المصدر: (USDA (1972, 1985).

الجليد الذائب وأحمال الجليد Snowmelt and Snow Loads

طريقة بسيطة لتقدير مساهمة الجليد الذائب للزيادة في نزول المطر هي استخدام طريقة الدرجة-اليوم، كما في المعادلة التالية:

$$S_m = C_m (T - T_m) \quad (٢, ٤٤)$$

حيث إن:

 S_m = الجليد الذائب في اليوم (مم).

 T = درجة حرارة الهواء (م°) عند نقطة منتصف منطقة المجموعة الجليدية

أثناء الفاصل الزمني الذي يحسب فيه الجليد الذائب.

$$T_m = \text{درجة حرارة الهواء التي يذوب عندها الجليد (°م)}.$$

$$C_m = \text{معامل الذوبان لكل درجة / يوم (مم / م°)، عادة حوالي ٣,٢٠}.$$

غالباً لا تكون درجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة في منطقة المجموعة الجليدية متاحة. ولتقدير درجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة من القيم المعروفة عند أحد الارتفاعات، يمكن استخدام معدل متوسط الفقد في درجة الحرارة مع التغير في الارتفاع. والقيمة النموذجية لمعدل الفقد في درجة الحرارة ٠,٦ م° لكل ١٠٠ م تغير في الارتفاع.

إذا كانت البيانات التي تتعلق بدرجات حرارة الهواء عند ارتفاعات مختلفة وسرعة الرياح متاحة، فيمكن تقسيم مساهمة الجليد الذائب أثناء المطر باستخدام المعادلة رقم (٢.٤٥) أو المعادلة رقم (٢.٤٦) (Chow 1964):

• في حالة المساحات المفتوحة (أقل من ١٠٪ غطاء) أو المجمدة جزئياً (من ١٠

إلى ٦٠٪ غطاء) من حوض النهر:

$$(٢,٤٥) \quad S_m = [1.326 + 0.2386 kv + +0.0126 P]T + 2.29$$

• في حالة المساحات شديدة التجمد (أكبر من ٨٠٪ غطاء):

$$(٢,٤٦) \quad S_m = [3.383 + 0.0126 P]T + 1.27$$

حيث إن:

$$S_m = \text{الجليد الذائب يومياً (مم)}.$$

$$T_a = \text{متوسط درجة الحرارة للهواء المشيع (°م) عند مستوى ٣,٠ م}.$$

$$v = \text{متوسط سرعة الرياح (كم/ الساعة) عند مستوى ١٥,٢ م}.$$

$$P = \text{معدل التساقط (مم/ اليوم) في الأجزاء المفتوحة من حوض النهر}.$$

$k =$ معامل التغير من ٠,٣ للمساحات المجمدة إلى ١,٠ للسهول غير المجمدة.

وفي الغالب، يكون مطلوباً من مهندس مصادر المياه القيام بحساب أحمال المطر والجليد على أسقف المباني الصناعية (مثل، أبنية محطة الطاقة النووية) وبعض المباني السكنية. وإذا كان هناك سور لسقف المبنى يعمل على الاحتفاظ بكل من المطر أو الجليد على السطح، فإنه يمكن تقدير حمل السقف باستخدام أعماق التصميم ووحدة الأوزان من الجليد ومياه المطر. والمتوسط الأولي للجاذبية النوعية للجليد حوالي ٠.١٠. وفي بعض الحالات يتبع تساقط الجليد كميات صغيرة من سقوط المطر المتقطع. وعند سقوط مياه الأمطار على الجليد يلبّد الجليد ويمتص الماء حتى يصل للعتبة عندما يبدأ تصريف المياه الزائدة. وتكون متوسط الجاذبية النوعية للجليد الملبّد حوالي ٠.٤٠. والخطوات الحسابية لتقدير أحمال السقف بسبب الجليد الملبّد على الأسقف بدون وجود أسوار مدونة أدناه:

- احسب متوسط الفاصل الزمني للتكرار ١٠٠ عام لحمل الجليد على الأرض في الموقع موضع الاهتمام من الخرائط المتاحة (مثل 1972 NBS).
- احصل على حمل الجليد المناظر على السقف عن طريق ضرب حمل الجليد على الأرض في معامل حمل الجليد الأساسي ٠,٨. ويمكن أن يقل هذا المعامل للأسقف المائلة بسبب ترحلق الجليد، ويزداد المعامل في حالة تراكم الجليد على السقف المعالجة بالقار أو المنحنية.
- احصل على عمق الجليد h_0 (م)، من حمل الجليد الأولي المحسوب على السقف باستخدام جاذبية نوعية تساوي ٠,١٠.

• احصل على مكافئ الماء الأولي للجليد H_0 (م)، باستخدام العلاقة:

$$H_0 = 0.10 h_0$$

• احصل على أعماق الجليد الملبّد h (م)، ومكافئه للماء H (م)، عند حالة

العتبة باستخدام العلاقات التجريبية (USBR 1966):

$$H = 0.4 h \quad (٢, ٤٧)$$

$$h/h_0 = 1.474 - 0.474 H/H_0 \quad (٢, ٤٨)$$

• احسب حمل السقف من الجليد الملبّد لعمق الماء المكافئ H (م).

مثال رقم (٢, ٧): احسب حمل السقف من الجليد الملبّد على مبنى قرب ميلوكي، ويسكنسون.

الحل:

متوسط ١٠٠ سنة للفواصل الزمني لتكرار حمل الجليد على الأرض يساوي

$$146.5 \text{ كجم/م}^2 \text{ (NSB 1972)، حمل الجليد المناظر على السقف =}$$

$$0.80 \times 146.5 = 117.2 \text{ kg/m}^2$$

= عمق الجليد الأولي

$$h_0 = 117.2 / (0.10 \times 1000) = 1.172 \text{ m}$$

= مكافئ الماء الأولي

$$H_0 = 0.10 h_0 = 0.1172 \text{ m}$$

$$h/h_0 = H/(0.4 h_0) = 1.474 - 0.474 H/H_0$$

بالتالي:

$$H = 0.2386 \text{ m}$$

حمل السقف الناتج عن الجليد الملبّد =

$$0.2386 \times 1000 = 238.6 \text{ kg/m}^2$$

تدفق القاعدة Base Flow

تم اقتراح عدد من الطرق لتقدير تدفق القاعدة (مثل ASCE 1996). عادةً تدفق القاعدة هو مكون صغير من المنحنى المائي للفيضان ويصعب التحقق من تقديراتها. ما لم تكن القيم المعاييرة معروفة، يمكن إيجاد تدفق قاعدة ثابت معقول لمعظم الأغراض العملية. هذه القيمة الثابتة يمكن أن تكون مساوية تقريباً لتدفق المناخ الجاف عند نقطة الحسابات.

المنحنيات المائية المدجة والتخديد خلال القنوات

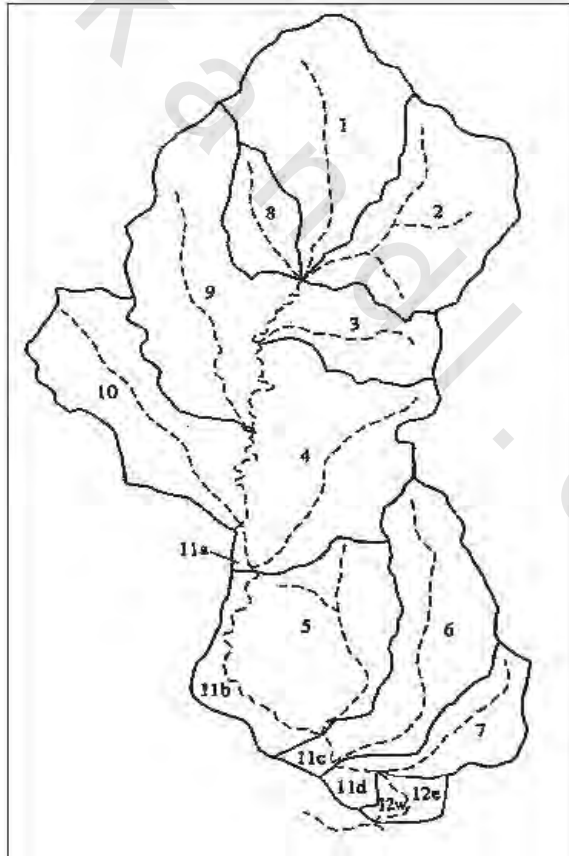
Combining Hydrographs and Routing Through Channels

المنحنيات المائية للجريان السطحي لمناسخ المياه الفرعية المتعددة يجب أن يتم دمجها عند نقاط اتصال مختلفة على طول المجرى المائي الرئيس. وفي بعض الأحيان يجب أن يتم تأخير المنحنيات البيانية قبل الدمج والتخديد. هناك طرق عديدة متاحة للمنحنيات المائية للتخديد خلال قنوات المجرى المائي (مثل، USACE 1991a, 2002; ASCE 1996). واعتماداً على سهولة تقدير المعاملات المطلوبة يمكن استخدام أي من هذه الطرق. إن طرق إعاقه المنحنى المائي بعدد محدد من الخطوات الزمنية، رغم أنه مباشر، يمكن أن يتطلب تعديل المدخل لنماذج مختلفة. وفي حالة نموذج HEC-1 يمكن أن يكون استخدام خيارات موسكينجيم أو سترادلستاجر مناسباً. وفي هذه الحالات يمكن اعتبار معاملات الفقد في القناة على أنها تساوى صفر. ويمكن وضع خطوات التخديد على أنها تساوى ١، ويؤخذ متوسط عدد الإحداثيات الرأسية على أنه يساوى صفر (انظر كتيبات المستخدم HEC-1 أو HEC-HMS ونموذج USACE 1991a, 2002).

مثال رقم (٢،٨): طور منحنى مائي لفيضان في ١٠٠ سنة لمنشأة مياه بمساحة ٦،٠٤٤ كم^٢، موضحة في الشكل رقم (٢،٣).

الحل:

١- قسم منشأة المياه إلى ١٢ منشأ مياه فرعي كما هو موضح في الشكل رقم (٢،٣)، منشآت المياه الفرعية من ١ إلى ١٠ لها منافذ نقطة ومنحنيات مائية وحدوية يجب أن يتم تحديدها لهم. منشآت المياه الفرعية ١١ و ١٢ تساهم في التدفق الجانبي ويتم تحليلها باستخدام طريقة الموجة الكينيةاتيكية. ولهذا الغرض يتم تقسيم المنشآت الفرعية ١١ أيضاً إلى ١١(أ) و ١١(ب) و ١١(ج) و ١١(د)، والمنشآت الفرعية ١٢ إلى ١٢(و) و ١٢(ز).



الشكل رقم (٢،٣). خريطة منشآت المياه.

٢- من خرائط التربة والطبوغرافية الخاصة بمناشئ المياه، احسب معاملات الموجة الكينيماتيكية والهيدروليكية كما هو موضح في الجداول رقم (٢، ١٦) والجداول رقم (٢، ١٦) ب).

الجدول رقم (٢، ١٦). المعاملات الهيدروليكية لمناشئ المياه الفرعية.

المعاملات الهيدروليكية						النشئ الفرعي
للمياه	D.A. (كم ^٢)	L (كم)	H (م)	t _c (ساعة)	t _t (ساعة)	CN
١	٧,٦١	٥,٤٩	٤٥,٧٢	١,٥٥	٠,٩٣	٦٥
٢	٦,٥٨	٤,٤٣	٤٨,٧٧	١,١٨	٠,٧١	٦٥
٣	٣,١٦	٢,٧٢	٥٣,٣٤	٠,٦٥	٠,٣٩	٦٥
٤	٨,١٨	٤,٧٣	٧٦,٨١	١,٠٧	٠,٦٤	٦٥
٥	٧,٤٣	٤,١٢	٥٧,٩١	١,٠٢	٠,٦١	٦٥
٦	٦,٢١	٦,٢٤	٨٥,٥٦	١,٤١	٠,٨٥	٦٥
٧	٢,٥٤	٣,٣٥	٣٢,٠٠	١,٠٠	٠,٦٠	٦٥
٨	١,٩٤	٢,٨٠	٤٣,٣٨	٠,٦٩	٠,٤٢	٦٥
٩	٧,٩٨	٦,٥٥	٦٨,٥٨	١,٦٣	٠,٩٨	٦٥
١٠	٦,٣٢	٥,٤٩	٦٧,٣٦	١,٣٤	٠,٨٠	٦٥

D.A. = منطقة الصرف، L = الطول الهيدروليكي، H = اختلاف المناسيب بين حافتي المنبع والمصب.

٣- قم بإعداد المنحنى البياني لشبكة العمل الهيدرولوجية كما هو موضح في الشكل رقم (٢، ٤).

٤- قم بإعداد حسابات تتالي سقوط المطر والجريان السطحي كما هو موضح في الجدول رقم (٢، ١٦) ج).

- ٥- احسب التوزيع الزمني لأعماق التساقط.
- ٦- استخدم المدخل المطور في الخطوات السابقة للنموذج المختار لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لكل منشئ من منشئ المياه وادمجها لتحديد المنحنى المائي للجريان السطحي لمنشئ المياه بأكمله.
- ٧- قارن القيمة المقدرة للمنحنى المائي لمنشئ المياه بالتقديرات باستخدام طرق أخرى كما هو موضح في الجدول رقم (١١، ٢).

الجدول رقم (١٦، ٢ ب). معاملات الموجة الكينماتيكية لمنشئ المياه الفرعية ١١ و ١٢.

متغيرات القنوات الأساسية					متغيرات التدفق الجانبي					الخط الفرعي لتقسيم المياه
Z	W.D.	S	L	نسبة المنطقة n	S	L	D.A. (كم ^٢)			
٢,٠	٣,٠٥	٠,٠٠٢٦	١١٥٨,١٨	١٠٠	٠,٣٠	٠,٠٥٠	٢١٣,٣٥	٠,٢١	١١ (أ)	
٢,٠	٣,٠٥	٠,٠٠٢٥	٤٢٦٧,٠٠	١٠٠	٠,٢٠	٠,٠٠٨	٣٦٥,٧٤	١,٤٨	١١ (ب)	
٢,٠	٣,٠٥	٠,٠٠٢٣	٩١٤,٣٦	١٠٠	٠,٢٠	٠,٠٠٥	٦٠٩,٥٧	٠,٣٦	١١ (ج)	
٢,٠	٣,٠٥	٠,٠٠٠٩	١٠٦٦,٧٥	١٠٠	٠,٢٠	٠,٠٠٨	٤٥٧,١٨	٠,٤٤	١١ (د)	
N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	٣٢	٠,٣٠	٠,٠١٥	٣٠٤,٧٩	٠,٣١	١٢ (و)	
٢,٠	٣,٦٦	٠,٠٠٠٩	١٦٧٦,٣٢	٦٨	٠,٣٠	٠,٠١٠	٤٥٧,١٨	٠,٦٢	١٢ (ز)	

L = الطول (م)، S = الميل (م/م)، W.D. = عرض قاع القناة المقرب بشبه المنحرف (م)

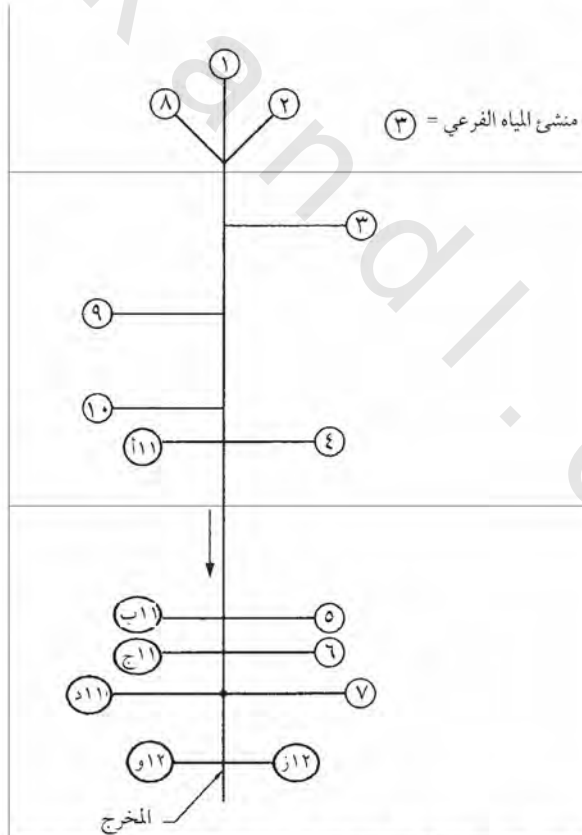
Z = ميل القاع (أفقي: رأسي)، N.A. = لا يمكن تطبيقه.

الجدول رقم (١٦، ٢ ج). حسابات تتالي سقوط المطر - الجريان السطحي.

- ١ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١.
- ٢ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٢.
- ٣ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٨.
- ٤ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨.
- ٥ التخديد خلال القناة حتى مخرج منشئ المياه الفرعي ٣.
- ٦ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٣.
- ٧ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣.
- ٨ التخديد خلال القناة حتى مخرج منشئ المياه الفرعي ٩.
- ٩ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٩.
- ١٠ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩.
- ١١ التخديد خلال القناة حتى مخرج منشئ المياه الفرعي ١٠.
- ١٢ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١٠.
- ١٣ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠.
- ١٤ تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشئ المياه الفرعي ١١ وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشئ المياه الفرعي ٤ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
- ١٥ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٤.
- ١٦ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١، ٤.
- ١٧ تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشئ المياه الفرعي ١١ ب وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشئ المياه الفرعي ٥ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
- ١٨ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٥.
- ١٩ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١، ٤، ١١ ب، ٥.
- ٢٠ تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشئ المياه الفرعي ١١ ج وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشئ المياه الفرعي ٦ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
- ٢١ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٦.
- ٢٢ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١، ٤، ١١ ب، ٥، ١١ ج، ٦.

تابع الجدول رقم (٢، ١٦) ج).

- ٢٣ تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشئ المياه الفرعي ١١ وتحديد المنحنى المائي المدمج لمنفذ منشئ المياه الفرعي ٧ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).
- ٢٤ تحديد المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٧.
- ٢٥ دمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢، ٨، ٣، ٩، ١٠، ١١، ٤، ١١، ٥، ١١، ج، ١١، ٦، د، ٧.
- ٢٦ تحديد المنحنى المائي للتدفق الجانبي من منشئ المياه الفرعي ١٢، ١٢، ١٢ وتحديد المنحنى المائي المدمج لمخرج منشئ المياه الفرعي ١٢ (باستخدام منهج الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1).



الشكل رقم (٢، ٤). الخط البياني للشبكة الهيدرولوجية.

المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل Probable Maximum Flood Hydrograph

يعرف المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (PMF) على أنه الفيضان الافتراضي (تصرف القمة والحجم وشكل المنحنى المائي) الذي يعد الأكثر شدة اعتماداً على تطبيق الأحوال الجوية المائية الشاملة لأقصى تساقط محتمل (PMP) وعوامل هيدرولوجيا أخرى موافقة لأقصى انسياب فيضان، مثل العواصف المتعاقبة وذوبان الجليد (USNRC 1977). وتستخدم معاملات منشئ المياه المحافظ (مثل، زمن التركيز ومتغيرات الفقد في التربة) سوياً مع أحداث أحوال الجو المائية التنقيبية المدججة، لتحديد المنحنى المائي لأقصى فيضان محتمل (Prakash 1978, 1983). وهي تشمل كمية أقصى تساقط رئيس محتمل للعاصفة في المدة المطلوبة والتوزيع الزمني وتتالى التساقط الترايدي وأحوال الرطوبة الأولية والتدفق المفاجئ المقدم الذي يفترض أن يسبق العاصفة الرئيسة.

ويمكن اعتبار أن العاصفة المقدمة تبلغ ٤٠٪ من أقصى تساقط محتمل يحدث حوالي ٥ أيام قبل العاصفة الرئيسة، وأن حالة الرطوبة المقدمة يمكن اتخاذها AMC-II. والنسبة لمنشئ المياه داخل الولايات المتحدة يمكن الحصول على تقديرات المدد المختلفة المتعلقة بها من منشورات وزارة التجارة بالولايات المتحدة (مثل USDOT 1961, 1962, 1965, 1969, 1977, 1978, 1982, 1983, 1988, 1994). وفي المناطق التي تكون فيها العواصف الرعدية المحلية الكثيفة قصيرة المدة والعواصف العامة طويلة المدة شائعة يجب عمل تقديرين لأقصى تساقط محتمل للعاصفة الرئيسة. ومثال على هذه المناطق تلك التي توجد غرب دائرة خط الطول ١٠٣ درجة بالولايات المتحدة. وطرق تقدير أقصى تساقط محتمل للعاصفة المحلية قصيرة المدة (عادةً ٦ ساعات) وأقصى تساقط محتمل للعواصف العامة طويلة المدة (عادةً ٢٤ - ٩٦

ساعة) مبينة في الدراسات المذكورة سابقاً. وكمثال تستخدم الخطوات التالية لحساب أقصى تساقط محتمل للعاصفة العامة لنهر كلورادو ومصارف جريت باسين باستخدام الأشكال والجدول في تقرير الأحوال الجوية المائية رقم ٤٩ (USDOC 1977):

١- تقدير أقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة بمساحة ٢٦ كم^٢ عند موقع منطقة الصرف موضع الاهتمام.

٢- تخفيض أقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة مقدر للارتفاعات الحدودية.

٣- تقدير أقصى تساقط محتمل تراكمي متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة باستخدام عوامل المضاعفة.

٤- تقدير أقصى تساقط محتمل تزايد متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة.

٥- تقدير أقصى تساقط محتمل تزايد متقارب في ٢٤ ساعة مقلل المساحة لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة.

٦- تقدير متوسط مساحة الصرف التراكمي لأقصى تساقط محتمل متقارب في ٢٤ ساعة لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة.

٧- تقدير متوسط مساحة الصرف لأقصى تساقط جبلي محتمل في ٢٤ ساعة.

٨- تقدير أقصى تساقط جبلي محتمل في ٢٤ ساعة المقدر مساحياً وموسمياً.

٩- تقدير أقصى تساقط جبلي محتمل لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة باستخدام عوامل مضاعفة محددة.

١٠- تقدير أقصى تساقط محتمل كلي لمدة ٦، ١٢، ١٨، ٢٤، ٤٨، ٧٢ ساعة

(أي تجميع أقصى تساقط محتمل متقارب وجبلي).

يمكن استخدام طرق تغير موضع العاصفة ومضاعفة الرطوبة الموصوفة في الدراسات سالفة الذكر والبيانات المحتواة في منشورات المنظمة الدولية للأحوال الجوية (مثل WMO 1986) لمناشئ المياه في أجزاء من العالم حيث لم تكن التقديرات الإقليمية أو الخاصة بالموقع لأقصى تساقط محتمل قد تطورت. وفي بعض الحالات يمكن تقدير المتوسط ($\bar{X}$) والانحراف القياسي (s) لأعماق سقوط المطر القصوى السنوية في ٢٤ ساعة، من البيانات المتاحة الخاصة بالموقع أو البيانات الإقليمية، والتقدير التمهيدي لأقصى تساقط محتمل في ٢٤ ساعة (P_m) يمكن عمله باستخدام العلاقة (NRC 1985):

$$P_m(24h) = \bar{X} + 20s \quad (٢,٤٩)$$

عند غياب البيانات التي يعتمد عليها يمكن استخدام المعادلة العملية التي تغلف معدلات سقوط المطر القصوى في العالم في الفترات المختلفة لعمل التقديرات التمهيدية لأقصى تساقط محتمل (USDOC 1961):

$$P_m(cm) = 38.9 D^{0.486} \quad (٢,٥٠)$$

حيث إن:

$$D = \text{المدة (الساعة)}.$$

ينقسم عمق التساقط الكلي أثناء العاصفة إلى أعماق التساقط في الفترات الزمنية المساوية لمدة الوحدة للمنحنى المائي الودودي. ويتم ترتيب القيم العالية تنازلياً على حسب المقدار (أي، ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦... الخ). وطرق عديدة لتقسيم أقصى تساقط محتمل إلى زيادات زمنية أصغر مساوية لمدة الوحدة ولتعاقبهم لتحديد المنحنى المائي لأقصى تساقط محتمل موضحة في الدراسات سالفة الذكر وأيضاً في النماذج HEC-1 و HEC-HMS. وفي التالي بعض المتتاليات الشائعة الاستخدام للتساقط التصاعدي:

$$١ - ٥,٣,١,٢,٤,٦$$

$$٢ - ٦,٤,٢,١,٣,٥$$

٣ - التوزيع الافتراضي والمتالي المحتوى في نموذج HEC-1 .

٤ - طرق توزيع وتتالي المشروع القياسي والعاصفة لأقصى تساقط محتمل لمدة

٤٨,٢٤,٩٦ ساعة مبينة في نموذج HEC-1 .

التتالي الذي يعتمد على شكل المنحنى المائي الحدودي لمنشئ المياه يمكن أن

يستخدم في الحالات التي تحتاج إلى قمم أقصى فيضان محتمل المحافظة للغاية (Prakash 1978).

وحيث أن أقصى فيضان محتمل هو حدث افتراضي يقدر بشكل محافظ، فإنه

يجب التحقق من معقولة قمة أقصى تساقط محتمل بمقدر باستخدام الطرق البحثية.

وعند التطبيق العملي، يمكن التحقق من متغيرات منشئ المياه مثل زمن التركيز

ومتغيرات الفقد في التربة عن طريق المعايرة باستخدام المنحنيات المائية المرجعية

لسقوط المطر والفيضان الملحوظ. وبعض الطرق العملية لتقدير تدفقات القمة التي

تقترب من قمة أقصى فيضان محتمل مبينة فيما يلي (Crippen 1982):

١ - معادلة كريبين:

$$Q_m = 577.26A^{0.8405} \times Z^{-0.751} \quad (٢,٥١)$$

$$Z = 0.6217A^{0.5} + 5 \quad (٢,٥١)$$

٢ - معادلة كريجر:

$$Q_m = 130(0.386A)^B \quad (٢,٥٢)$$

$$B = 0.9358A^{-0.048} \quad (٢,٥٢)$$

٣ - معادلة ماتاي:

$$Q_m = 174.3A^{0.61} \quad (٢,٥٣)$$

حيث إن:

$$Q_m = \text{تدفق القمة (م}^3/\text{ث).}$$

$$A = \text{مساحة الصرف (كم}^2\text{).}$$

يجب التحقق أن قمة أقصى فيضان محتمل مقدر يكون قريباً من مدى القيم المحسوبة باستخدام الطرق العملية. وبالإضافة لذلك يجب أن تتوافق قمة أقصى فيضان محتمل مقدر مع أي من قمم أقصى فيضان محتمل سابقة التقدير في المنطقة.

مثال رقم (٢, ٩): منشئ المياه لمجرى مائي يقع في منطقة عرضة للإعصار. يراد إنشاء سد على هذا المجرى المائي عند نقطة ما بحيث تكون مساحة الصرف ٥٣٥ كم^٢. وتحليل البيانات المحدودة والاستكمالات القياسية من البيانات الخاصة بمنشئ المياه في خط العرض الناتجة في أعماق أقصى تساقط محتمل PMP موضحة في الجدول رقم (٢, ١٧ أ). أرسم منحنى مائي لأقصى فيضان محتمل PMF لتصميم هذا السد بفرض تدفق أساسي ثابت يساوي ١٠٠ م^٣/ث.

الحل:

ينقسم منشئ المياه إلى سبعة منشئ مياه فرعية كما هو موضح في الشكل رقم (٢, ٥). تساهم أجزاء منشئ المياه ٣ الموجودة على يمين ويسار النهر في التدفق الجانبي على امتداد طرف المجرى المائي. إذن يستخدم خيار الموجة الكينماتيكية لنموذج HEC-1 لتحديد هذا المنحنى المائي لمنشئ المياه. والمعاملات المتعلقة بكل منشئ مياه فرعي موضحة في الجدول رقم (٢, ١٧ ب). ويستخدم رقم منحنى النموذج AMC II بما يساوي ٧٠ لكل منشئ المياه الفرعية. وحسابات تتألى سقوط المطر والجريان السطحي موضحة في الجدول رقم (٢, ١٧ ج).

وللتبسيط يتم قبول التوزيع الافتراضي وتتابع التساقط الزائد المدمج في نموذج HEC-1. ويتطلب هذا وجود قيم أقصى تساقط محتمل PMP لمدة من ٥ و ١٥ دقيقة. وفي غياب البيانات الخاصة بالموقع يمكن تقدير قيم المدد الأصغر من قيمة ١ ساعة باستخدام النسب الموضحة في الجدول رقم (٢٠١٧ د) (NOAA 1973):
أقصى تساقط محتمل PMP في ٥ دقائق =

$$0.29 \times 109.74 = 31.82 \text{ mm}$$

أقصى تساقط محتمل PMP في ١٥ دقيقة =

$$0.57 \times 109.74 = 62.55 \text{ mm}$$

يمكن استخدام المدخل المطور مسبقاً لنموذج سقوط المطر والجريان السطحي المختار. وفي هذه الحالة يستخدم نموذج HEC-1 الذي يؤدي إلى قمة أقصى فيضان محتمل PMF يساوي ١١٤٣٥ م^٣/ث.

ولاختبار حفظ قمة أقصى فيضان محتمل PMF، استخدم المعادلات العملية الموضحة سابقاً كما هو مبين أدناه:
١ - معادلة كريبين:

$$z = 0.6214 \times 535^{0.5} + 5 = 19.373$$

$$Q_m = 577.26 \times 535^{0.8405} \times 19.373^{-0.751} = 12242 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{و}$$

٢ - معادلة كريجر:

$$B = 0.9358 \times 535^{-0.048} = 0.6922$$

$$Q_m = 130 (0.386 \times 535)^{0.6922} = 5204 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{و}$$

٣ - معادلة ماتاي:

$$Q_m = 174.3 \times 535^{0.61} = 8046 \text{ m}^3 / \text{s}$$

من النتائج فإن القيم المقدرة بـ ١١٤٣٥ م^٣/ث تعتبر صحيحة بشكل معقول.

الجدول رقم (١٧، ١٢). أعماق أقصى تساقط محتمل PMP.

المدة (ساعة)	عمق التساقط (مم)
١	١٠٩,٧٤
٢	٢١١,٦٧
٣	٣٠٩,٦٧
٦	٥٥٤,٨٧
١٢	٨٢٨,٠٧
٢٤	١٠٩٢,٥٨
٤٨	١٣٣٨,٤

الجدول رقم (١٧، ٢ ب). معاملات مناشئ المياه الفرعي.

منشئ المياه الفرعي	المساحة (كم ^٢)	CN	زمن التأخير (ساعة) ومتغيرات الموجة الكينماتيكية
١	٧٠	٧٠	٠١,٦٠
٢	٧٠	٧٠	٠٢,٠٨
٤	٢٤	٧٠	٠٢,١٤
٥	٥٦	٧٠	٠١,٩٤
٦	١٦٤	٧٠	٠٧,٤٢
٧	١٠٦	٧٠	٠٤,٥٨
٣ (التدفق الجانبي من الجانب الأيمن على محيط النهر)**	٢٧	٧٠	L = 4500 m ; S = 0.50 m/m ; n = 0.30
٣ (التدفق الجانبي من الجانب الأيسر على محيط النهر)**	١٨	٧٠	L = 1500 m ; S = 0.40 m/m ; n = 0.30
٣ (متوسط تدفق القناة)**	٤٥	٧٠	L = 8500 m ; S = 0.0133 m/m ; n = 0.040 ; W.D. = 85 m ; z = 1.0

*: زمن التأخير (ساعة). **: متغيرات الموجة الكينماتيكية.

L = الطول الهيدروليكي، S = ميل الأرض، n = معامل الخشونة.

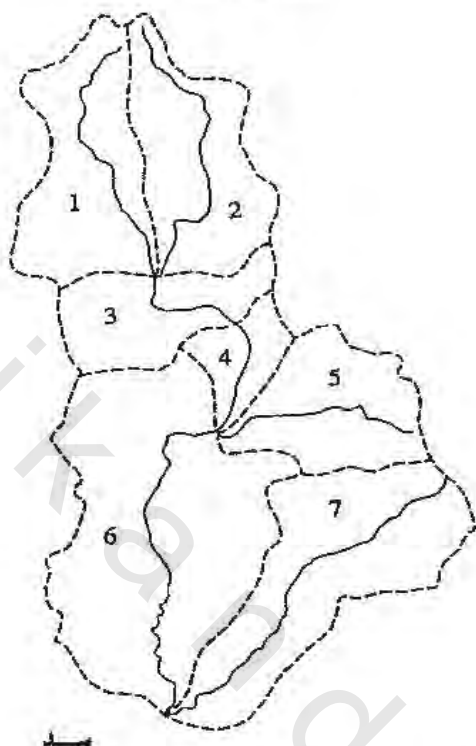
W.D. = عرض قاع القناة المقرب بشبه المنحرف، Z = ميل القاع (أفقي: رأسي).

الجدول رقم (١٧، ٢ ج). حسابات تتالي سقوط المطر - الجريان السطحي لمنشئ المياه المعرضة للإعصار.

- ١ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١.
- ٢ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٢.
- ٣ ادمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية ١، ٢.
- ٤ آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ٢ ساعة ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٣.
- ٥ طور المنحنى المائي لأقصى تساقط محتمل من منشئ المياه الفرعي ٣.
- ٦ ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢ مع هذا الخامس بمنشئ المياه الفرعي ٣.
- ٧ آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ١,٥ ساعة ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٤.
- ٨ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٤.
- ٩ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٥.
- ١٠ ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢، ٣ بتلك الخاصة بمنشئ المياه الفرعية ٤، ٥.
- ١١ آخر المنحنى المائي المدمج بمقدار ٣ ساعات ليعكس التدفق إلى نهاية منشئ المياه الفرعي ٦.
- ١٢ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٦.
- ١٣ طور المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ٧.
- ١٤ ادمج المنحنى المائي لمنشئ المياه الفرعي ١، ٢، ٣، ٤، ٥ بتلك الخاصة بمنشئ المياه الفرعية ٦، ٧.

الجدول رقم (١٧، ٢ د). أعماق أقصى تساقط محتمل PMP في مدة ٥ - ٣٠ دقيقة.

النسبة إلى قيمة ١ ساعة	المدة (دقيقة)
٠,٢٩	٥
٠,٤٥	١٠
٠,٥٧	١٥
٠,٧٩	٣٠



الشكل رقم (٢،٥). تقسيم مناشي المياه المعرضة للإعصار.

تحليل المخاطر وتقدير احتمالات السقوط أو الانهيار

Risk Analysis and Estimation of Failure Probabilities

قامت كل من جمعية المهندسين المدنيين الأمريكية (1988) وبراكش (1992b)

بتقديم تحليل مستفيض للمخاطر التي تتعلق بالسدود والمباني الأخرى. وفي بعض

الأحيان يكون مطلوباً من مهندس مصادر المياه القائم بتقدير احتمالية أو مدى خطورة

حدوث فيضان معين أثناء فترة تصميم البناء، والذي تم تصميمه لفيزان في T

سنة ($P = 1/T$). لعمل مثل هذه التحليلات:

• احتمالية أنه على الأقل حدوث فيضان واحد على الأقل (أي واحد أو أكثر)

سوف يحدث في n سنة:

$$(2, 04) \quad P(\geq 1) = 1 - (1 - P)^n$$

• احتمالية أنه لن يحدث فيضان في n سنة:

$$(2, 05) \quad P(\text{none}) = (1 - P)^n$$

مثال رقم (٢, ١٠): يتم تصميم جسر لفيضان في ١٠٠ سنة ($P = 0.01$). ما هي

احتمالية (١) عدم حدوث فيضان، (٢) حدوث الفيضان مرة واحدة أو أكثر أثناء ٢٠ إلى ١٠٠ سنة القادمة.

الحل:

• احتمالية حدوث فيضان واحد على الأقل، ($P(\geq 1)$)، في ٢٠ سنة:

$$1 - (1 - 0.01)^{20} = 0.18 \quad \text{or} \quad 18\%$$

• احتمالية حدوث فيضان واحد على الأقل، ($P(\geq 1)$)، في ١٠٠ سنة:

$$1 - (1 - 0.01)^{100} = 0.63 \quad \text{or} \quad 63\%$$

• احتمالية عدم حدوث فيضان، ($P(\text{none})$)، في ٢٠ سنة:

$$(1 - 0.01)^{20} = 0.82 \quad \text{or} \quad 82\%$$

• احتمالية عدم حدوث فيضان، ($P(\text{none})$)، في ١٠٠ سنة:

$$(1 - 0.01)^{100} = 0.37 \quad \text{or} \quad 37\%$$

من هذا يتضح أن هناك احتمالية ١٨٪ لتعليق الجسر على الأقل مرة واحدة أثناء الـ

٢٠ سنة القادمة.

في حالات معينة يكون من المرغوب تقدير احتمالية عدد x من الأحداث التي تحدث في T سنة في فترة من n سنة. لعمل هذه الحسابات يمكن استخدام توزيع بويسون. وهو كما يلي، (Haan 1977):

$$p(\lambda, x) = \lambda^x e^{-\lambda} / x! \quad (2,56)$$

حيث إن:

$$x = \text{مضروب } x.$$

$$\lambda = n/T$$

$p(\lambda, x)$ = احتمالية عدد x من الأحداث التي تحدث في T سنة لكل فترة n سنة.

مثال رقم (٢,١١): يراد تقدير مخاطر الأضرار في مبنى مراقبة الفيضان لأجل موسم الفيضان الذي يمكن ألا يكون هناك وقت متاح فيه للإصلاحات. قدر احتمالية حدوث ثلاثة فيضانات خلال عشر سنوات في هذه الفترة كل ستة أشهر عندما يكون الإصلاح متعذراً.

الحل:

$$n = 0.5 \text{ yr} , T = 10 \text{ yr} , \lambda = 0.5/10 = 0.05 , x = 3$$

بالتالي:

$$p(0.05, 3) = (0.05)^3 \exp(-0.05) / (3 \times 2 \times 1) = 2 \times 10^{-5}$$

تحليل التكلفة - الربح Benefit Cost Analysis

إن تحليلات التكلفة-الربح مطلوبة لأداء التقييم المقارن لمشروعات تحديد مصادر المياه البديلة. وهناك طريقة تقريبية موضحة في المثال التالي.

مثال رقم (٢, ١٢): مشروع مراقبة الانجراف والفيضان مقترح لمجرى مائي مار خلال منطقة مدنية. قم بعمل تحليل التكلفة-الربح مبسط وحدد المستوى الأمثل للحماية من الفيضان الذي يجب تصميم المشروع على أساسه. أهمل عوامل القرار غير التكاليف والأرباح النقدية. استخدم معدل خصم يساوي ٦٪ لتحويل تكلفة رأس المال اليومية الحالية إلى قيم سنوية.

الحل:

تم إعداد التقديرات التمهيدية للمشروعات البديلة المصممة لإمداد المستويات المختلفة من الحماية باستخدام دورة حياة للمشروع تساوي ٥٠ سنة. حسابات التكلفة-الربح موضحة في الجدول رقم (٢, ١٨) والجدول رقم (٢, ١٨ ب). تقل تكلفة التشغيل والصيانة كلما زادت حجم المشروع ويتم تعديل التكاليف الموضحة لتشمل تصاعد السعر من سنة إلى أخرى.

$$\text{التكلفة السنوية} = \text{Annual cost} = Ci (1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$$

حيث إن:

$$C = \text{تكلفة رأس المال اليومية الحالية.}$$

$$i = \text{معدل الخصم.}$$

تقترح نسب التكلفة-الربح المقدرة اعتماداً على التكاليف وحدها، ويمكن أن يكون من المرغوب فيه تصميم المشروع لفيضانات بفترات عودة من ٧٠ - ١٠٠ سنة.

الجدول رقم (١٢، ١٨). حساب حماية الضرر المتوقع أو الأرباح.

فترة عودة التصميم	الاحتمالية	التزايدية الإجمالية أو التكرار	حماية الضرر	حماية الضرر التزايدية المتوقع	حماية الضرر الكلية المتوقعة
(T)	(P = 1/T)	(Δ P)	(D)	(D ΔP)	(مليون دولار)
(عام)			(مليون دولار)	(مليون دولار)	
≤ ١	١,٠٠	-	-	-	-
٢	٠,٥٠	٠,٥٠	٠,١٠	٠,٠٥	٠,٠٥
٥	٠,٢٠	٠,٣٠	٠,٢٠	٠,٠٦	٠,١١
١٠	٠,١٠	٠,١٠	٠,٣٠	٠,٠٣	٠,١٤
٢٠	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٤٠	٠,٠٢	٠,١٦
٢٥	٠,٠٤	٠,٠١	٠,٥٠	٠,٠٠٥	٠,١٦٥
٣٠	٠,٠٣٣	٠,٠٠٧	٠,٦٠	٠,٠٠٤٢	٠,١٦٩٢
٤٠	٠,٠٢٥	٠,٠٠٨	٠,٨٠	٠,٠٠٦٤	٠,١٧٥٦
٥٠	٠,٠٢٠	٠,٠٠٥	١,٠٠	٠,٠٠٥٠	٠,١٨٠٦
٧٠	٠,٠١٤	٠,٠٠٦	١,٥٠	٠,٠٠٩٠	٠,١٨٩٦
١٠٠	٠,٠١٠	٠,٠٠٤	١,٧	٠,٠٠٦٨	٠,١٩٦٤
١٥٠	٠,٠٠٦٧	٠,٠٠٣٣	٢,٣	٠,٠٠٧٦	٠,٢٠٤٠
٣٠٠	٠,٠٠٣٣	٠,٠٠٣٤	٣,٥	٠,٠١١٩	٠,٢١٥٩
> ٣٠٠	≅	٠,٠٠٣٣	٤,٠	٠,٠١٣٢	٠,٢٢٩١

الجدول رقم (١٨، ٢ ب). حساب نسبة التكلفة - الربح.

فترة عودة التصميم	حماية الضرر الكلية المتوقعة	تكلفة رأس المال اليومية الحالية	متوسط التشغيل السنوي وتكلفة الصيانة	التكلفة السنوية الكلية	الربح / التكلفة
(T)	(مليون دولار)	(مليون دولار)	(مليون دولار)	(مليون دولار)	(مليون دولار)
(عام)					
≤ ١	-	-	-	-	-
٢	٠,٠٥	١,١٠٣	٠,٠٧	٠,١٤	٠,٣٦
٥	٠,١١	١,٢٦١	٠,٠٨	٠,١٤	٠,٧٩
١٠	٠,١٤	١,٥٧٦	٠,١٠	٠,١٥	٠,٩٣
٢٠	٠,١٦	١,٧٣٤	٠,١١	٠,١٥٥	١,٠٣
٢٥	٠,١٦٥	١,٨٩١	٠,١٢	٠,١٦٠	١,٠٣
٣٠	٠,١٦٩٢	٢,٠٤٩	٠,١٣	٠,١٦٤	١,٠٣
٤٠	٠,١٧٥٦	٢,١٢٨	٠,١٣٥	٠,١٦٥	١,٠٦
٥٠	٠,١٨٠٦	٢,٢٨٥	٠,١٤٥	٠,١٧٠	١,٠٦
٧٠	٠,١٨٩٦	٢,٤٤٣	٠,١٥٥	٠,١٧٥	١,٠٨
١٠٠	٠,١٩٦٤	٢,٥٢٢	٠,١٦٠	٠,١٧٧	١,١١
١٥٠	٠,٢٠٤٠	٣,٤٦٨	٠,٢٠	٠,٢١	٠,٩٧
٣٠٠	٠,٢١٥٩	٤,٧٢٩	٠,٣٠	٠,٣١	٠,٧٠
> ٣٠٠	٠,٢٢٩١	٧,٨٨١	٠,٥٠	٠,٥١	٠,٤٥

* تشمل ارتفاع السعر من سنة إلى أخرى.

دراسات تشغيل الخزان

Reservoir Operation Studies

أن دراسات تشغيل الخزان مطلوبة لخزانات المعايير لتلبية الاحتياجات المحددة لمصادر المياه البلدية، والري، والتجديد، ومراقبة الفيضان، والطاقة المائية، وتدفقات المجاري المائية. وهناك أنواع متعددة من التحليلات الهيدرولوجية لعمل دراسات تشغيل الخزان. ومن التحليلات الشائعة المتبعة تم توضيحها فيما يلي.

تكوين متتابعات تدفق المجرى المائي Generation of Stream Flow Sequences

إذا كان الهدف من الدراسة تقييم مدى كفاية مصادر المسطحات المائية المتاحة على أساس يومي فإن بيانات تدفق المجرى المائي اليومية يجب جمعها أو تكوينها تركيباً. ويمكن أن يكون هذا مطلوباً لأنظمة جريان النهر حيث تستخدم مياه المجرى المائي أو تحول اعتماداً على الكمية المتاحة في النهر عند هذه النقطة من الزمن مثل تحويل السدود ذات السعة التخزينية الصغيرة. وبالنسبة للخزانات ذات التخزين الكبير نسبياً لامتصاص التقلبات اليومية في تدفق المجرى المائي فإن بيانات تدفقات المجرى المائي الشهرية يمكن أن تكون كافية. وإذا كانت هناك بيانات متاحة يعتمد عليها فيجب استخدام هذه البيانات. ومع هذا في كثير من الحالات تكون البيانات المتاحة محدودة فقط عند وقت التخطيط للخزان. وفي مثل هذه الحالات يمكن استخدام نماذج تكوين تدفق المجرى المائي لتوسيع البيانات المتاحة وتكوين متتابعات يومية أو شهرية لتدفقات المجرى المائي من ٥٠ إلى ٢٠٠ سنة أو نحوه.

في بعض الحالات تكون فقط البيانات المتاحة هي الشهرية ويمكن فقط تكوين متتابعات تدفقات المجرى المائي الشهرية، بينما تكون بيانات تدفق المجرى المائي اليومية لازمة لعمل دراسات تشغيل الخزان. وفي مثل هذه الحالات يمكن اختبار

بيانات تدفق المجرى المائي اليومية الخاصة بالمجاري المائية في مناشئ مياه شبيهة. ويمكن الحكم على التشابه بين مناشئ المياه عن طريق حجم مساحة الصرف، وزمن التركيز، ونمط التسرب، والنطاق المناخي، وأنماط تدفق القاعدة (أي أنماط تدفق المجرى المائي المنخفض) ... إلخ. ويمكن تقدير النسبة المئوية لتدفق المجرى المائي الشهري الذي يحدث أثناء كل يوم من الشهر في سنة متوسطة للمجرى المائي الذي تكون بيانات التدفق اليومية متاحة. وهذا التوزيع يمكن استخدامه لتحليل التدفقات الشهرية إلى قيم يومية. ولاحظ أن هذا التوزيع يكون مفيداً فقط لأجل عمل التخطيط التمهيدي ويجب تعديله بمجرد وجود بيانات متاحة ملائمة.

الطرق الحتمية Deterministic Methods

وهي تتضمن محاكاة التدفقات في الساعة أو اليومية أو الشهرية باستخدام بيانات سقوط المطر في الساعة لمنشئ المياه سويماً مع المعاملات الأخرى التي تحكم التغير المؤقت لظروف رطوبة التربة، والبخر نتح، والتسرب ... إلخ. (Prakash and Dearth 1990). وبعض النماذج التي يمكن استخدامها لهذا الغرض هي نظام مراقبة النهر في هيئة الأحوال الجوية القومية (NWS 198)، وبرنامج فورتران للمحاكاة الهيدرولوجية (USEPA 1991a) (HSPF)، ونظام تشكيل التساقط - الجريان السطحي (USGS 1983) (PRMS)، وتوليد تدفق المجرى المائي وتنظيم تشغيل الخزان (USACE 1986) (SARR). ويجب دراسة كتيبات المستخدم الخاصة باستخدام هذه النماذج. ويمكن معالجة مثل هذه التحليلات على أنها دراسات خاصة.

تحليل الارتداد Regression Analysis

يعد تحليل الارتداد مفيداً في الحالات التي يكون معلوم فيها بيانات التدفق اليومية أو الشهرية المتلاقية مع المعاملات اليومية أو الشهرية الخاصة بسقوط المطر،

ومتوسط درجة حرارة الهواء، ومعاملات أخرى يمكن أن تؤثر على الجريان السطحي، لفترة قصيرة نسبياً من الزمن (٥ - ١٠ سنوات) وتكون بيانات سقوط المطر، ودرجة الحرارة، ومعاملات أخرى تتعلق بها متاحة لفترة أطول من الزمن (٢٥ - ٥٠ سنة أو أكثر). وفي هذه الحالات يمكن تحديد معادلات الارتداد باستخدام بيانات ٥ - ١٠ سنوات مع اعتبار أن تدفق المجرى المائي هو المتغير غير المستقل. ويجب مقارنة معاملات العلاقة التبادلية والأخطاء القياسية للانحسار مع المعاملات غير المتغيرة ولو غاريتها ويجب استخدام معادلة الارتداد الأكثر ملائمة لتكوين بيانات تدفق المجرى المائي الإضافية، باستخدام بيانات إضافية متاحة للمتغيرات المستقلة.

مثال رقم (١٣، ٢): لتقييم جدوى مشروع إمداد مياه، يجب تقدير تدفقات المجرى المائي الشهرية لفترة من ٢٤ سنة عند مجرى مائي غير معايير عند النقطة التي تكون فيها مساحة الصرف ٣٨ كم^٢. مع العلم بأن بيانات سقوط المطر الشهرية فقط هي المتاحة لمنشئ المياه للفترة فوق ٢٤ سنة. وأن بيانات تدفق المجرى المائي وسقوط المطر الشهرية متاحة لمجرى مائي آخر قريب له نفس خصائص منشئ المياه لفترة من ١٣ سنة عند النقطة التي تكون فيها مساحة الصرف ٤٠,٦٦ كم^٢. ومتوسط ميل حوض النهر، وخطوط العرض، ومجموعات التربة الهيدرولوجية، ومتوسط التساقط السنوي في منشئ المياه المعايير وغير المعايير هي ٠,١٣ و ٠,٠٢ م/م، ٦٨ و ١٠٠ م، أ إلى ب و أ إلى ب، و ٥٠٠ و ٥٥٠ مم، على الترتيب.

الحل:

أن مساحة الصرف للمجريين المائيين مختلفتين ولكن خصائص منشئ المياه لهما متشابهة. والمنهج التقريبي التالي هو لتكوين تدفقات شهرية:

• احسب التدفقات الشهرية لكل كيلو متر مربع من مساحة الصرف للمجرى المائي المعايير.

• استنبط معادلة انحدار خطية بين التدفقات الشهرية لكل كيلو متر مربع وسقوط المطر الشهري للمجرى المائي المعايير. ولعمل المقارنة استنبط معادلة انحدار خطية ثانية بين لوغاريتمات هذين المتغيرين.

• استخدم المعادلة مع معامل العلاقة التبادلية الأعلى لتقدير التدفقات الشهرية لكل وحدة كيلو متر مربع من بيانات سقوط المطر الشهرية المعروفة للمجرى المائي الغير معايير.

بيانات التدفقات وسقوط المطر الشهرية لمنشئ المياه المعايير موضحة في الجدول رقم (٢, ١٩). والارتداد الخطى بين Q/A و P و $\log(P)$ يؤدي إلى:

$$(أ) \quad Q/A = -0.00966 + 9.14 \times 10^{-3} P, \quad r^2 = 0.71$$

$$\log(Q/A) = -6.27588 + 1.732748 \log(P), \quad r^2 = 0.85$$

أو:

$$(ب) \quad Q/A = 0.000000530 P^{1.732749}$$

وتقبل المعادلة الثانية لأن لها معامل ارتباط أعلى:

$$r = \sqrt{0.85} = 0.92$$

القيم المعروفة لسقوط المطر الشهري والتدفقات الشهرية المقدرة لمنشئ المياه الشهري ($A = 38 \text{ km}^2$) باستخدام المعادلة موضحة في الجدول رقم (٢, ١٩ ب).

الجدول رقم (١٢، ١٩). بيانات السريان وسقوط المطر الشهرية لمناسخ المياه المقاسة.

السنة	سقوط المطر P (مم)	Log (P)	تدفق المجرى المائي		Q/A (م ^٣ /ث / كم ^٢)	Log (Q/A)
			Q (م ^٣ /ث)	Q/A		
١	٤٥,٥	١,٦٥٧٧	٠,٠٤٥٣	٠,٠٠١١	٢,٩٥٣١ -	
٢	٣٥١,٧	٢,٥٤٦١	٠,٥٣٧٩	٠,٠١٣٢	١,٨٧٨٤ -	
٣	٢٥٣,٠	٢,٤٠٣١	٠,٢٨٣١	٠,٠٠٧٠	٢,١٥٧٢ -	
٤	٣٢٣,٠	٢,٥٠٩١	٠,٢٦٩٠	٠,٠٠٦٦	٢,١٧٩٥ -	
٥	٣٩٣,٤	٢,٥٩٤٩	٠,٣٣٩٨	٠,٠٠٨٦	٢,٠٧٨٠ -	
٦	٩٦,١	١,٩٨٢٩	٠,٠٢٧٥	٠,٠٠٠٧	٣,١٧٠٧ -	
٧	١٤٧,٠	٢,١٦٧١	٠,٠٨٤٩	٠,٠٠٢١	٢,٦٨٠١ -	
٨	٦٨,٣	١,٨٣٤٦	٠,٠٣١١	٠,٠٠٠٨	٣,١١٥٨ -	
٩	٣٢٤,٥	٢,٥١١٢	٠,٧٩٢٨	٠,٠١٩٥	١,٧١٠٠ -	
١٠	١٠٣,٣	٢,٠١٣٩	٠,٠٣٤٠	٠,٠٠٠٨	٣,٠٧٨٠ -	
١١	٣١٦,٦	٢,٥٠٠٥	١,٢٤٥٨	٠,٠٣٠٦	١,٥١٣٧ -	
١٢	٦٢٨,٩	٢,٧٩٨٦	٢,٧١٨٠	٠,٠٦٦٨	١,١٧٤٩ -	
١٣	٥٢,١	١,٧١٦٦	٠,٠٢٣٥	٠,٠٠٠٦٨	٣,٢٣٨١ -	

A = مساحة الصرف (كم^٢).

الجدول رقم (٢، ١٩). بيانات المطر الشهرية المعروفة والتدفقات الشهرية المقدرة.

السنة	P (مم)	Q (م ^٣ /ث)
١	٥,٣٣	٠,٠٠٠٤
٢	١١٥,٥٢	٠,٠٧٢١
٣	٩٦,٥٢	٠,٠٥٥٣
٤	٢٩,٢١	٠,٠٠٧٠
٥	١٩٣,٥٥	٠,١٨٤٦
٦	١٧١,٧٠	٠,١٥٠٠
٧	٢٤٤,٠٩	٠,٢٧٦٠
٨	١٥٦,٩٧	٠,١٢٨٤
٩	٧٢,٦٤	٠,٠٣٣٨
١٠	٩٤,٢٣	٠,٠٥٣٠
١١	٣٣,٧٨	٠,٠٠٩٠
١٢	٢٣٤,١٩	٠,٢٥٦٩
١٣	٨٢,٨٠	٠,٠٤٢٤
١٤	١٥٢,٤٠	٠,١٢٢٠
١٥	٢١٦,١٥	٠,٢٢٣٦
١٦	١٦,٧٦	٠,٠٠٢٧
١٧	٢٧,٤٣	٠,٠٠٦٢
١٨	٣٥,٠٥	٠,٠٠٩٦
١٩	١٨٦,٩٤	٠,١٧٣٩
٢٠	٢٨,٩٦	٠,٠٠٦٩
٢١	١٤٢,٢٤	٠,١٠٨٣
٢٢	١٢,٤٥	٠,٠٠١٦
٢٣	١٦٦,٨٨	٠,١٤٢٨
٢٤	١٢٧,٠٠	٠,٠٨٩٠

الطرق الإحصائية وطرق التسلسل العشوائي

Statistical and Stochastic Methods

وهي مفيدة للحالات التي تكون البيانات المتاحة هي فقط التدفقات اليومية أو الشهرية لفترة محدودة من الزمن (١٠ سنوات أو أكثر) مع بيانات قليلة حول التساقط المتلاقي ويمكن معالجة نموذج التسلسل العشوائي المعقد على أنه دراسة خاصة التي يمكن أن يراجعها القارئ في دراسات أخرى (مثل، Quimpo 1968; Fiering and Jackson 1971; Yevjevich 1972b, 1982). ولتكوين متابعات طويلة من التدفقات الشهرية باستخدام بيانات التدفق الشهرية لفترة محدودة فإن نموذج (USACE 1971a) HEC-4 يعد أداة مناسبة. وهذا النموذج له مقدرة إضافية على ملء قيم التدفق للشهور التي تكون فيها بيانات التدفق غير معلومة.

تحليل مدة التدفق Flow Duration Analysis

منحنى مدة التدفق هو تمثيل بياني لتدفقات المجرى المائي (على المحور y) مقابل النسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها التدفق أو يزيد (على المحور x). ومن المفيد تحديد اعتماد التدفقات اليومية أو الشهرية عند موقع محدد لتلبية حاجة محددة من المياه على أساس يومي أو شهري. ويمكن أن تكون الحسابات اليومية مطلوبة لتحويلات جريان النهر لتلبية متطلبات الطاقة المائية أو الري. ويمكن أن تكون الحسابات الشهرية مطلوبة للخزانات ذات السعة التخزينية الكبيرة وبهذا لا تكون التغيرات اليومية في تدفقات المجرى المائي ذات أهمية طالما تم الحفاظ على التدفقات الشهرية الكلية. والإجراء الحسابي لمنحنيات مدة التدفق موضح في المثال رقم (٢، ١٥).

تحليل منحنى (تموج) الكتلة (Mass Curve (Rippl) Analysis

يعد تحليل منحنى الكتلة مفيداً في حساب الحجم التمهيدي للخزان المطلوب منه موافقة نمط مبسط (أي التابع الزمني) من الحاجة للمياه.

تشمل منحنيات الكتلة منحنيان بيانيان على نفس الورقة البيانية. المنحنى الأول هو تمثيل بياني لتدفقات المجرى المائي أو الانصباب المتراكم (المحور y) مقابل الزمن (المحور x)، والثاني هو تمثيل بياني للطلب المتراكم على المحور y مقابل الزمن على المحور x . إذا كان منحنى الطلب خطاً مستقيماً (أي أن الطلب ثابت)، إذن اختار نقطة على منحنى الانصباب عند بداية أطول فترة تدفق منخفض وارسم خط مماس لمنحنى تدفق الكتلة وموازي لمنحنى الطلب بدءاً من هذه النقطة. أقصى مسافة رأسية بين هذا الخط ومنحنى الانصباب يعطى التخزين المطلوب. وفي حالات معينة يمكن أن يكون الطلب متغيراً مع الزمن. فمثلاً يمكن أن يكون الطلب على المياه منخفضاً أثناء الشهور الأولى والأخيرة من إنشاء مشروع رئيس ويمكن أن يكون كبيراً أثناء ذروة فترة الإنشاء. ويستخدم في هذه الحالة إجراء معدلاً بعض الشيء. والإجراء الحسابي موضح في المثال رقم (٢.١٤).

مثال رقم (٢.١٤): بيانات خمس سنوات شهرية متاحة لتدفق مجرى مائي عند موقع سد مقترح (الجدول رقم ٢.٢٠ أ). يقترح أن يلبي الخزان طلباً ثابتاً مقداره ٨ م^٣/ث بما فيه البخر والفواقد الأخرى. احسب حجم التخزين المحافظ المطلوب لتلبية طلباً أعلى. افترض أن حجم الخزان يجب أن يراعي أن التقلبات اليومية في تدفقات المجرى المائي لا تؤثر على قدرة الخزان على تلبية الحاجة المطلوبة. احسب أيضاً حجم التخزين المحافظ لتلبية الطلب المتغير الموضح في العمود رقم (٣) من الجدول رقم (٢.٢٠ ب).

الحل:

في حالة الطلب الثابت فإن التدفق والتدفق التراكمي والطلب التراكمي والطلب-التدفق والتدفق التراكمي-الطلب التراكمي موضحة كلها في الأعمدة من رقم (٢) إلى رقم (٦) من الجدول رقم (٢٠٢ ج). إذن:

- حدد زوجين القمم (P) والأخاديد (T) المتعاقبة في العمود رقم (٦).
- احسب الفروق: $P1 - T1$ و $P2 - T2$ و $P3 - T3$ ، إلخ.

أعلى قيمة من هذه الفروق هو التخزين المطلوب. لاحظ أن بعض القمم والأخاديد ذات الفرق (P - T) الصغيرة نسبياً ليست موجودة في العمود رقم (٦). ونلاحظ أن أعلى فرق يكون بين $P2$ و $T2$ و قيمته ٣٩,٣٧ م^٣/ث. شهر. وللتحقق من أن هذا التخزين يعد كافياً فإن التخزين وفائض الخزان موضحة في الأعمدة رقم (٧) ورقم (٨).

الحل البياني للطلب الثابت بما يساوي ٨ م^٣/ث موضح في الشكل رقم (٦, ١٢) والشكل رقم (٦, ٢ ب). والشكل رقم (٦, ١٢ أ) يشمل التمثيل البياني للتدفق والطلب التراكمي مقابل الزمن. والقيمة التي تسبق أطول فترة تدفق منخفض يرمز لها بالرمز P. والمماس لمنحنى كتلة التدفق عند P المرسوم موازياً لمنحنى كتلة الطلب موضح في الشكل رقم (٦, ٢ ب). وإن القاطع الرأسي الأكبر يعطى التخزين والذي يمكن قياسه بحوالي ٣٩,٣٧ م^٣/ث. شهر.

التدفق، والطلب، والتدفق-الطلب، والتدفق المتراكم، والطلب المتراكم، والتدفق المتراكم-الطلب المتراكم في حالة الطلب المتغير موضحة في الأعمدة من رقم (٢) حتى رقم (٧) في الجدول رقم (٢٠٢ ب). وكما في الحالة السابقة يتم تحديد القمم والأخاديد المتعاقبة، والفروق $P1 - T1$ و $P2 - T2$ و $P3 - T3$ و $P4 - T4$

محسوبة. أقصى فرق يكون بين P2 و T2 و قيمته ٦٤.٣٣ م^٣/ث. شهر. وهذا يعطى التخزين المطلوب. وللتحقق من أن هذا التخزين كافياً فإن تخزين وفائض الخزان أثناء كل شهر موضحة في الأعمدة رقم (٨) ورقم (٩).

الجدول رقم (٢٠، أ). بيانات تدفق المجرى المائي الشهري (م^٣/ث).

السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
١	٨,٧٧	٤,٩١	٥,٥٢	١١,١٣	٢٢,٤٨	١١,٥٠	٩,٥١	١٤,١٠	٢٠,١٥	٣٥,٩٢	٦,٦٥	٤,٦٠
٢	٢٤,٥٣	٩,٤٧	٣,٣٥	٤,٥٩	٣,٨٥	٤,٣٢	٩,٢٧	٧,٠٤	٣٦,٤٧	٦,٤٥	٦,١٥	٥,٢٨
٣	٥,٧٢	٥,٣٦	٣,٦١	٣,٤٧	٥,٧٨	٤,٢٨	٤,٩٠	١,٩٤	٧,٣٩	٤,٣٠	١٥,٢٦	١٨,٩٧
٤	٩,٥٥	٥,٨٣	٤,٥٠	٨,٢٢	١٦,٨٦	١٢,٢٨	١٠,٧٥	١٠,٤٦	٩,٩٢	٩,٠١	١٦,٣٩	١٦,١٦
٥	٦,١٦	٩,٤٦	٨,٣٧	٧,٢٩	١٩,٢٠	٢٣,٩٧	٢٦,٧٧	١٠,٣٨	٥,٦٧	٤,٦٩	٣,٩١	١٥,٩٥

الجدول رقم (٢٠، ب). تحليل منحنى الكتلة مع الطلب المتغير.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	الطلب التراكمي - الطلب	التخزين	الفائض	التدفق
الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)	الشهر (م ^٣ /ث. شهر)
١	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠	٠
٢	٨.٧٧	٤.٧٧	٨.٧٧	٤	٤.٧٧	٤.٧٧	٦٤.٣٣	٤.٧٧
٣	٤.٩١	٥	١٣.٦٨	٩	٤.٦٨	٤.٦٨	٤٦.٢٤	٠
٤	٥.٥٢	٦	١٩.٢٠	١٥	٤.٢٠	٤.٢٠	٦٣.٧٦	٠
٥	١١.١٣	٧	٣٠.٣٣	٢٢	٨.٣٣	٨.٣٣	٦٤.٣٣	٣.٥٦
٦	٢٢.٤٨	٧	٥٢.٨١	٢٩	٢٣.٨١	٢٣.٨١	٦٤.٣٣	١٥.٤٨
٧	١١.٥	٩	٦٤.٣١	٣٨	٢٦.٣١	٢٦.٣١	٦٤.٣٣	٢.٥

تابع الجدول رقم (٢٠، ٢٠٠ ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
الشهر	التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي - الطلب التراكمي	التخزين	الفائض
(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)	(م ^٣ /ث.شهر)
٨	٩.٥١	١٠	- ٠.٤٩	٧٣.٨٢	٤٨	٢٥.٨٢	٦٣.٨٤	٠
٩	١٤.١	٨	٦.١	٨٧.٩٢	٥٦	٣١.٩٢	٦٤.٣٣	٥.٦١
١٠	٢٠.١٥	٦	١٤.١٥	١٠٨.٠٧	٦٢	٤٦.٠٧	٦٤.٣٣	١٤.١٥
١١	٣٥.٩٢	٨	٢٧.٩٢	١٤٣.٩٩	٧٠	٧٣.٩٩	٦٤.٣٣	٢٧.٩٢
١٢	٦.٦٥	٦	٠.٦٥	١٥٠.٦٤	٧٦	٧٤.٦٤	٦٤.٣٣	٠.٦٥
١٣	٤.٦	٣	١.٦	١٥٥.٢٤	٧٩	٧٦.٢٤	٦٤.٣٣	١.٦
١٤	٢٤.٥٣	٤	٢٠.٥٣	١٧٩.٧٧	٨٣	٩٦.٧٧	٦٤.٣٣	٢٠.٥٣
١٥	٩.٤٧	٥	٤.٤٧	١٨٩.٢٤	٨٨	١٠١.٢٤ P1	٦٤.٣٣	٤.٤٧
١٦	٣.٣٥	٦	- ٢.٦٥	١٩٢.٥٩	٩٤	٩٨.٥٩	٦١.٦٨	٠
١٧	٤.٥٩	٧	- ٢.٤١	١٩٧.١٨	١٠١	٩٦.١٨	٥٩.٢٧	٠
١٨	٣.٨٥	٧	- ٣.١٥	٢٠١.٠٣	١٠٨	٩٣.٠٣	٥٦.١٢	٠
١٩	٤.٣٢	٩	- ٤.٦٨	٢٠٥.٣٥	١١٧	٨٨.٣٥	٥١.٤٤	٠
٢٠	٩.٢٧	١٠	- ٠.٧٣	٢١٤.٦٢	١٢٧	٨٧.٦٢	٥٠.٧١	٠
٢١	٧.٠٤	٨	- ٠.٩٦	٢٢١.٦٦	١٣٥	٨٦.٦٦ T1	٤٩.٧٥	٠
٢٢	٣٦.٤٧	٦	٣٠.٤٧	٢٥٨.١٣	١٤١	١١٧.١٣	٦٤.٣٣	١٥.٨٩
٢٣	٦.٤٥	٨	- ١.٥٥	٢٦٤.٥٨	١٤٩	١١٥.٥٨	٦٢.٧٨	٠
٢٤	٦.١٥	٦	٠.١٥	٢٧٠.٧٣	١٥٥	١١٥.٧٣	٦٢.٩٣	٠
٢٥	٥.٢٨	٣	٢.٢٨	٢٧٦.٠١	١٥٨	١١٨.٠١	٦٤.٣٣	٠.٨٨
٢٦	٥.٧٢	٤	١.٧٢	٢٨١.٧٣	١٦٢	١١٩.٧٣	٦٤.٣٣	١.٧٢
٢٧	٥.٣٦	٥	٠.٣٦	٢٨٧.٠٩	١٦٧	١٢٠.٠٩ P2	٦٤.٣٣	٠.٣٦
٢٨	٣.٦١	٦	- ٢.٣٩	٢٩٠.٧٠	١٧٣	١١٧.٧	٦١.٩٤	٠

تابع الجدول رقم (٢٠٠ ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي - الطلب	التدفق	التخزين	الفائض
الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)	الشهر (م ^٣ /ث.شهر)
٢٩	٣.٤٧	٧	٣.٥٣-	٢٩٤.١٧	١٨٠	١١٤.١٧	٥٨.٤١	٠
٣٠	٥.٧٨	١٤	٨.٢٢-	٢٩٩.٩٥	١٩٤	١٠٥.٩٥	٥٠.١٩	٠
٣١	٤.٢٨	١٨	١٣.٧٢-	٣٠٤.٢٣	٢١٢	٩٢.٢٣	٣٦.٤٧	٠
٣٢	٤.٩	٢٠	١٥.١-	٣٠٩.١٣	٢٣٢	٧٧.١٣	٢١.٣٧	٠
٣٣	١.٩٤	١٥	١٣.٠٦-	٣١١.٠٧	٢٤٧	٦٤.٠٧	٨.٣١	٠
٣٤	٧.٣٩	١٢	٤.٦١-	٣١٨.٤٠	٢٥٩	٥٩.٤٦	٣.٧	٠
٣٥	٤.٣	٨	٣.٧-	٣٢٢.٧٦	٢٦٧	٥٥.٧٦T2	٠	٠
٣٦	١٥.٢٦	٦	٩.٢٦	٣٣٨.٠٢	٢٧٣	٦٥.٠٢	٩.٢٦	٠
٣٧	١٨.٩٧	٣	١٥.٩٧	٣٥٦.٩٩	٢٧٦	٨٠.٩٩	٢٥.٢٣	٠
٣٨	٩.٥٥	٤	٥.٥٥	٣٦٦.٥٤	٢٨٠	٨٦.٥٤	٣٠.٧٨	٠
٣٩	٥.٨٣	٥	٠.٨٣	٣٧٢.٣٧	٢٨٥	٨٧.٣٧	٣١.٦١	٠
٤٠	٤.٥	٦	١.٥-	٣٧٦.٨٧	٢٩١	٨٥.٨٧	٣٠.١١	٠
٤١	٨.٢٢	٧	١.٢٢	٣٨٥.٠٩	٢٩٨	٨٧.٠٩	٣١.٣٣	٠
٤٢	١٦.٨٦	١٤	٢.٨٦	٤٠١.٩٥	٣١٢	٨٩.٩٥P3	٣٤.١٩	٠
٤٣	١٢.٢٨	١٨	٥.٧٢-	٤١٤.٢٣	٣٣٠	٨٤.٢٣	٢٨.٤٧	٠
٤٤	١٠.٧٥	٢٠	٩.٢٥-	٤٢٤.٩٨	٣٥٠	٧٤.٩٨	١٩.٢٢	٠
٤٥	١٠.٤٦	١٥	٤.٥٤-	٤٣٥.٤٤	٣٦٥	٧٠.٤٤	١٤.٦٨	٠
٤٦	٩.٩٢	١٢	٢.٠٨-	٤٤٥.٣٦	٣٧٧	٦٨.٣٦T3	١٢.٦٠	٠
٤٧	٩.٠١	٨	١.٠١	٤٥٤.٣٧	٣٨٥	٦٩.٣٧	١٣.٦١	٠
٤٨	١٦.٣٩	٦	١٠.٣٩	٤٧٠.٧٦	٣٩١	٧٩.٧٦	٢٤.٠	٠

تابع الجدول رقم (٢٠، ب).

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
التدفق	الطلب	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق التراكمي - الطلب	التدفق	التخزين	الفائض
الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)	الشهر (م/ث.شهر)
٤٩	١٦.١٦	٣	١٣.١٦	٤٨٦.٩٢	٣٩٤	٩٢.٩٢	٣٧.١٦	٠
٥٠	٦.١٦	٤	٢.١٦	٤٩٣.٠٨	٣٩٨	٩٥.٠٨	٣٩.٣٢	٠
٥١	٩.٤٦	٥	٤.٤٦	٥٠٢.٥٤	٤٠٣	٩٩.٥٤	٤٣.٧٨	٠
٥٢	٨.٣٧	٦	٢.٣٧	٥١٠.٩١	٤٠٩	١٠١.٩١	٤٦.١٥	٠
٥٣	٧.٢٩	٧	٠.٢٩	٥١٨.٢٠	٤١٦	١٠٢.٢	٤٦.٤٤	٠
٥٤	١٩.٢	١٤	٥.٢	٥٣٧.٤٠	٤٣٠	١٠٧.٤	٥١.٦٤	٠
٥٥	٢٣.٩٧	١٨	٥.٩٧	٥٦١.٣٧	٤٤٨	١١٣.٣٧	٥٧.٦١	٠
٥٦	٢٦.٧٧	٢٠	٦.٧٧	٥٨٨.١٤	٤٦٨	١٢٠.١٤	٦٤.٣٣	٠.٥
٥٧	١٠.٣٨	١٥	٤.٦٢ -	٥٩٨.٥٢	٤٨٣	١١٥.٥٢	٥٩.٧١	٠
٥٨	٥.٦٧	١٢	٦.٣٣ -	٦٠٤.١٩	٤٩٥	١٠٩.١٩	٥٣.٣٨	٠
٥٩	٤.٦٩	٨	٣.٣١ -	٦٠٨.٨٨	٥٠٣	١٠٥.٨٨	٥٠.٠٧	٠
٦٠	٣.٩١	٦	٢.٠٩ -	٦١٢.٧٩	٥٠٩	١٠٣.٧٩	٤٧.٩٨	٠
٦١	١٥.٩٥	٣	١٢.٩٥	٦٢٨.٧٤	٥١٢	١١٦.٧٤	٦٠.٩٣	٠

P = القمة، T = الأخلود

الجدول رقم (٢,٢٠ ج). تحليل منحني الكتلة مع الطلب الثابت.

(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
التدفق	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي	التدفق - الطلب	التخزين	الفائض
الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)	الشهر (م³/ث.شهر)
١	٠	٠	٠	٠	٠	٣٩.٣٧	٠
٢	٨.٧٧	٨.٧٧	٨	٠.٧٧	٠.٧٧	٣٩.٣٧	٠.٧٧
٣	٤.٩١	١٣.٦٨	١٦	٣.٠٩ -	٢.٣٢ -	٣٦.٢٨	٠
٤	٥.٥٢	١٩.٢٠	٢٤	٢.٤٨ -	٤.٨٠ -	٣٣.٨٠	٠
٥	١١.١٣	٣٠.٣٣	٣٢	٣.١٣	١.٦٧ -	٣٦.٩٣	٠
٦	٢٢.٤٨	٥٢.٨١	٤٠	١٤.٤٨	١٢.٨١	٣٩.٣٧	١٢.٠٤
٧	١١.٥	٦٤.٣١	٤٨	٣.٥٠	١٦.٣١	٣٩.٣٧	٣.٥٠
٨	٩.٥١	٧٣.٨٢	٥٦	١.٥١	١٧.٨٢	٣٩.٣٧	١.٥١
٩	١٤.١	٨٧.٩٢	٦٤	٦.١٠	٢٣.٩٢	٣٩.٣٧	٦.١٠
١٠	٢٠.١٥	١٠٨.٠٧	٧٢	١٢.١٥	٣٦.٠٧	٣٩.٣٧	١٢.١٥
١١	٣٥.٩٢	١٤٣.٩٩	٨٠	٢٧.٩٢	٦٣.٩٩	٣٩.٣٧	٢٧.٩٢
١٢	٦.٦٥	١٥٠.٦٤	٨٨	١.٣٥ -	٦٢.٦٤	٣٨.٠٢	٠
١٣	٤.٦	١٥٥.٢٤	٩٦	٣.٤٠ -	٥٩.٢٤	٣٤.٦٢	٠
١٤	٢٤.٥٣	١٧٩.٧٧	١٠٤	١٦.٥٣	٧٥.٧٧	٣٩.٣٧	١١.٧٨
١٥	٩.٤٧	١٨٩.٢٤	١١٢	١.٤٧	٧٧.٢٤ P1	٣٩.٣٧	١.٤٧
١٦	٣.٣٥	١٩٢.٥٩	١٢٠	٤.٦٥ -	٧٢.٥٩	٣٤.٧٢	٠
١٧	٤.٥٩	١٩٧.١٨	١٢٨	٣.٤١ -	٦٩.١٨	٣١.٣١	٠
١٨	٣.٨٥	٢٠١.٠٣	١٣٦	٤.١٥ -	٦٥.٠٣	٢٧.١٦	٠
١٩	٤.٣٢	٢٠٥.٣٥	١٤٤	٣.٦٨ -	٦١.٣٥ T1	٢٣.٤٨	٠
٢٠	٩.٢٧	٢١٤.٦٢	١٥٢	١.٢٧	٦٢.٦٢	٢٤.٧٥	٠
٢١	٧.٠٤	٢٢١.٦٦	١٦٠	٠.٩٦ -	٦١.٦٦	٢٣.٧٩	٠

تابع الجدول رقم (٢٠٢ ج).

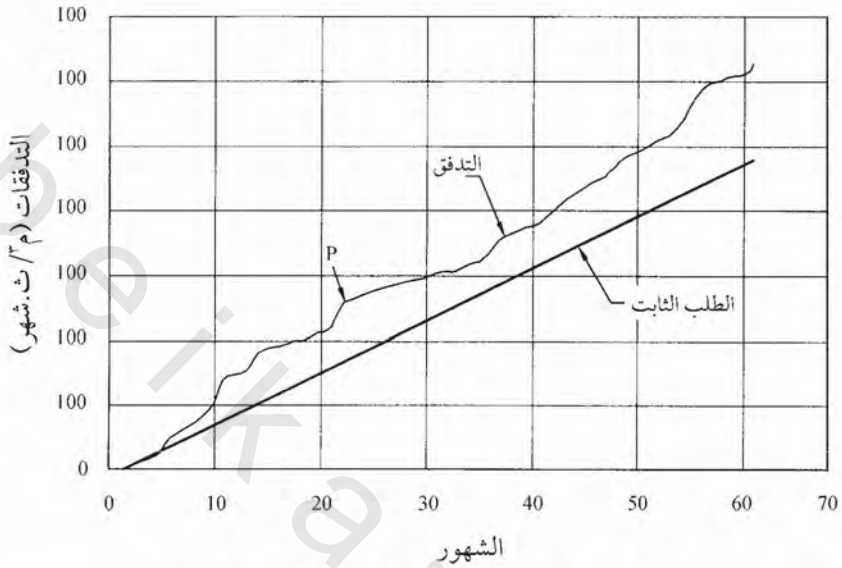
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
التدفق	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	الطلب - التدفق	التدفق التراكمي	الطلب - التدفق التراكمي	التخزين	الفائض
الشهر (م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)	(م/ث.شهر)
٢٢	٣٦.٤٧	٢٥٨.١٣	١٦٨	٢٨.٤٧	P2 ٩٠.١٣	٣٩.٣٧	١٢.٨٩
٢٣	٦.٤٥	٢٦٤.٥٨	١٧٦	١.٥٥ -	٨٨.٥٨	٣٧.٨٢	•
٢٤	٦.١٥	٢٧٠.٧٣	١٨٤	١.٨٥ -	٨٦.٧٣	٣٥.٩٧	•
٢٥	٥.٢٨	٢٧٦.٠١	١٩٢	٢.٧٢ -	٨٤.٠١	٣٣.٢٥	•
٢٦	٥.٧٢	٢٨١.٧٣	٢٠٠	٢.٢٨ -	٨١.٧٣	٣٠.٩٧	•
٢٧	٥.٣٦	٢٨٧.٠٩	٢٠٨	٢.٦٤ -	٧٩.٠٩	٢٨.٣٣	•
٢٨	٣.٦١	٢٩٠.٧	٢١٦	٤.٣٩ -	٧٤.٧٠	٢٣.٩٤	•
٢٩	٣.٤٧	٢٩٤.١٧	٢٢٤	٤.٥٣ -	٧٠.١٧	١٩.٤١	•
٣٠	٥.٧٨	٢٩٩.٩٥	٢٣٢	٢.٢٢ -	٦٧.٩٥	١٧.١٩	•
٣١	٤.٢٨	٣٠٤.٢٣	٢٤٠	٣.٧٢ -	٦٤.٢٣	١٣.٤٧	•
٣٢	٤.٩	٣٠٩.١٣	٢٤٨	٣.١٠ -	٦١.١٣	١٠.٣٧	•
٣٣	١.٩٤	٣١١.٠٧	٢٥٦	٦.٠٦ -	٥٥.٠٧	٤.٣١	•
٣٤	٧.٣٩	٣١٨.٤٠	٢٦٤	٠.٦١ -	٥٤.٤٦	٣.٧٠	•
٣٥	٤.٣	٣٢٢.٧٦	٢٧٢	٣.٧٠ -	٥٠.٧٦ T2	•	•
٣٦	١٥.٢٦	٣٣٨.٠٢	٢٨٠	٧.٢٦	٥٨.٠٢	٧.٢٦	•
٣٧	١٨.٩٧	٣٥٦.٩٩	٢٨٨	١٠.٩٧	٦٨.٩٩	١٨.٢٣	•
٣٨	٩.٥٥	٣٦٦.٥٤	٢٩٦	١.٥٥	٧٠.٥٤	١٩.٧٨	•
٣٩	٥.٨٣	٣٧٢.٣٧	٣٠٤	٢.١٧ -	٦٨.٣٧	١٧.٦١	•
٤٠	٤.٥	٣٧٦.٨٧	٣١٢	٣.٥٠ -	٦٤.٨٧	١٤.١١	•
٤١	٨.٢٢	٣٨٥.٠٩	٣٢٠	٠.٢٢	٦٥.٠٩	١٤.٣٣	•
٤٢	١٦.٨٦	٤٠١.٩٥	٣٢٨	٨.٨٦	٧٣.٩٥	٢٣.١٩	•

تابع الجدول رقم (٢,٢٠) ج.

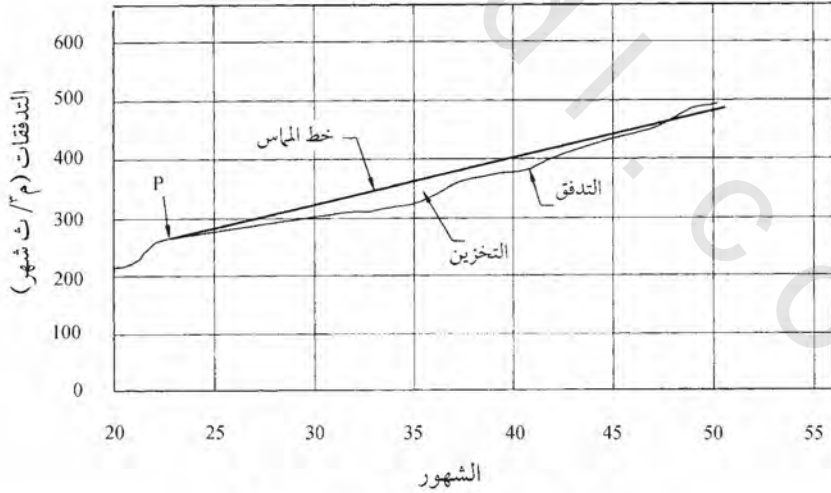
(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)
التدفق	التدفق التراكمي	الطلب التراكمي	التدفق - الطلب	التدفق التراكمي - الطلب التراكمي	التخزين	الفائض	الشهر
(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)	(م³/ث.شهر)
١٢.٢٨	٤١٤.٢٣	٣٣٦	٤.٢٨	٧٨.٢٣	٢٧.٤٧	٠	٤٣
١٠.٧٥	٤٢٤.٩٨	٣٤٤	٢.٧٥	٨٠.٩٨	٣٠.٢٢	٠	٤٤
١٠.٤٦	٤٣٥.٤٤	٣٥٢	٢.٤٦	٨٣.٤٤	٣٢.٦٨	٠	٤٥
٩.٩٢	٤٤٥.٣٦	٣٦٠	١.٩٢	٨٥.٣٦	٣٤.٦٠	٠	٤٦
٩.٠١	٤٥٤.٣٧	٣٦٨	١.٠١	٨٦.٣٧	٣٥.٦١	٠	٤٧
١٦.٣٩	٤٧٠.٧٦	٣٧٦	٨.٣٩	٩٤.٧٦	٣٩.٣٧	٤.٦٣	٤٨
١٦.١٦	٤٨٦.٩٢	٣٨٤	٨.١٦	١٠٢.٩٢	٣٩.٣٧	٨.١٦	٤٩
٦.١٦	٤٩٣.٠٨	٣٩٢	١.٨٤ -	١٠١.٠٨	٣٧.٥٣	٠	٥٠
٩.٤٦	٥٠٢.٥٤	٤٠٠	١.٤٦	١٠٢.٥٤	٣٨.٩٩	٠	٥١
٨.٣٧	٥١٠.٩١	٤٠٨	٠.٣٧	١٠٢.٩١	٣٩.٣٦	٠	٥٢
٧.٢٩	٥١٨.٢	٤١٦	٠.٧١ -	١٠٢.٢٠	٣٨.٦٥	٠	٥٣
١٩.٢	٥٣٧.٤	٤٢٤	١١.٢٠	١١٣.٤٠	٣٩.٣٧	١٠.٤٨	٥٤
٢٣.٩٧	٥٦١.٣٧	٤٣٢	١٥.٩٧	١٢٩.٣٧	٣٩.٣٧	١٥.٩٧	٥٥
٢٦.٧٧	٥٨٨.١٤	٤٤٠	١٨.٧٧	١٤٨.١٤	٣٩.٣٧	١٨.٧٧	٥٦
١٠.٣٨	٥٩٨.٥٢	٤٤٨	٢.٣٨	١٥٠.٥٢P3	٣٩.٣٧	٢.٣٨	٥٧
٥.٦٧	٦٠٤.١٩	٤٥٦	٢.٣٣ -	١٤٨.١٩	٣٧.٠٤	٠	٥٨
٤.٦٩	٦٠٨.٨٨	٤٦٤	٣.٣١ -	١٤٤.٨٨	٣٣.٧٣	٠	٥٩
٣.٩١	٦١٢.٧٩	٤٧٢	٤.٠٩ -	١٤٠.٧٩T3	٢٩.٦٤	٠	٦٠
١٥.٩٥	٦٢٨.٧٤	٤٨٠	٧.٩٥	١٤٨.٧٤	٣٧.٥٩	٠	٦١

الطلب ثابت = ٨ م³/ث

P = القمة، T = الأخدود



الشكل رقم (٢.٦ أ). منحنى الكتلة للتدفق والطلب.



الشكل رقم (٢.٦ ب). تحليل منحنى الكتلة.

تقدير متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام في عشر سنوات

Estimation of 7 Days Average 10 Yrs Low Flow

مرات كثيرة تكون تحولات التدفق من المجاري المائية مسموحاً بها فقط إذا كانت التدفقات مساوية أو أكبر من سبعة أيام، عشر سنوات (7Q10) من التدفقات المنخفضة للمجرى المائي التي تترك في المجرى المائي لتلبية مقتضيات تدفق المجرى المائي. تدفق 7Q10 المنخفض يستخدم أيضاً لتقييم أثار تسريبات منشئ المياه على جودة المياه من المجرى المائي المستقبل. يتضمن متوسط سبعة أيام متوسط كل الاتحادات المتعاقبة من سبعة أيام من التدفقات في سنة أي متوسط التدفقات من اليوم الأول إلى اليوم السابع، اليوم الثاني إلى اليوم الثامن، اليوم الثالث إلى اليوم التاسع، إلخ. يعرف هذا بالمتوسط المتحرك سبعة أيام. وأقل متوسط تدفق في سبعة أيام يتم حسابه لكل سنة تكون بياناتها متاحة. ويتم حساب المتوسط والانحراف القياسي ومعامل الانحراف من أقل تدفق سنوي منخفض سبعة أيام ناتج، كما هو موضح في الجزء من هذا الفصل تحت عنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة". وباستخدام التوزيع الطبيعي أو توزيع اللوغاريتم الطبيعي أو توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ يتم حساب التدفق المنخفض في T سنة باستخدام المعادلة:

$$Q_T = \bar{X} - Ks \quad (2,21)$$

حيث إن K كما هي معرفة في الجزء من هذا الفصل بعنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة". واستخدم جامبل أقصى قيمة لتوزيع نوع ٣ أو التوزيع الأسّي المحدد للقيم الأصغر لتحليل تدفقات المجاري المائية المنخفضة (Yevjevich 1972a, 1997). والتقديرات التحليلية لقيم K لهذا التوزيع تكون معقدة نسبياً. ولعظم الحالات العملية يمكن تمثيل القيم بيانياً على أوراق التمثيل البياني لأقصى قيمة لتوزيع

نوع ٣ وتدفقات المجاري المائية المنخفضة لفترة العودة المرغوبة التي تم الحصول عليها عن طريق الحكم.

مثال رقم (٢, ١٥): بيانات تدفق المجرى المائي اليومية لسنة منخفضة التدفق في مجرى مائي معلوم موضحة في الجدول رقم (٢, ٢١). ومن المقترح تحويل المياه من هذا المجرى المائي لتلبية الطلب اليومي المنتظم المقدّر بـ $٧,٠ \text{ م}^٣/\text{ث}$ ، وأدنى مقتضيات تدفق من المجرى المائي $١,٠ \text{ م}^٣/\text{ث}$. احسب اعتماد هذا المورد لتلبية الطلب على المياه الخاص بالبلدية.

الحل:

استنبط منحني مدة تدفق لفترة التدفق المنخفض بإتباع الخطوات الحسابية

التالية:

- صنّف كل التدفقات اليومية في ترتيب تنازلي حسب المقدار.
- ضع رقم لترتيب كل قيمة يومية (أي الرتبة رقم ١ لأعلى تدفق وهكذا). وإذا حدث نفس التدفق مرتين أو أكثر، فإن كل قيمة تعطى رتبة مختلفة بالتالي.
- اقسّم رتبة كل قيمة على العدد الكلي للأيام التي تكون فيها البيانات متاحة واضرب خارج القسمة في ١٠٠ للحصول على النسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها التدفق أو يتجاوز.

• قم بتمثيل التدفقات بيانياً (على المحور y) مقابل النسبة المئوية للتجاوز (على المحور x) كما هو موضح في الشكل رقم (٢, ٧).

ويوضح الجدول رقم (٢, ٢١) ب) التدفقات الـ ٢٧ المختارة وترتيبهم والنسبة المئوية للأوقات التي يتساوى فيها كل تدفق أو يتجاوز. ويمكن ملاحظة أن اعتماد المجرى المائي لتلبية الطلب اليومي الكلي $٨ \text{ م}^٣/\text{ث}$ هي $٦٦,٠٣\%$. أي أن تدفق

المجرى المائي متاح سوف يكون أقل من الطلب أثناء (١٠٠-٦٦,٠٣٪) ٣٣,٩٦٪
لأيام التدفق المنخفض في السنة.

الجدول رقم (٢,٢١). بيانات تدفق المجرى المائي اليومية في سنة (٣/٢٠٠٠).

اليوم	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
١	١٤,٣٩	١٨,٧٥	٢٠,٨٤	١١,٣٣	١٠,٢٧	١٧,٤٠	٥,٦٦	١٧,١٥	١١,٤٥	٧,٦٧	٧,٥٠	١٢,٩٤
٢	٣٣,٧٤	٦,٠٦	٩,٧٩	٥,٩٦	٦,٩٧	١٩,١٧	٤,٥٨	٢,٨٤	١٥,٠٨	١٧,٥٥	٥,٦٩	٨,٤٩
٣	١٠,٨٠	٢٦,٠٠	٦,٧٩	١٨,٥٠	١٣,٠٩	١٨,٣١	٧,٦٧	٢,٥٦	١٥,٢٢	٤,٦٦	٥,٠٦	١٤,١٩
٤	٨,٩٣	١٠,٨١	٥,٠٤	١٩,٠١	٧,٤٢	١١,٢٠	٢١,١٩	٨,٤٤	٢١,٩٢	٥,٣٥	١١,٩٧	١٤,٧٦
٥	٨,١٥	٩,٢٣	١٩,٠٥	١٠,١٩	٢٠,٣٦	١٠,٦٩	٧,٨٠	١٦,١٩	١٥,٨٤	٢,٦٣	١٦,٤٥	٢٥,٩٣
٦	١١,٠٦	٥,٤٧	١٢,٦١	١٥,٢٠	٢٦,٩٥	٨,١٤	٤,٨٨	٤,٢٦	٢٤,٠٧	٣,٠٠	٨,٧٧	٢٧,٠٧
٧	٦,٥٨	٨,٧٤	٢٠,٠٢	٧,٠٢	٢١,٩٩	٥,١٤	٦,٠١	٤,٦١	٢٤,٩١	٦,٤٤	٩,٧٥	٧,٧٧
٨	١٠,٩٨	٥,٤٢	١٧,٥٥	٧,٧٨	٢٥,٩١	٤,٤١	٩,٦٦	٨,٨٠	١٦,٢٢	٤,٠٣	١٢,٩١	٦,٢٨
٩	٩,٣٥	٢٨,٣٤	٣٣,٦٤	٣,٩٢	٢٠,٠٦	٣,٥٣	٨,٦٩	٨,٤٠	٢٧,٥٣	٧,٤٧	٥,٥٨	٣,٩٢
١٠	٧,٣٨	٢٥,٢٥	٢٦,٢٦	٣,٥٠	١٦,٠٤	٣,٩٢	٢٤,١٦	١١,٠٤	١٦,٨١	١٠,٣٩	٧,٧٣	٣,٤٢
١١	١٢,٧٨	٢٣,٦٨	١٦,٠٧	٤٣,٩٢	١١,٩٨	٢,٦٦	٢٠,٤٤	٩,٠٢	١٠,٥٧	٣,٣٢	٢,٨٥	٣١,٠٠
١٢	١٣,٢٦	٨,٦٤	١٣,٣١	٣١,٤٢	٢٤,٤٦	٢,٨٢	١٦,٠٥	٨,٦٦	١١,٤٥	٢٤,٢٥	٢,٦٧	١١,٠٠
١٣	١٤,٩٠	٤٧,٠٥	٧,٧٨	٦,٩٣	١٣,١٢	٤,٠١	٧,٧٢	٣١,٩٠	٧,٤٨	٢٦,٦٠	٣,٦٩	٨,٩٠
١٤	٧,٨٢	٩,٩٤	١٢,٥٧	٩,٣٨	١١,٣٨	٦,٠٠	٧,١٤	١٤,١٤	٨,٥٦	١٩,٥٦	٥,٦٦	٩,٨٥
١٥	٥,٦١	٨,٦٥	٨,١٦	٩,٢١	٩,٣٥	٩,٤١	١١,٩٧	٧,٥٥	٣,٤٥	١٧,٢٢	٣,٢٦	٦,٠٩
١٦	٤,٥٣	٧,٩٦	١٧,٥١	١٠,٥١	٧,٦٦	٢٣,٠٦	١٥,٤٤	٥,٣٣	٢,٧٦	١١,٢٥	٢٦,٠٠	٣,٣٤
١٧	٢٣,٦٢	٦,١٨	١٧,٠٩	٨,٤٧	٦,١١	٤١,٧٢	١١,٤٠	٤,٣٩	١٧,٩٠	٦,٧٠	٢١,٨٢	٨,١٦
١٨	٣٩,٣٧	٧,٦٧	٤١,٧٥	٨,٠٦	٦,٦٣	١٠,٩٧	١٠,٨١	٣,٩٨	٣٨,٤٥	٥,١٧	٢٣,٦٢	٣,٧٦
١٩	٦٦,٩٠	٧,٣٤	٤٦,٦٠	١٢,٢٥	٥,٩٥	١٢,٨١	١٩,٧٢	١٥,٢٦	٤,٩٦	٧,٢٤	٢٨,٧٧	٩,١٨
٢٠	١٣,٣٧	١٤,١٦	٩,٦٤	٤٣,٠٠	٧,٨١	١٥,٨٣	٩,٣١	٨,٣٥	٦,٩٩	٤,٢١	٢٠,٩٣	٧,٧٩
٢١	٧٣,١٠	٨,٠٠	٣١,٣٤	١٧,٤٢	٩,٨٤	١٠,٧٣	٩,٦١	١٧,٣٠	٧,٢٩	١١,٨٢	٣٢,٦٧	١٤,٧٠
٢٢	٣٥,٦٩	٨,٩١	١٤,٨٣	١٤,٧٢	١٠,٢٦	١٠,٦٥	٣٣,٨٨	٥,١٢	٨,١٥	٢٦,٠٤	٢٢,١٩	٢٢,١٩
٢٣	٢٧,٨٥	١١,٠٩	٥٨,١٨	١١,٢٣	١٠,٨٨	١٠,٤٠	٩,٤٧	٢٢,٦٠	٩,٦٨	٣,٦٩	١٤,٦٨	٩,٥٥

تابع الجدول رقم (٢,٢١).

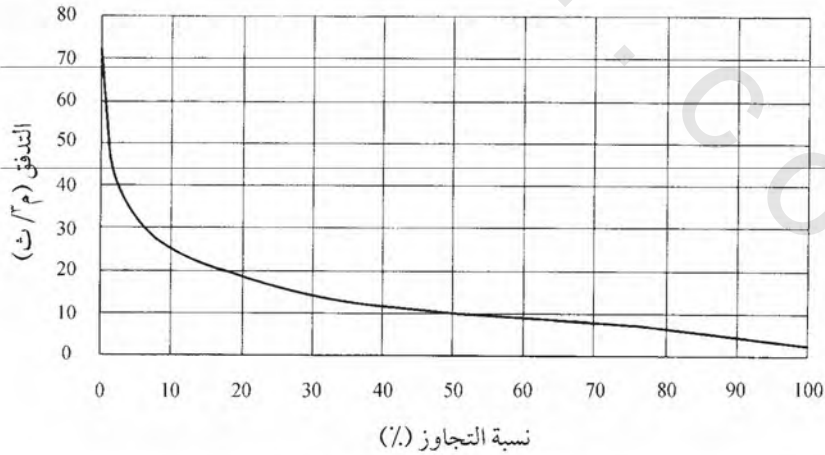
اليوم	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
٢٤	٩,٩٤	٢٣,٧١	١٣,٦٥	١٢,٠٧	١٣,١٤	٧,٥٤	٣,٣٠	١٨,٩٨	٨,٧١	٧,١٠	١١,٠٠	٢,٩٣
٢٥	٨,٥٩	١٧,٢٢	٥,٧٧	١٥,٨٩	١٥,٠٦	٧,١٢	٣,٧٣	١٩,٠٢	٧,٠٢	٦,٨٥	٩,٧٨	٧,٧٩
٢٦	٨,٨٠	٨,٠٤	٤,٧٦	٣٠,١٥	١١,٨٥	٦,٤٣	٣,٣٥	١٦,٣١	٣,٦٥	١١,٥١	١٨,٣٥	٨,١٣
٢٧	٤,٥١	١٦,٣٧	٣,٨١	١٢,٠١	١٢,٥٦	١٧,٩٨	٢,٣٨	٢٤,٠٤	٣,٧٣	١١,٧٠	٢١,٢١	٦,٢٩
٢٨	١٢,٩٠	١٠,٤٠	٤,٥٧	١٣,٣٧	١٠,٢٥	٨,٣٧	٥,٤٩	١٣,١٠	٤,١٢	٣٠,٤٨	٢٠,١٢	١٠,٩٦
٢٩	٩,١٧		٩,٤٧	١٠,٢٧	٨,٧٢	١٣,٣٠	٧,٤٧	٢٣,٦٧	٧,٦٦	١٢,٥٤	١١,٥٧	٥,٠١
٣٠	٨,٢٨		٤,٨٣	١,٩٧	٧,٠٧	٧,٠٣	٢٣,١٣	١٩,٥٥	٢٣,٤٦	٦,٠٥	٥,٥٨	٥,٥٣
٣١	١٣,٣٢	١٠,١٢			٥,٧٤		١٩,٣٥	١٣,٣٦	٧,٩٢			٨,١٠

الجدول رقم (٢,٢١) ب). جدول مدة السريان.

Q (م ^٣ /ث)	الترتيب	نسبة التجاوز (%)
٧٣,١٠	١	٠,٢٧
٣٣,٦٤	١٥	٤,١١
٢٦,٢٦	٣٠	٨,٢٢
٢٣,٦٧	٤٥	١٢,٣٣
٢٠,٤٤	٦٠	١٦,٤٤
١٨,٥٠	٧٥	٢٠,٥٥
١٦,٨١	٩٠	٢٤,٦٦
١٥,٢٠	١٠٥	٢٨,٧٧
١٣,٣٧	١٢٠	٣٢,٨٨
١٢,٥٧	١٣٥	٣٦,٩٩
١١,٥١	١٥٠	٤١,١٠
١٠,٩٨	١٦٥	٤٥,٢١
١٠,٢٧	١٨٠	٤٩,٥٩
٩,٦٤	١٩٥	٥٣,٤٢

تابع الجدول رقم (٢,٢١) ب).

نسبة التجاوز (%)	الترتيب	Q (م ^٣ /ث)
٥٧,٥٣	٢١٠	٨,٩٣
٦١,٦٤	٢٢٥	٨,٤٩
٦٥,٧٥	٢٤٠	٨,٠٤
٦٦,٠٣	٢٤١	٨,٠٠
٧٠,١٤	٢٥٥	٧,٦٧
٧٣,٩٧	٢٧٠	٧,١٤
٧٨,٠٨	٢٨٥	٦,٤٤
٨٢,١٩	٣٠٠	٥,٦٩
٨٦,٣٠	٣١٥	٥,٠٦
٩٠,٤١	٣٣٠	٤,٢٦
٩٤,٥٢	٣٤٥	٣,٦٩
٩٨,٦٣	٣٦٠	٢,٧٦
١٠٠,٠٠	٣٦٥	٢,٣٨



الشكل رقم (٢,٧). منحنى مدة السريان.

مثال رقم (٢، ١٦): استخدم بيانات تدفق المجرى المائي اليومية المذكورة في المثال رقم (٢، ١٥) لتقدير متوسط سبعة أيام من التدفق المنخفض لتلك السنة. إذا كانت متوسط سبعة أيام المقدر لأقل تدفق خلال الـ ١٥ سنة الماضية لهذا المجرى المائي موضحة في الجدول رقم (٢، ٢٢). احسب التدفق المنخفض لسبعة أيام في عشر سنوات لهذا المجرى المائي.

الحل:

خطوات الحساب هي كما يلي:

• سجل التدفقات اليومية المعطاة في الجدول رقم (٢، ٢١) في أحد أعمدة ورقة العمل.

• باستخدام الدوال الإحصائية من حزم البرامج القياسية (مثل الإكسل) احسب متوسطات سبعة أيام المتحركة وأدخل العمود التالي. يعطى هذا متوسط قيم سبعة أيام ٣٥٩ لتدفقات يومية ٣٦٥. وقيم قليلة مختارة موضحة في الجدول رقم (٢، ٢٢) (ب).
• أوجد أدنى قيمة في القيم الـ ٣٥٩، التي وجد أنها ٣,٧٨٦ م^٣/ث وهذا هو متوسط سبعة أيام من التدفق المنخفض في السنة التي تعطى البيانات الخاصة بها في الجدول رقم (٢، ٢٢) (ب).

• استخدم هذه القيمة سوياً مع القيم المعطاة في الـ ١٥ سنة الماضية لحساب المتوسط والانحراف القياسي ومعامل الالتواء للقيم الـ ١٦. والتائج موضحة في الجدول رقم (٢، ٢٢) (ج).

باستخدام التوزيع الطبيعي كم هو مذكور في الجزء بعنوان "التحليل الإحصائي للبيانات المتاحة" في هذا الفصل يتج:

تدفق سبعة أيام منخفض في عشر سنوات =

$$(7Q_{10}) = 4.16 - 1.28155 \times 0.95 = 2.94 \text{ m}^3/\text{s}$$

باستخدام توزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ وبتطبيق المعادلة رقم (٢,٢٢)

$$k = (2/0.341) \left[\left\{ (1.28155 - (0.341/6)) \times (0.341/6) + 1 \right\}^3 - 1 \right] = 1.312$$

$$\log[7Q_{10}] = 0.609 - (1.312 \times 0.096) = 0.483$$

$$7Q_{10} = 3.04 \text{ m}^3/\text{s}$$

ومن هنا يتضح أن القيمة ٣ م^٣/ث تعتبر قيمة معقولة.

الجدول رقم (٢,٢٢). متوسط التدفق المنخفض السنوي لسبعة أيام.

التدفق (م ^٣ /ث)	السنة
٤,١١١	١
٣,٢١٢	٢
٥,٣١٣	٣
٦,٠٠٥	٤
٢,٨٩١	٥
٢,٩٧٦	٦
٣,٥٠٥	٧
٣,٩٨٧	٨
٣,٨٣١	٩
٥,٨٩٢	١٠
٤,٩٠٥	١١
٤,٣٠٣	١٢
٤,٥٥٠	١٣
٣,٥٢٥	١٤
٣,٧٦١	١٥
a	١٦

a: القيم المراد حسابها عن طريق تحليل المتوسط المتحرك لبيانات محددة.

الجدول رقم (٢,٢٢ ب). حساب متوسط التدفق المنخفض لسبعة أيام.

التدفق اليومي (م ^٣ /ث)	متوسط التدفق المتحرك لسبعة أيام (م ^٣ /ث)
١٤,٣٩	
٣٣,٧٤	
١٠,٨٠	
٨,٩٣	
٨,١٥	
١١,٠٦	
٦,٥٨	١٣,٣٧٩
١٠,٩٨	١٢,٨٩١
٩,٣٥	٩,٤٠٧
—	—
—	—
—	—
٥,١٤	١٢,٨٦٤
٤,٤١	١١,٠٠٩
٣,٥٣	٨,٧٧٤
٣,٩٣	٦,٧٢٠
٢,٦٦	٥,٥٠٠
٢,٨٢	٤,٣٧٦
٤,٠١	٣,٧٨٦
٦,٠٠	٣,٩٠٩
٩,٤١	٤,٦٢٣
—	—
—	—
—	—

الجدول رقم (٢,٢٢ ج). المعاملات الإحصائية لمتوسط التدفق السنوي المنخفض لسبعة أيام.

المتغير	متوسط التدفق المنخفض غير المتحول في سبعة أيام (م ^٣ /ث)	لوغريتم متوسط التدفق المنخفض في سبعة أيام
عدد القيم	١٦,٠٠	١٦,٠٠
المتوسط	٤,١٦	٠,٦٠٩
الانحراف القياسي	٠,٩٥	٠,٠٩٦
معامل الالتواء	٠,٧٢	٠,٣٤١

النماذج الهيدرولوجية

Hydrologic Models

مع التقدم المستمر في تكنولوجيا الحاسب الآلي أصبح هناك غزارة من النماذج الهيدرولوجية التي يمكن أن تتفاعل مع المنحنيات البيانية المتعددة والحزم البصرية مثل Surfer و CADD و GIS. وهناك عدد متاح من هذه النماذج مع الباعة المتخصصين المتعددين. مناقشة موجزة لبعض النماذج الهيدرولوجية العامة الملكية والشائعة الاستخدام كما في التالي:

نماذج تحديد وتحديد المنحنيات المائية لانسياب العاصفة

Models for Development and Routing of Storm Runoff Hydrographs

• HEC-1، حزمة المنحنى المائي للفيضان (USACE 1991a): هذا النموذج يحسب المنحنيات المائية للجريان السطحي لأحداث سقوط المطر وذوبان الجليد ذات الخصائص الهيدروليكية المعروفة لمنشئ المياه، وتدمج المنحنيات المائية لمنشئ المياه الفرعية عند المواقع المذكورة، ويحدد خلالها الخزانات والقنوات في شبكة عمل محددة. ويمكنه أيضاً أن يؤدي تحليل تصدع سد مبسط والتحليل الاقتصادي لأضرار الفيضان.

• **HEC-HMS**، نظام التشكيل الهيدرولوجي (USACE 2002): هذا النموذج يعد تالياً لنموذج HEC-1. وهو نموذج تبادلي الفعل وله القدرات المتاحة في نموذج HEC-1. وبالإضافة إلى ذلك فإنه يشمل:

- نموذج جريان سطحي موزع للاستخدام مع بيانات تساقط موزعة مثل البيانات المتاحة من محطة الأرصاد الجوية.
- نموذج حساب رطوبة التربة المستمر المستخدم لمحاكاة الاستجابة طويلة المدى لمنشئ المياه إلى المبلل والجاف.
- حزمة معايرة آلية يمكن أن تقدر متغيرات نموذج محدد والأحوال الأولية، والملاحظات المعطاة للأحوال الهيدرولوجية في منشئ المياه.
- يرتبط بنظام إدارة قاعدة البيانات التي تسمح بتخزين البيانات، والاستعادة، والموصلة بأدوات التحليل الأخرى المتاحة من مراكز الهندسة الهيدرولوجية USACE والمصادر الأخرى.

• **TR-20**، برنامج هيدرولوجيا صياغة المشروع (USDA 1983a): هذا النموذج يؤدي بشكل عام نفس الحسابات كما في نموذج HEC-1. وله المقدرة على تحديد المنحنيات المائية للجريان السطحي وتحديداتها خلال القنوات والخزانات في منشئ المياه الصغيرة، ودمجهم أو فصلهم عند ملتقيات الأنهار. وهو مصمم لأداء تحليلات متعددة في مجرى منفرد وبذلك يمكن تقييم بدائل عديدة في مجرى واحد.

• **TR-55**، الهيدرولوجيا المدنية لمنشئ المياه الصغيرة (USDA 1986): هذا النموذج يشمل إجراءات مبسطة لحساب حجم الجريان السطحي للعاصفة، ومعدل قمة التساقط، والمنحنيات المائية، وأحجام التخزين المطلوبة لخزانات حجز الفيضان

في منشئ المياه الصغيرة. دوال الدعم المتاحة تشمل حساب رقم المنحنى، وزمن التركيز، وزمن الانتقال خلال منشئ المياه الفرعي.

• **SWMM**، نموذج إدارة مياه العاصفة (USEPA 1989a): هذا النموذج يقوم بتحليل كل من جودة المياه والجودة المتعلقة بحدث العاصفة المنفرد أو الأنماط المناخية المستمرة طويلة المدى في منشئ المياه المدنية أو الريفية. ويمكن أن يحاكي التدفقات خلال بالوعات العاصفة والقنوات الطبيعية، ويمكنه أداء التخزين وتقديد التدفق تحت سطح الأرض، ويحاكي حركة الجريان السطحي والملوثات من سطح الأرض إلى الهيكل المستقبل للماء خلال الأنبوب وشبكات عمل القنوات ووحدات معالجة التخزين.

وبرغم أن الاختيار من بين النماذج سالفة الذكر يجب القيام به اعتماداً على مقتضيات دراسة محددة، فيمكن أن يكون من المفيد استخدام نموذج HEC-1 أو HEC-HMS في معظم الحالات.

نماذج محاكاة السريان المستمر Continuous Flow Simulations Models

• **NWSRFS**، نموذج نظام التنبؤ بالأحوال الجوية للنهر من هيئة أحوال الطقس القومية (NWS 1998): يشمل هذا النموذج تراكم الجليد ونموذج التذرية، ونموذج حساب رطوبة التربة ونموذج سقوط المطر-الجريان السطحي، ونموذج تحديد الخزان لإنتاج منحنى مائي للتدفق المستمر باستخدام بيانات المناخ المستمر (بالساعة أو يومياً).

• **PRMS**، نظام تشكيل التساقط-الجريان السطحي (USGS 1983): وهو يحاكي التدفقات اليومية المتوسطة ويمكنه أن يكون منحنى مائية بأزمنة أقل باستخدام

بيانات المناخ المستمرة. يشمل النموذج حساب رطوبة التربة وتحديد القناة وتحديد الخزان وحسابات نقل الرواسب وحسابات تدفق المياه الجوفية.

• **HSPF**، برنامج المحاكاة الهيدرولوجي (USEPA 1991a): يقوم هذا النموذج بتحليل مقياس حوض النهر للقنوات أحادية البعد بما فيها حساب رطوبة التربة والجريان السطحي والتخديد خلال القنوات ونقل الرواسب وحركة مكونات جودة المياه المتعددة باستخدام البيانات المناخية.

• **SSARR**، نموذج بناء تدفق المجرى المائي وتنظيم الخزان (USACE 1986): وهو يؤدي محاكاة الجريان السطحي على مدار السنة للتنبؤ بالفيضان وعمليات تشغيل الخزان باستخدام بيانات المناخ المستمرة. ويشمل نماذج للمنحنى المائي لمنشئ المياه وتخديد النهر والخزان وتراكم وذوبان الجليد والتسرب والصد.

هذه النماذج معقدة بعض الشيء وتتطلب وجود عدد كبير من البيانات. والدراسات التي تتضمن هذه النماذج يجب أن تعامل على أنها دراسات خاصة.

نماذج أخرى مفيدة Other Useful Models

• **HEC-4**، محاكاة تدفق المجرى المائي الشهري (USACE 1971a): يطور هذا النموذج متتابعات تدفق المجرى المائي الشهرية لعدد محدد من السنوات (٥٠ إلى ١٠٠ سنة أو أكثر) باستخدام بيانات تدفق المجرى المائي الشهرية المتاحة لعدد أقل من السنوات (١٠ إلى ١٥ سنة أو أكثر). وهو يعيد تقدير أي تدفقات مفقودة من البيانات المتاحة ويقدر الخصائص الإحصائية للبيانات المتاحة أو المعاد تقديرها، ويكون متتابعات من تدفقات المجرى المائي التي لها نفس الخصائص الإحصائية. هذا النموذج بسيط بعض الشيء ويقدم بيانات مفيدة لعمليات تشغيل الخزان.

• **HEC-3، تحليل نظام الخزان للمحافظة ومحاكاة HEC-5 لمراقبة الفيضان ونظم المحافظة (USACE 1991b):** تؤدي هذه النماذج حسابات تحديد التخزين لنظام الخزانات لإنتاج الطاقة المائية، ومصادر المياه، والملاحة، والتجديد، وازدياد التدفق، والاستخدامات الموسمية أو الشهرية الأخرى. في حالة نموذج HEC-3 يشمل المدخل تدفقات المجرى المائي الشهرية التي تم الحصول عليها من نماذج مثل HEC-4 أو البيانات المجموعة من المصادر الأخرى. ويمكن أن يستخدم نموذج HEC-5 أدنى فاصل زمني من دقيقة واحدة إلى شهر واحد، ويسمح أيضاً بفواصل زمنية متعددة في محاكاة منفردة. ويمكن عمل الحسابات الاقتصادية لفوائد الطاقة المائية وتقييم ضرر الفيضان. ويمكن أداء عمليات تشغيل الخزان لتقليل الفيضان عند مصب المجرى المائي، وتفريغ مخزن ضبط الفيضان بأقصى سرعة ممكنة، وإمداد مقتضيات التدفق المنخفض، وتلبية متطلبات الإمداد المائي والطاقة المائية. تعد هذه النماذج مفيدة عند التخطيط للخزان.

• **HEC-FFA، تحليل تكرار تدفق الفيضان HEC، FREQ (USACE 1995):**

يقوم نموذج HEC-FFA بأداء حسابات التكرار لأقصى فيضان سنوي معطى باستخدام الخطوط الإرشادية لمجلس المصادر المائية لحساب تكرار تدفق الفيضان (USWRC 1981). ونموذج FREQ هو نموذج لتقدير تكرار فيضان لتوزيع بيرسون اللوغاريتمي من نوع ٣ الذي يقوم على أساس بياني. وهو يسمح للمستخدم بحساب عوامل التكرار غير المنحازة وحدود التأكد لعمل التقديرات. وهو يسمح أيضاً بتبديل معامل الالتواء.