6-8: العلاقة بين الشدة وديمومة المطر: Intensity – duration :relationship

يلاحظ أن شدة المطر تتناسب عكسياً مع ديمومته، فكلما زادت شدة المطر قلت فترة ديمومته، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة الآتية:

$$i = \frac{a}{t+b} \quad (16\text{-}6)$$

حيث أن:

i: شدة المطر (ملم/ ساعة).

t: الزمن (ساعة).

a,b: ثوابت تعتمد على المنطقة

وأثبت (Wilson 1983) أن المعادلة تتغير، وتصبح كما يلي، إذا كانت ديمومة المطر أكثر من ساعتين:

$$i = \frac{c}{t^n} \quad (17\text{-}6)$$

حيث إن:

c,n: ثوابت تعتمد على المنطقة.

ولوحظ أن رسم شدة المطر وديمومته لأكبر العواصف المطرية المعروفة في العالم على ورق لوغارتمي أعطت العلاقة الآتية:

$$R = 16.6\, D^{0.475} \quad (18\text{-}6)$$

حيث إن:

R: شدة المطر (إنش).

D: الديمومة (ساعة).

ووجد (Wilson 1983) إن العلاقة نفسها تختلف قليلاً، وإذا ما رسمت لسجلات الهواطل في المملكة المتحدة، وكما يلي:

$$R = 106D^{0.46}$$

حيث إن:

R: شدة المطر (ملم).

D: الديمومة (ساعة).

إضافة إلى ما تقدم، وجد أن أعلى شدة مطر مسجلة في العالم هي (40) ملم خلال دقيقة و (200) ملم خلال (20) دقيقة و (26) متر خلال سنة واحدة.

9-6: العلاقة بين الشدة – الديمومة - التكرار:

Intensity- duration- frequency relationships

ترسم المنحنيات الخاصة بالشدة -الديمومة - التكرار على ورق لوغارتمي عادةً، بحيث يكون المحور الأفقي ممثلاً للديمومة، بينما يمثل المحور العمودي الشدة، ويعد معامل المنحنى ممثلاً للتكرار أو فترة الرجوع، وتستخدم عادةً معادلة (Bilham 1935) لهذا الغرض وكما يلي:

$$i = \frac{60}{T}\left[(202.3N.T)^{0.082} - 2.54\right] \text{mm/h} \qquad (19\text{-}6)$$

حيث إن:

i: شدة المطر (ملم).

T: الديمومة (دقيقة).

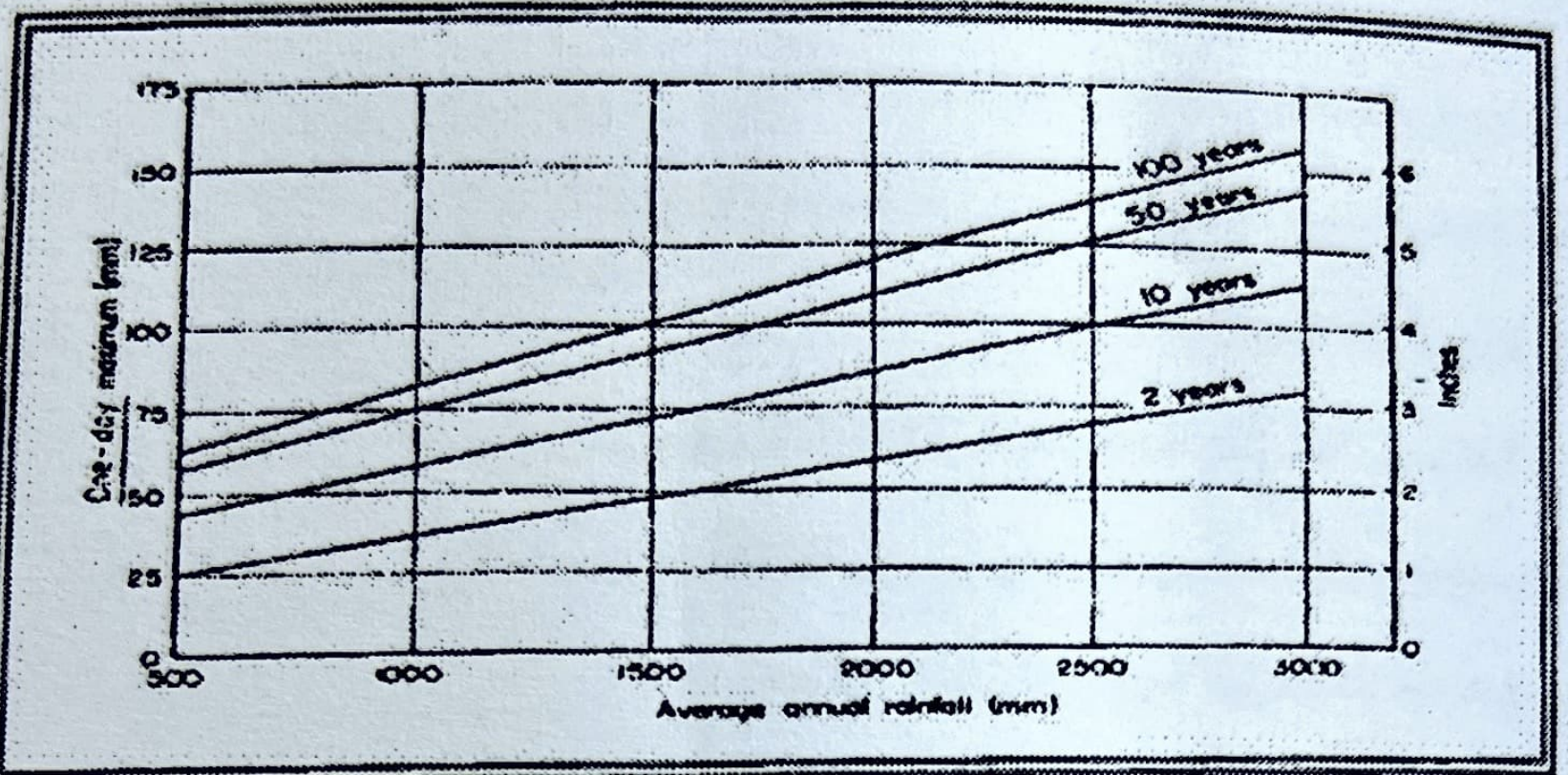
N: التكرار.

وهناك طرق أخرى لتمثيل هذه العلاقة، حيث وضح (Wilson 1983) ذلك برسم العلاقة بين المعدل السنوي للأمطار وأقصى شدة المطر لفترات تكرار مختلفة، كما هو في (الشكل 6-9). كما يمكن أن تعرض النتائج لمناطق متعددة

كما هو في (الشكل 6-10).

شكل (6-9): مثال منحنيات العلاقة بين معدلات المطر وفترة عودة المطر العظمى

(Wilson, 1983)



6-11-1: نظرية الاحتمالات:

اعتمد العالم جامبل (Gumbel) نظرية الاحتمالات في حساب الشدة والتكرار، ورسم المنحنى الذي يبين العلاقة بين الشدة والتكرار والديمومة ولتوضيح هذه النظرية نورد الأمثلة الآتية:

مثال:

لو ألقينا قطعة من النقود أرضاً، فإن احتمال سقوطها على أحد وجهيها هو نفس احتمال سقوطها على وجهها الآخر. أي أن احتمال سقوط القطعة على الوجه الذي نريده هو (50%) =½، واحتمال خطئه هو (50%) أيضاً. وبذلك يكون الاحتمال (p= 0.5) واحتمال حدوث العكس (p' = 1-p= 0.5) أيضاً.

مثال أخر:

لو كان لدينا عشرون قياساً للأمطار مثلاً، فإن هذه الأرقام تكوّن لدينا سلسلة رقمية، فلو رتبناها حسب المقدار من الأصغر وحتى الأكبر، وأعطيناها أرقاماً من الواحد إلى العشرين. فيكون احتمال حصول أي منها هو (p=1/20=0.05) ولكن احتمال حصول الرقم الخامس او ما هو أصغر منه هو (p=5/20=0.25) واحتمال حصول الرقم العشرين أو ما هو اصغر منه هو (p= 20/20=1.0) وهكذا.

وبصورة عامة لو كان ترتيب الرقم (m) وعدد الأرقام (القياسات) هو (N) فإن الاحتمال هو ($p = \frac{m}{N}$).

ولكن احتمال تكرار ما هو اكبر من الرقم المعطى فهو (p') ويكون

(p'=1-p)، أي أن احتمال تكرار الرقم الأكبر من الرقم الذي يكون ترتيبه الخامس من العشرين رقماً هو (p'= 1-0.25 = 0.75)، واحتمال حصول ما هو أكبر من الرقم الأول بالنسبة للعشرين (الأول من ناحية كونه أصغر مقداراً) هو (p'= 1-0.05 = 0.95)، وهكذا، هذا من ناحية النظرية، ولكن من الناحية العملية التطبيقية، فإن هناك سؤالاً: ما هو احتمال تكرار أكبر من الرقم الذي ترتيبه العشرين (أي أكبر القياسات المسجلة لدينا مقداراً)؟ النظرية تجيبنا على هذا السؤال بأن الاحتمال هو:

$$(p' = 1 - p = 1 - 20/20 = 1 - 1 = \text{Zero})$$

فالجواب هو صفر، وهذا من الناحية النظرية صحيح ولكنه من الناحية التطبيقية خطأ، لأن احتمال سقوط كمية مطر أكبر من الأرقام المقاسة لدينا أمر وارد، لذا فقد اعتمد جامبل معادلة جديدة للاحتمال، وهي $\left(p = \frac{m}{n+1}\right)$ ويكون هذا احتمال عدم تكرار الرقم، أما احتمال تكرار ما هو أكبر من هذا الرقم فيكون:

$$\left(p' = 1 - p = 1 - \frac{m}{N+1}\right) \quad (21\text{-}6)$$

فاحتمال عدم سقوط أصغر كمية مطر مقاسة لدينا بالنسبة للعشرين قياساً هو:

$$\left(p = 1/(N+1) = \frac{1}{20+1} = 1/21\right) \text{ أي أن } (p = 0.048) \quad (22\text{-}6)$$

واحتمال سقوط كمية مطر أكبر من الكمية الصغرى في القياسات هو:

$$(p' = 1 - p = 1 - 1/21 = 20/21 = 0.952)$$

- ولو كانت سنوات التسجيل (31) سنة مثلاً، فإن احتمال عدم هطول أقل كمية سجلت خلال هذه المدة.

$$\left(p = \frac{1}{31+1} = 1/32 = 0.03125\right) \quad (23\text{-}6)$$

واحتمال هطولها هو:

$$(p' = 1 - 1/32 = 1 - 0.03125 = 0.96875) \quad (24\text{-}6)$$

بعد توضيح بعض النقاط عن التكرار (Frequency) يجب أن نتطرق

بعض الشيء عن المدة (Return – Period)، ويرمز إليها بحرف (T)، وتساوي عكس الاحتمال ($T=1/p'$).

وبالنسبة لما هو أكبر من الرقم الذي ترتيبه (m) فإن:

$$T=\frac{1}{p'}=1/(1-p)=1/\left(1-\frac{m}{N+1}\right) \quad (25\text{-}6)$$

فلو كان لدينا عشرون قياساً لكميات الأمطار، فإن مدة تكرار أكبر كمية من هذه الكميات تحسب بحيث $p' = 1/(20+1)$ كما يلي:

$$\left(T=1/\frac{1}{20+1}=21\right) \quad (26\text{-}6)$$

ومدة تكرار اصغر كمية للأمطار عندما تكون $p'=1/(20+1)$ هي:

$$T=1/\frac{20}{21}=\frac{21}{20}=1.05 \quad (27\text{-}6)$$

وهكذا هذه النظرية تعطينا فكرة جيدة عن تكرار الكميات، وعن مدة التكرار، ولكن لا بد أن يقع فيها بعض الخطأ كما ذكر سابقاً، فإن أكبر كمية للأمطار قيست لدينا خلال سني القياس فقط، وهذا لا يعني أن تكون أعلى كمية للمطر مسجلة خلال فترة القياس، حيث من الممكن أن تكون بعدها، فأكبر كمية للمطر حصلت خلال عشرين سنة مثلاً لا يعني أنها أكبر كمية خلال ثلاثين أو خمسين سنة.

وفي الوقت نفسه، فإن احتمال كون أعلى كمية مطر قيست خلال العشرين سنة هذه هي نفسها أعلى كمية مطر من الممكن حصولها خلال خمسين أو مئة سنة قد يكون خاطئاً، لذلك كله فإن الطريقة التي اعتمد عليها العالم جامبل تبقى أفضل من الاعتماد على نظرية الاحتمال فقط.

6-11-2: منحنى الاحتمالات للنهايات العظمى والصغرى:

لقد رمز بالاحتمال (التكرار) بحرف (p') وبمدة التكرار بحرف (T) وعند إيجاد منحنى الاحتمالات للنهايات العظمى والصغرى لا بد من تحديد الثابت اللوغاريتمي (Y) الذي يتغير حسب مدة التكرار (T).

المعادلة الآتية تربط العلاقة بين الاحتمال (p') والثابت اللوغارتمي (Y):

$$P' = e^{-e^{-Y}} \quad (28\text{-}6)$$

حيث إن:

e: هو الرقم النيبيري أو أساس اللوغاريتم الطبيعي ويمكن إيجاده من المعادلة الآتية:

$$e = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n_i} \quad (29\text{-}6)$$

وهذا يساوي ما يقرب من (2.72). وعند تحليل المعادلة السابقة للثابت اللوغارتمي بأخذ اللوغاريتم الطبيعي لطرفي المعادلة ينتج ما يلي:

$$Y = -\log_e\left(\log_e \frac{1}{p'}\right) \quad (30\text{-}6)$$

فمثلاً عندما يكون الاحتمال (50%) أي ... (p'=0.5) فإن Y تكون كما يلي:

$$Y = -\log_e\left(\log_e \frac{1}{0.5}\right) \qquad Y = +0.3665 \quad (31\text{-}6)$$

أما المدة أو الفترة (T) فهي تساوي عكس الاحتمال (P') أي ($T = \frac{1}{p'}$)

فعندما يكون الاحتمال (50%)، فإن المدة (T) تساوي سنتين (T=2)، وهذا يعني أن الاحتمال (50%) يتكرر كل سنتين مرة، وبهذه الطريقة يحسب (الجدول رقم 6-2) لسني التكرار المعياري المبينة بالجدول.

جدول (6-2) حساب سني التكرار المعياري

سنوات التكرار المعياري	الاحتمال	الثابت اللوغارتمي
2	0.50	0.36651
5	0.80	1.49994
10	0.90	2.25037
25	0.96	3.19853
50	0.98	3.90194
100	0.99	4.60015
200	0.995	5.29581
250	0.996	5.51946
500	0.998	6.21361
1000	0.999	6.90726
2000	0.9995	7.60065

3-11-6: حساب تكرار النهايات العظمى لشدة المطر:

إن أول من قام ببحث تكرار النهايات العظمى في الاحتمالات هو العالم جامبل (Gumbel)، وقد توصل إلى طريقة إلى حساب تكرار هذه النهايات معتمداً بذلك على نظرية الاحتمالات، ومشترطاً أن تكون سنوات القيد المعتمدة عشر سنوات على الأقل. وتتلخص هذه الطريقة بالخطوات الآتية:

أ. **حساب الانحراف المعياري (SD) (Standard Deviation)**: يتم حساب الانحراف المعياري باستعمال المعادلة الآتية:

$$S_N = \sqrt{\frac{\sum Y^2 - 1/N(\sum Y)^2}{N}} \quad (32\text{-}6)$$

حيث إن:

Y: هو الثابت اللوغارتمي.

N: هو عدد سني القيد.

ويتم حساب الثابت اللوغارتمي (Y) بموجب المعادلة التي سبق ذكرها. وعلى هذا الأساس ينتج (الجدول رقم 6-3) باعتماد عشر سنوات كأقل عدد معتمد لسني القيد كما يمثل (الجدول رقم 6-4) معدل الثابت اللوغارتمي $(\overline{Y}_N)$ والمحسوب بموجب المعادلة:

$$\overline{Y}_N = \frac{\sum Y}{N} \quad (33\text{-}6)$$

وبالطريقة نفسها يمكن حساب الانحراف المعياري (SN) ومعدل الثابت اللوغارتمي $(\overline{Y}_N)$ لسنوات قيود أقل من عشر سنوات لمحطات الأمطار التي لم يتوفر فيها قيود كافية.

ب. **رسم منحنى التكرار: Frequency Curve**: يتم إعداد المعلومات اللازمة لرسم منحنى التكرار على طريقة جامبل (Gumbel) ذلك بإتباع الخطوات الآتية آخذين مثالاً على تطبيق هذه الطريقة محطة بيادر وادي السير المتوفر فيها سبع عشرة (17) سنة من القيود.

جدول (6-3): حساب الثابت اللوغارتمي

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1.1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1758	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1.2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									
∞	1,2826									

جدول (6-4): معدل الثابت اللوغارتمي

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	,4952	,4996	,5035	,5070	,5100	,5125	,5157	,5181	,5202	,5220
20	,5236	,5252	,5268	,5283	,5296	,5309	,5320	,5332	,5343	,5353
30	,5362	,5371	,5380	,5388	,5396	,5402	,5410	,5418	.5424	,5430
40	0,5436	,5442	,5448	,5453	,5458	,5463	,5468	,5473	.5477	,5481
50	,5485	,5489	,5493	,5497	,5501	,5504	,5508	,5511	,5515	.5518
60	,5521	,5524	,5527	,5530	,5533	,5535	,5538	,5540	,5543	,5545
70	,5548	,5550	,5552	,5555	,5557	,5559	,5561	.5563	,5565	,5567
80	,5569	,5570	,5572	,5574	,5576	,5578	,5580	,5581	,5583	,5585
90	,5586	,5587	,5589	,5591	,5592	,5593	,5595	,5596	5598	,5599
100	,5600									
∞	,5772									

1. يتم اختيار أعلى شدة مطر لسني القيد الآتية التي دامت الفترات:(10)، (15)، (30)، (60)، دقيقة. (2)،(3)، (6) و(24) ساعة. (الجدول رقم 6-5) يبين قيم الأمطار العظمى خلال الفترات المذكورة أدناه.

2. يتم حساب المعدل الحسابي (Arithmetic Mean) للأرقام الواردة في كل عامود من الأعمدة المذكورة في (الجدول رقم 6-5) حسب المعادلة الآتية:

$$\overline{X}_n = \frac{1}{n}\sum_{n=1}^{17} X_n \qquad (34\text{-}6)$$

حيث إن:

$\overline{X}$: المعدل الحسابي للأرقام (X) و (n) هو عدد سني القيد (17). ويتم بعد ذلك حساب مجموع المربعات للأرقام نفسها $\sum_{n=1}^{17} X^2$

3. يتم حساب الانحراف المعياري للأرقام المذكورة في كل عامود من أعمدة الجدول رقم (6-5) وذلك باستعمال المعادلة الآتية:

$$S_{n-1}(X)=\sqrt{\frac{\sum X^2-\frac{1}{n}(\sum X)^2}{n-1}} \quad (35\text{-}6)$$

4. من الجدول رقم (6-3) و (6-4) يتم إيجاد القيم $S_N(Y)$ و $\overline{Y}_N$ لسنوات القيد (17) وبهذا ينتج الجدول رقم (6-6).

جدول (6-5): عمق الأمطار مع الزمن

الموسم الممطر	الدقائق				الساعات			
	10	15	30	60	2	3	6	24
1963/64	3,0	3,2	4,9	9,3	16,1	22,4	36,2	68,6
1964/65	9,0	11,4	14,4	18,2	24,0	30,0	45,7	83,0
1965,66	3,4	5,0	8,1	8,4	14,1	18,0	23,4	67,5
1966/67	4,5	5,5	9,5	16,0	26,0	31,8	62,0	116,5
1970/71	7,4	9,0	10,8	19,8	34,6	46,8	76.7	104.7
1971/72	8,5	9,3	10,2	16,8	19,7	19,8	21,5	44.7
1972/73	4,4	4,8	7,7	10,4	16,5	21,8	28,2	32,6
1973/74	4,5	5,0	9,7	13,4	19,4	20,7	22,6	57,5
1974/75	4,2	6,2	9,0	20,4	20,6	26,0	36,8	44,8
1975/76	3,6	3,6	5,4	7,8	10,6	14,4	19,6	37,5
1976/77	4,0	5,4	6,2	7,4	11,6	16,6	23,8	38,4
1978/79	4,0	4,8	5,8	8,4	14,4	22,8	29,8	61,1
1979/80	9,6	10,6	16,3	16,5	27,4	38,2	71,2	13,4
1980/81	6,9	8,4	9,4	10.8	15,4	20,0	37,4	63,2
1981/82	6,4	8,0	9,4	10,0	14,6	16,8	32,4	49,0
1982/83	6,8	7,2	9,4	10,8	20,2	27,2	36,2	92,8
1983/84	6,6	7,2	9,0	16,4	18,6	19,0	26,2	68,4

جدول رقم (6-6): حساب القيم $S_N(Y)$ و Y_N

	الدقائق				الساعات			
	10	15	30	60	2	3	6	24
$\bar{X}_n$	5.694	6,741	9.129	12,99	19,05	24.25	37.065	68,4
$S_{n-1}(X)$	2,0972	2,4063	2,9413	4,4,92	6,1754	8,458	17,3493	28,9
$S_n(Y)$	1.0411	1.0411	1.0411	1.0411	1.0411	1.0411	1.0411	1,0411
$(\bar{Y})$	0,5181	0,5181	0,5181	0,5181	0,5181	0,5181	0,5181	0,5181

5. تطبق المعادلة الآتية لإيجاد كميات الأمطار التي تتكرر مع سنوات التكرار المعيارية وهي سنتان، خمس سنوات، (10) سنوات، (25) سنة،(50) سنة، مئة سنة. وهذه هي التي تدخل في رسم المنحنى، ولكن بالإمكان إضافة أرقام المئتين والخمسمائة والألف سنة أو غيرها إلى الحساب. وهذا يتطلب تغيير الثابت اللوغاريتمي(Y) الوارد في الجدول رقم (6-6) والمعادلة هي:

$$\bar{X}_T = \bar{X}_n - (S_{n-1}(X)/S_n(Y)(Y_n - Y_T)) \quad (36\text{-}6)$$

حيث إن:

X: هي كمية المطر العظمى التي تتكرر مرة كل(T) سنة وتؤخذ الكميات الممثلة في هذه المعادلة من الجدول رقم (6-6) وكميات الثابت اللوغاريتمي(Y) من الجدول رقم (6-2) لكل سنة(T) من سني التكرار المذكورة ويبين الجدول رقم (6-7) نتيجة تطبيق هذه المعادلة.

6. ولإيجاد شدة المطر الساقطة من الأرقام المذكورة في جدول رقم (6-7) يجب ضرب الأرقام الواردة تحت خانة العشر دقائق بستة، والأرقام التي تحت (15) دقيقة بأربعة وتحت (30) دقيقة باثنين، وهكذا، وتقسيم الأرقام تحت خانة الساعتين على اثنين، وهكذا لتوحيد الوحدة على شكل ميليمتر/الساعة وينتج الجدول رقم (6-8).

7. بعد إيجاد شدة المطر المذكورة أرقامها في (جدول 6-8) تُرسم هذه الأرقام على الورق اللوغاريتمي (log-log paper)، ونصل بينها لينتج لدينا منحنى شدة

المطر - الديمومة والتكرار، حيث يكون الإحداثي السيني قيم الديمومة بالدقائق، والإحداثي الصادي شدة المطر (ملم/ الساعة) والمنحنيات الخمسة المرسومة مرتبة من أسفل إلى أعلى حسب التكرار من سنتين حتى المئة سنة. (الشكل 6-12 مثلاً).

جدول (6-7): كمية الأمطار المتكررة مع سنوات التكرار

	الدقائق				الساعات			
	10	15	30	60	2	3	6	24
X2	5.39	6.4	8.7	12.3	18.2	23.6	34.5	64.2
X5	7.67	9.0	11.9	17.2	24.9	32.2	53.4	95.7
X10	9.18	10.7	14.0	20.4	29.3	38.3	65.9	116.5
X25	11.1	12.9	16.7	24.4	34.9	46.0	81.7	142.8
X50	12.5	14.6	18.7	27.4	39.1	51.7	93.5	162.3
X100	13.9	16.2	20.7	30.4	43.3	57.4	105.1	181.7
X200	15.3	17.8	22.6	33.4	47.4	63.1	116.7	201.0
X500	17.2	19.9	25.2	37.3	52.8	70.5	132.0	226.5

جدول (6-8): شدة المطر وتكراره

	الدقائق				الساعات			
IT	10	15	30	60	2	3	6	24
I2	32.3	25.6	17.4	12.3	9.1	7.7	5.8	2.7
I5	46.0	36.0	23.8	17.2	12.4	10.7	8.9	4.0
I10	55.1	43.0	28.1	20.4	14.7	12.8	11.0	4.9
I25	66.6	51.8	33.4	24.4	17.5	15.3	13.6	6.0
I50	75.1	58.2	37.4	27.4	19.6	17.3	15.6	6.8
I100	83.5	64.7	41.3	30.4	21.6	19.1	17.5	7.6
I200	91.9	71.1	45.3	33.4	23.7	21.0	19.4	8.4
I500	103.0	79.6	50.4	37.3	26.4	23.5	22.0	9.4

8. تصحيح بعض الحسابات (Smoothing the Curve): هناك احتمال لتصحيح بعض الأرقام المذكورة في الجدول رقم (6-8) لتنسجم مع المنحنى المرسوم، فعلى سبيل المثال، فإن الأرقام المذكورة تحت خانة الست ساعات والستين دقيقة، قد صححت كما يلي:

فترة الرجوع	2	5	10	25	50	100	200	500
(6) ساعات المحسوبة	5.8	8.9	11.0	13.6	15.6	17.5	19.4	22.0
(6) ساعات المصححة	5.8	8.5	10.3	12.5	14.2	15.9	17.5	19.7
(60) دقيقة المحسوبة	12.3	17.2	20.4	24.4	27.4	30.4	33.4	37.3
(60) دقيقة المصححة	12.4	16.8	19.5	23.1	25.8	28.5	31.1	34.6

9. بعد تصحيح المنحنى يتم تمديده حتى خمس دقائق.

10. تحسب الأرقام العائدة إلى ديمومة المطر (خمس دقائق، وعشرون دقيقة) لتسجل في الجدول المعد لكل منحنى، ويبين أحد النماذج منحنيات شدة المطر ومدته وتكراره في محطات المطر الآلية المتوفرة في الأُردن، مع الجدول الخاص لكل منحنى.