أنواع التساقط: عندما يتم حمل الهواء الملامس لسطح الأرض إلى طبقات الجو العليا (بفعل تيارات الحمل أو غيرها من الطرق) فإنه يتمدد نسبة لانخفاض الضغط مع الارتفاع. وهذا التمدد يكون كاظم للحرارة (أديباتي[8]) على سطح الأرض. غير أن درجة الحرارة تنخفض بسبب الطاقة الحرارية المتحولة إلى شغل أثناء عملية التمدد. وهذا النقصان في درجة الحرارة يدعى البرودة الديناميكية (أو البرودة الأديباتية). وتمثل هذه أساس التكثيف ومسئولة بطريقة مباشرة عن كل الأمطار {16}. ويشير هذا إلى وجوب ارتفاع عمود الهواء ليحدث التساقط. وهناك التبريد باختلاط الكتل الهوائية[9]، والتبريد بالتلامس، والتبريد بالإشعاع[10]{12}. ثم قد تأتي هذه السحب بالأمطار. وعليه يمكن تقسيم التساقط على حسب الحالات التي تقود إلى ارتفاع الهواء وتصاعد البخار إلى: جبلي (ميكانيكي)، وإعصاري (بشقيه الأمامي وغير الأمامي)، وحمل (تقليدي).

التساقط الجبلي (التساقط الآلي أو التضاريسي): Orographic precipitation: يحدث هذا النوع من التساقط بسبب اعتراض حواجز طبغرافية (جبال ومرتفعات طبيعية) لرياح محملة بالرطوبة ورفعها إلى طبقات عليا ومن ثم تمددها وتبريدها مما ينتج عنه انهمار المطر. وعليه توجد أمطار غزيرة عند سلاسل الجبال العالية علي الجهات المقابلة للرياح. أما الأجزاء الأخرى فتقع في ظل المطر وتكون جافة.

---

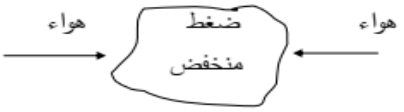
[8] لا تضاف للهواء حرارة من مصادر خارجية ولا تُفقد حرارة

[9] حيث تختلط كتلتان من الهواء على درجات حرارة مختلفة

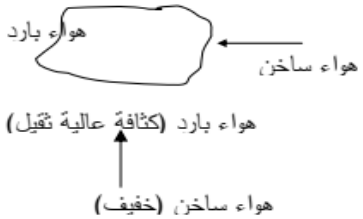
[10] يحدث الندى والجليد والثلج والضباب: سحاب يغشى الأرض كالدخان، ويكثر في الصباح البارد

كما وقد يرتفع الهواء عند مروره من الماء إلى المنطقة اليابسة دون أن تساعده الجبال، مثلما يحدث في فصل الشتاء أو ليلاً عندما تكون اليابسة أبرد من الماء فيرتفع الهواء المحمل بالماء فوق اليابسة وتنتج الأمطار بعاملين أساسيين: انخفاض درجة حرارة الهواء بالتلامس مع اليابسة الباردة إلى أدنى نقطة الندى، وازدياد اضطراب واحتكاك الهواء بسبب زيادة خشونة اليابسة مما يقلل من سرعة الهواء ويزيد من عمق تيار الهواء ليحمله إلى طبقات الجو العليا ليتم تبريده بطرق ديناميكية. ومن العوامل المؤثرة في هذا النوع من التساقط: ارتفاعات المنطقة، وميل الأرض، والبعد عن مصادر النداوة والماء.

التساقط الإعصاري Cyclonic precipitation: له صلة بالمرور على مناطق منخفضة الحرارة أو الارتفاع، مما ينتج معه رفع كتل الهواء الساخن فوق الكتل الباردة.



ويقوم الإعصار السريع الحركة بالإتيان بأمطار متوسطة في منطقة واسعة، أما الإعصار الثابت فيعمل على الإتيان بأمطار غزيرة في مساحات قليلة. وينقسم هذا النوع من التساقط إلى {4،30}: التساقط الأمامي Frontal: وينتج من صعود الهواء الساخن على جانب محدد من سطح أمامي فوق هواء بارد أعلى منه كثافة في الجانب الآخر من السطح. وإذا سارت الكتل الهوائية بحيث أن الهواء الساخن يزيح الهواء البارد يسمى التساقط تساقط أمامي ساخن Warm front . أما إذا أزاح الهواء البارد الهواء الساخن فيطلق عليه تساقط أمامي بارد Cold front {17}. التساقط غير الأمامي Non-frontal أيضاً يسمى التساقط الثابت Stationary front ويظل فيه الهواء الرطب الساخن ساكناً ريثما يلتقي بالهواء البارد المتحرك {4،30}.

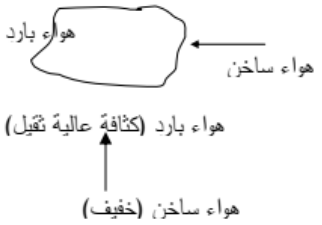


تساقط الحمل Convective precipitation أو التساقط التصاعدي (التساقط التقليدي Conventional precipitation): يعد تساقط الحمل من أكثر أنواع التساقط حدوثاً في المناطق المدارية، ويقل في مناطق أخرى أثناء الصيف. يتم تسخين سطح الأرض والهواء الملامس لها بصورة غير متساوية في اليوم الحار. ويقود هذا الوضع لرفع الهواء الخفيف الساخن من منطقة لأخرى، ثم يبرد بطرق ديناميكية في طبقات باردة أكثر كثافة. ومن ثم يتمدد هذا الهواء الساخن مسبباً انخفاضاً في الوزن. وفي هذا الأثناء، تصعد كميات كبيرة من بخار الماء مما يجعل الهواء الساخن الرطب غير متزن. وينتج هذا الوضع تيارات رأسية، ثم يحدث تبريد ديناميكي يسبب

كما وقد يرتفع الهواء عند مروره من الماء إلى المنطقة اليابسة دون أن تساعده الجبال، مثلما يحدث في فصل الشتاء أو ليلاً عندما تكون اليابسة أبرد من الماء فيرتفع الهواء المحمل بالماء فوق اليابسة وتنتج الأمطار بعاملين أساسيين: انخفاض درجة حرارة الهواء بالتلامس مع اليابسة الباردة إلى أدنى نقطة الندى، وازدياد اضطراب واحتكاك الهواء بسبب زيادة خشونة اليابسة مما يقلل من سرعة الهواء ويزيد من عمق تيار الهواء ليحمله إلى طبقات الجو العليا ليتم تبريده بطرق ديناميكية. ومن العوامل المؤثرة في هذا النوع من التساقط: ارتفاعات المنطقة، وميل الأرض، والبعد عن مصادر النداوة والماء.

التساقط الإعصاري Cyclonic precipitation: له صلة بالمرور على مناطق منخفضة الحرارة أو الارتفاع، مما ينتج معه رفع كتل الهواء الساخن فوق الكتل الباردة.

ويقوم الإعصار السريع الحركة بالإتيان بأمطار متوسطة في منطقة واسعة، أما الإعصار الثابت فيعمل على الإتيان بأمطار غزيرة في مساحات قليلة. وينقسم هذا النوع من التساقط إلى {4،30}: التساقط الأمامي Frontal: وينتج من صعود الهواء الساخن على جانب محدد من سطح أمامي فوق هواء بارد أعلى منه كثافة في الجانب الآخر من السطح. وإذا سارت الكتل الهوائية بحيث أن الهواء الساخن يزيح الهواء البارد يسمى التساقط تساقط أمامي ساخن Warm front . أما إذا أزاح الهواء البارد الهواء الساخن فيطلق عليه تساقط أمامي بارد Cold front {17}. التساقط غير الأمامي Non-frontal أيضاً يسمى التساقط الثابت Stationary front ويظل فيه الهواء الرطب الساخن ساكناً ريثما يلتقي بالهواء البارد المتحرك {4،30}.



تساقط الحمل Convective precipitation أو التساقط التصاعدي (التساقط التقليدي Conventional precipitation): يعد تساقط الحمل من أكثر أنواع التساقط حدوثاً في المناطق المدارية، ويقل في مناطق أخرى أثناء الصيف. يتم تسخين سطح الأرض والهواء الملامس لها بصورة غير متساوية في اليوم الحار. ويقود هذا الوضع لرفع الهواء الخفيف الساخن من منطقة لأخرى، ثم يبرد بطرق ديناميكية في طبقات باردة أكثر كثافة. ومن ثم يتمدد هذا الهواء الساخن مسبباً انخفاضاً في الوزن. وفي هذا الأثناء، تصعد كميات كبيرة من بخار الماء مما يجعل الهواء الساخن الرطب غير متزن. وينتج هذا الوضع تيارات رأسية، ثم يحدث تبريد ديناميكي يسبب

التكثيف والتساقط {4،29،30}. وتنتشر زخات المطر في مسافة 10 كيلومترات. وهذا النوع من التساقط موضعي، وتتفاوت شدته من زخات أمطار خفيفة إلى عواصف رعدية مدمرة.

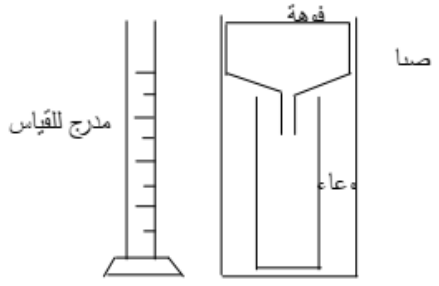
أما عملياً فتوجد الصور المختلفة للتساقط المذكورة آنفاً متداخلة فيما بينها لتكون التساقط الهاطل بالمنطقة {4، 19،30}. ويبين جدول (1–6) تقدير شدة التساقط من خفيفة، ومتوسطة، وغزيرة.

جدول (1–6) شدة التساقط {4،5،18،29،30}

شدة التساقط	معدل الهطلان (ملم/ساعة)
خفيف	2.5
متوسط	2.8 إلى 7.6
غزير	أكثر من 7.6

<u>قياس التساقط</u>: يعتمد قياس التساقط على الارتفاع الرأسي للماء المتجمع في سطح مستو، وذلك عند استمرار تواجد التساقط بمنطقة سقوطه {4}. وتؤثر عدة عوامل في قياس التساقط خاصة الصلب منه، ومن هذه العوامل: نوع مقياس التساقط وأسلوب عمله وموضعه، ودرجة بلل الجهاز، والبَخر، والرياح، وغيرها من العوامل المؤثرة. تشير البيانات التي يسجلها مقياس التساقط إلى تساقط في نقطة محددة. وتسمى الأمطار بأمطار لنقطة، أو أمطار محطة، أو أمطار محلية. يجب حساب الأمطار للمنطقة في المقاييس الهيدرولوجية. ومن أهم مقاييس الأمطار المستخدمة التالي:

<u>أجهزة القياس اليدوية Manual gauges</u>: يحسب التساقط في أجهزة القياس اليدوية للمدة الزمنية السابقة (24 ساعة) بقياس مباشر للتساقط المتجمع في المقياس. ويتكون مقياس المطر من إناء نحاسي به أسطوانة نحاسية قطرها في حدود 5 بوصات (12.7 سم) وذات حافة مشطوفة (مسلوبة). تقوم هذه الأسطوانة بتجميع التساقط وتسمح بانسيابه عبر قمع إلى إناء معدني أو زجاجي يسهل تحريكه وتفريغ ما به من ماء في أسطوانة مدرجة {4}. تؤثر الرياح على دقة القياس وقد تسبب أخطاء فيه قد تصل إلى 50% حسب نوع المقياس، وسرعة الرياح والتضاريس. ويمكن تقليل الخطأ بواقٍ معدني متحرك يوضع مجاوراً لحافة مقياس المطر.



شكل 1–2 قياس التساقط

<u>أجهزة قياس غير تسجيلية Non-recording gauges (pluviometers)</u>: يتكون جهاز قياس المطر اليومي من مستقبِل فوق قمع يؤدى إلى مستودع. وللمستقبل حافة حادة هابطة رأسياً إلى أعلى للخارج. ولابد من وضع

تغير في منطقة استقبال التساقط، وميلان جهاز القياس، وعطب الجهاز بسبب الرياح أو خلافه، أو غياب الصيانة الدورية {30،4،3}. أما تحديد عدد محطات قياس التساقط اللازمة لمنطقة معينة فيعتمد على عدة متغيرات منها: الغرض من قياس التساقط وطبغرافية منطقة الهطول وجيولوجيتها وطبيعتها. وكلما زادت أعداد محطات القياس في منطقة معينة كلما قلت أخطاء حساب شدة المطر وتقديرها. ومن التوصيات المناسبة لتحديد عدد محطات قياس الأمطار الشهرية حسب مساحة الهطول تلك المقدمة بوساطة بليزديل Bleasdale المبينة على الجدول 1-7.

جدول 1-7 بليزديل لتحديد المحطات اللازمة لقياس الأمطار الشهرية

عدد المحطات	المساحة (كلم^2)
2	26
6	260
12	1300
15	2600
20	5200
24	7800

استكمال بيني لسجلات التساقط Interpolation of rain fall records: قد تفقد أحياناً السجلات من محطة قياس أو رصد معينة ليوم أو عدة أيام بسبب غياب مشغل المحطة، أو خلل في أجهزة التسجيل، أو لأي سبب آخر. ولكي لا تضيع المعلومات فمن الأفضل استخدام طريقة مناسبة لتقدير كمية المطر الهاطل في هذه الأيام لحساب الكميات الشهرية والسنوية. وفي هذا المحور تتبع طريقتين للتقدير تعتمدان على سجلات متتالية لثلاث محطات بالقرب من المحطة التي افتقدت سجلاتها بحيث تبعد المحطات عنها بعداً متساوياً تقريباً على أن تتحقق الشروط التالية:

أ) إذا كان التساقط السنوي في كل من المحطات الثلاث في حدود عشرة بالمائة من التساقط في المحطة ذات السجل المفقود، يمكن استخدام متوسط حسابي بسيط لتقدير سجل المحطة المفقود.

II) إذا كان التساقط السنوي في أي من المحطات الثلاث يختلف عن المحطة الفاقدة للسجلات بأكثر من عشرة بالمائة تستخدم طريقة النسبة الطبيعية. وتعتمد هذه الطريقة على تراكم قيم التساقط على حسب نسب قيم التساقط السنوي كما مبين في المعادلة 1-11.

$$P_x = \frac{\frac{N_x}{N_a}P_a + \frac{N_x}{N_b}P_b + \frac{N_x}{N_c}P_c}{3} \qquad 1\text{-}11$$

حيث:

N = التساقط السنوي العادي

a,b,c = محطات رصد التساقط الهيدروليكية وقياسه

P_x = السجل (القياس) المفقود (أو غير الدقيق) من المحطة x

ومن العوامل المؤثرة في تحديد التساقط السنوي لمنطقة معينة: ارتفاع المنطقة وطبغرافيتها، واتجاه الرياح الممطرة، والبعد عن البحر.

المستقبل أفقياً، إذ أن أي ميل على المستوى الأفقي بدرجة واحدة يمكن أن يحدث معه اختلاف في كمية الأمطار المجمعة بحوالي ±1% وعادة يستخدم ارتفاع 1.5 متر أعلى سطح الأرض لوضع مقياس المطر. ويقوم هذا الجهاز بقياس مقدار الأمطار الكلية. وفي حالة غياب التسجيل التلقائي للأمطار تؤخذ القراءة يومياً.

أجهزة قياس تخزينية Storage gauges: تستخدم هذه الأجهزة لقياس المطر الكلي الموسمي في مناطق نائية قليلة السكان. ويتكون الجهاز من مستقبل فوق قمع يقود إلى مستودع كبير لحفظ المطر. ويمكن وضع مادة مانعة للتجمد[11] في الجهاز في المناطق الباردة.

أجهزة قياس تسجيلية (المقياس العداد) Recording gauges (Pluviographers): في هذه الأجهزة تسجل القراءات آلياً بمساعدة ساعة وأوزان أو جهاز عائم يقوم بإرسال القراءات إلى رسام بياني ليسجل المطر الكلي المتراكم أثناء هطلانه. كما ويمثل المنحنى البياني المتحصل عليه تغير التساقط مع الزمن. وتستخدم هذه الأجهزة لمعرفة شدة الأمطار لفترات قصيرة ولإعطاء قراءات مستمرة مسجلة. ويمكن لبعض هذه الأجهزة تسجيل المعلومات عددياً أو بيانياً أو إرسالها إلى أجهزة حاسوب. وتوجد أنواع عدة من هذه النظم منها:

- المقياس الوزني Weighing-type يسجل الوزن الكلي لكمية الأمطار أو الجليد الهاطل في الوعاء المستقبل والتساقط المتجمع فيه منذ بداية التسجيل في وعاء موضوع فوق نابض أو ميزان رافع. وتسجل الزيادة في وزن الوعاء ومحتوياته في مخطط مثبت على طبل مدار بساعة؛ وبالتالي يعطى التسجيل الكميات المتراكمة من الأمطار. ولا يحتوي مثل هذا الجهاز على نظام ذاتي للتفريغ، غير أن القلم المعد به يقوم بالتنقل في البطاقة أي عدد من المرات. ويفيد هذا الجهاز في تسجيل الثلج، والبرد، ومخلوط الثلج والمطر إذ أنه لا يتطلب ذوبان التساقط للتسجيل.
- المقياس العائم (الطافي) Float type: وفيه يقاد التساقط إلى حجرة عائمة تحوي عوامة خفيفة. وترسل الحركة الأسية للعوامة كلما ارتفع مستوى الماء، بنظام معين لقلم التسجيل. ويستخدم نظام سايفون لتفريغ محتويات الوعاء المجمع للأمطار كلما امتلأ بعد هطلان أمطار ارتفاعها 10 ملم كما يمكن تفريغه يدوياً. ويسجل مستوى العوامة الطافية على طبل للحصول على منحنى كتلة؛ والذي يمكن بوساطته إيجاد شدة هطلان الأمطار. ويمكن إضافة نظام للجهاز للتسخين أثناء فترة الشتاء لتفادي احتمال التجمد.
- المقياس ذو الوعاء القلاب Tipping-bucket type يقوم الوعاء المجمع للمطر بصبها في وعاء ذي حجرتين. ويملأ ربع ملم (20 جم) من المطر حجرة من الوعاء ثم يرجح بها فتنقلب، وبالتالي يتم تفريغها في حوض. ثم تتحرك الحجرة الثانية من الوعاء في حيز تحت الصبابة. وكلما تغيرت حجرة بوساطة ربع ملم من المطر تقوم بتفعيل دائرة كهربائية، متصلة بقلم تسجيل (في فترة زمنية محددة) يدور على ورقة بيانية مثبتة على طبل دوار في المسجل الكهربائي، ومن ثم يمكن معرفة سمك التساقط ومعدله عبر الزمن. غير أن مثل هذا الجهاز لا يصلح لقياس الجليد دون تسخين المجمع بصفة مستمرة.
- استخدام الرادار RADAR : توجد عدة طرق لاستخدام الرادار للمساعدة في قياس المطر خاصة لتغطية الأعاصير في منطقة معينة.

من أهم مصادر الخطأ عند تسجيل القراءات وحفظ السجلات بمقياس التساقط التالي: أخطاء قراءة تدريج المقياس، وضياع بعض الماء أثناء الجمع وتسجيل القراءة، وفقدان بعض الماء لبلل أجزاء الجهاز الداخلية، وأي

---

[11] مثل كلوريد الكالسيوم.

تغير في منطقة استقبال التساقط، وميلان جهاز القياس، وعطب الجهاز بسبب الرياح أو خلافه، أو غياب الصيانة الدورية {3،4،30}. أما تحديد عدد محطات قياس التساقط اللازمة لمنطقة معينة فيعتمد على عدة متغيرات منها: الغرض من قياس التساقط وطبغرافية منطقة الهطول وجيولوجيتها وطبيعتها. وكلما زادت أعداد محطات القياس في منطقة معينة كلما قلت أخطاء حساب شدة المطر وتقديرها. ومن التوصيات المناسبة لتحديد عدد محطات قياس الأمطار الشهرية حسب مساحة الهطول تلك المقدمة بوساطة بليزديل Bleasdale المبينة على الجدول 1–7.

جدول 1-7 بليزديل لتحديد المحطات اللازمة لقياس الأمطار الشهرية

عدد المحطات	المساحة (كلم^2)
2	26
6	260
12	1300
15	2600
20	5200
24	7800

استكمال بيني لسجلات التساقط Interpolation of rain fall records: قد تفقد أحياناً السجلات من محطة قياس أو رصد معينة ليوم أو عدة أيام بسبب غياب مشغل المحطة، أو خلل في أجهزة التسجيل، أو لأي سبب آخر. ولكي لا تضيع المعلومات فمن الأفضل استخدام طريقة مناسبة لتقدير كمية المطر الهاطل في هذه الأيام لحساب الكميات الشهرية والسنوية. وفي هذا المحور تتبع طريقتين للتقدير تعتمدان على سجلات متتالية لثلاث محطات بالقرب من المحطة التي افتقدت سجلاتها بحيث تبعد المحطات عنها بعداً متساوياً تقريباً على أن تتحقق الشروط التالية:

أ) إذا كان التساقط السنوي في كل من المحطات الثلاث في حدود عشرة بالمائة من التساقط في المحطة ذات السجل المفقود، يمكن استخدام متوسط حسابي بسيط لتقدير سجل المحطة المفقود.

II) إذا كان التساقط السنوي في أي من المحطات الثلاث يختلف عن المحطة الفاقدة للسجلات بأكثر من عشرة بالمائة تستخدم طريقة النسبة الطبيعية. وتعتمد هذه الطريقة على تراكم قيم التساقط على حسب نسب قيم التساقط السنوي كما مبين في المعادلة 1–11.

$$P_x = \frac{\frac{N_x P_a}{N_a} + \frac{N_x P_b}{N_b} + \frac{N_x P_c}{N_c}}{3} \qquad 1\text{-}11$$

حيث:

N = التساقط السنوي العادي

a,b,c = محطات رصد التساقط الهيدروليكية وقياسه

P_x = السجل (القياس) المفقود (أو غير الدقيق) من المحطة x

ومن العوامل المؤثرة في تحديد التساقط السنوي لمنطقة معينة: ارتفاع المنطقة وطبغرافيتها، واتجاه الرياح الممطرة، والبعد عن البحر.