الفصل الثاني

الدورة الهيدرولوجية ومكوناتها

جامعة البصرة – كلية التربية للبنات

قسم الجغرافية – المرحلة الثانية

إعداد مدرس المادة

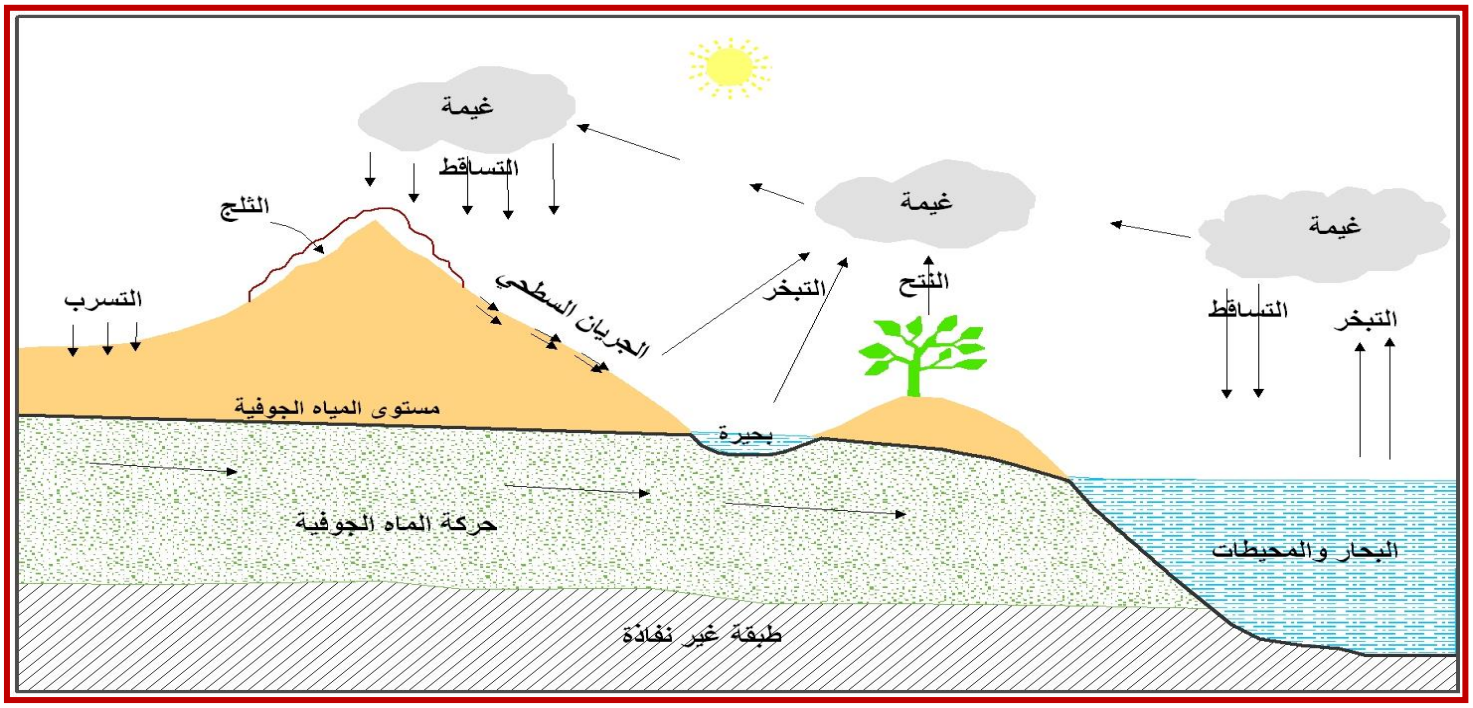
زينب صائب الجـمالي

مفهوم الدورة الهيدرولوجية: Define of Hydrological Cycle

إن المياه المتواجدة في الكرة الأرضية تتبادل بين أشكال تواجدها إذ تتنقل بين البحار أو المحيطات وبين الرطوبة الجوية وبين البحيرات أو الأنهار وبين الكائنات الحية وبين رطوبة التربة والمياه الجوفية، كما تتبادل المياه بين حالاتها المختلفة إذ تتحول المياه بين حالات المادة الثلاثة (السائلة والصلبة والغازية). ولذلك فإن مياه الكرة الأرضية تمتزج فيما بينها بصورة مستمرة من دون أن يحدث تغير في الكمية الإجمالية للمياه. إن هذا التبادل المستمر لأشكال المياه وحالاتها يسمى بالدورة الهيدرولوجية أو دورة المياه في الطبيعة (شكل 3). إن الحركة الثابتة للمياه في الطبيعة تبدأ من المحيطات لترتفع إلى الغلاف الجوي ومن ثم تنزل إلى سطح الأرض بعد ذلك تجري المياه تجاه المناطق المنخفضة لترجع إلى المحيطات، ويقدر معدل الحدود العمودية لحركة تبادل المياه في الكرة الأرضية (طبقة الدورة الهيدرولوجية) بحدود 13 كم إذ يتباين معدل سمك الطبقة في الغلاف الجوي ما بين 8 كم في العروض العليا وبين 16 كم في العروض الاستوائية وبمعدل عام مقداره بحدود 12 كم[1]، في حين ينخفض معدل سمك طبقة الدورة الهيدرولوجية إلى حوالي 1 كم في الغلاف الصخري.

تستمد الدورة الهيدرولوجية طاقتها الحركية من الشمس والجاذبية الأرضية (*Gravitation*) ويأخذ الغلاف الجوي دوراً مهماً في عملية الربط بين المياه الموجودة في المحيطات والقارات، إذ يعمل الإشعاع الشمسي (*Solar Radiation*) على رفع درجات الحرارة مما يؤدي إلى تبخر المياه من المسطحات المائية ورطوبة التربة والنبات ويتجمع بخار الماء المتصاعد على شكل غيوم (*Clouds*) في طبقة التروبوسفير (*Troposphere*) من الغلاف الجوي من خلال عملية التكاثف، وتعمل الرياح على تحريك بخار الماء والغيوم من المحيطات إلى القارات، ويعمل التساقط الجوي على إيصالها إلى سطح الأرض. إن المياه المتساقطة على سطح الأرض يتبخر جزءاً منها ويرجع إلى الغلاف الجوي ليضاف إلى رطوبة الهواء، كما يتسرب جزء من المياه المتساقطة إلى القشرة الأرضية ليغذي رطوبة التربة والمياه الجوفية، في حين يجري الجزء الأكبر من المياه المتساقطة على سطح الأرض ليشكل البحيرات والأنهار والتي تصب المياه في نهاية المطاف في المحيطات. إن المياه الجوفية يمكن أن تظهر على سطح الأرض من خلال الينابيع والعيون أو عن طريق الخاصية الشعرية وامتصاص النباتات أو بعمليات الضخ البشري. كما يمكن أن تصب المياه الجوفية في البحيرات والأنهار عندما يكون مستواها أعلى من مستوى قاع البحيرات والأنهار.

شكل 1 الدورة الهيدرولوجية.



مكونات الدورة الهيدرولوجية: *Components of Hydrological Cycle*

إن مياه الكرة الأرضية تتبدل في الأشكال والحالات ضمن طبقة الدورة الهيدرولوجية بشكل مستمر لتخلق حالة من التوازن المائي على سطح الأرض. وهناك أربع عمليات رئيسة تعمل على التبدل المستمر لأشكال المياه وحالاتها وهي التساقط الجوي والتبخر السطحي والتسرب الداخلي والجريان السطحي. لذلك تشتمل الدورة الهيدرولوجية على أربعة مكونات رئيسة فضلاً على الموازنة المائية لعمليات الدورة الهيدرولوجية، وفيما يأتي بيان لتلك **المكونات الخمسة:**

أولاً: التساقط الجوي: *Precipitation*

يمكن تعريف التساقط الجوي بأنه قطرات مائية سائلة أو متجمدة أو بلورات ثلجية تسقط من الغيوم المتواجدة في الغلاف الجوي ضمن طبقة التروبوسفير وتصل إلى سطح الأرض. وأغلب عمليات التساقط الجوي تحدث على شكل مطر (*Rain*) وثلج (*Snow*)، غير أنها تشتمل على العديد من الأشكال أيضاً والتي من أبرزها الرذاذ (*Drizzle*) والبرد (*Hail*) وتقطير الضباب (*Fog Drip*).

يعد التساقط الجوي جزءاً من مياه الغلاف الجوي، وذلك لكونه يتكون في الأساس من تكاثف بخار الماء، إذ تتواجد أغلب مياه الغلاف الجوي على شكل بخار ماء (*Exists as Vapour*)، وفي بعض المواقع المحلية المحددة قد يتحول البخار إلى الحالة السائلة ويتمثل في الأمطار والغيوم المائية والرذاذ، كما يمكن أن يتحول بخار الماء إلى الحالة الصلبة ويتمثل في الثلوج والغيوم الثلجية والبرد.

على الرغم من كون التساقط الجوي يدخل ضمن تخصص علم الأرصاد الجوي (*Meteorology*) وعلم المناخ (*Climatology*) إلا أنه يعد أساساً في الدراسات الهيدرولوجية، بسبب كون التساقط الجوي يعد من المكونات الرئيسة للدورة الهيدرولوجية إذ تتوقف هيدرولوجية أي منطقة بصورة رئيسة على كمية التساقط الجوي، وهو المقدمة التي يمكن من خلالها توضيح العديد من العمليات الجوية، كما يعد المصدر الرئيس للمياه العذبة جميعها على سطح الأرض، وكذلك يسبب التساقط الجوي الجريان السطحي والمحدد الأساس لمواسم الفيضان والجفاف.

ومن الجدير ذكره في هذا الصدد إن التمييز بين التساقط الثلجي والتساقط المطري يعد من المبادئ الأساس في الهيدرولوجية، إذ يبقى الثلج في الغالب مدة طويلة من الزمن على سطح الأرض قبل أن يدخل ضمن مكونات الدورة الهيدرولوجية خلال ذوبانه في فصل الربيع (*Spring Melting*)، في حين يدخل المطر فور تساقطه على السطح ضمن مكونات الدورة الهيدرولوجية.

طرق تشكيل الغيوم: *Methods of Clouds Formation*

إن الغيمة هي مصدر التساقط الجوي وتتشكل الغيمة بفعل عملية تكاثف (*Condensation*) رطوبة الهواء بسبب التبريد الذاتي (*Adiabatic*) لبخار الماء (*Water Vapour*) الذي يحدث بعد ارتفاع الكتل الهوائية الدافئة، هناك العديد من الطرق التي تسبب ارتفاع الكتل الهوائية مما يؤدي إلى تشكيل الغيوم، ومن أبرزها ما يأتي:

1- التسخين الأرضي: Convection

إن التسخين الشديد لسطح الأرض بفعل الارتفاع الكبير لدرجات الحرارة يؤدي إلى تمدد الهواء الملامس وانخفاض وزنه فيرتفع إلى الأعلى على شكل تيارات صاعدة. إن ارتفاع الهواء الرطب يؤدي إلى تبريد بخار الماء وتكاثفه على شكل غيوم.

2- الارتفاع الإعصاري أو الجبهوي: Cyclonic or Fronts Ascent

إن الالتقاء أو التداخل بين كتلتين هوائيتين مختلفتين بالخصائص الحرارية لا يؤدي إلى تجانس خصائصهما وإنما ترتفع الكتلة الهوائية الدافئة فوق الكتلة الباردة وأن الخط أو نقطة التماس بينهما تسمى بالجبهة، فإذا كانت الكتلة الدافئة رطبة فإن ارتفاعها يؤدي إلى تبريد بخار الماء وتكاثفه مما يعمل على تشكيل غيوم.

3- الارتفاع التضاريسي أو الجبلي:

إن اعتراض سير الكتل الهوائية بحاجز مرتفع كالجبال يؤدي إلى ارتفاع الهواء وذلك في حالة استمرار عملية التصادم بين الكتل الهوائية والحواجز، وإن عملية ارتفاع الهواء الرطب يؤدي إلى تبريد بخار الماء وتكاثفه على شكل غيوم.

4- ارتفاع الهواء المضطرب: Turbulent Ascent

إن انتقال الكتل الهوائية من المسطحات المائية في البحار والمحيطات إلى سطح الأرض يؤدي إلى اضطراب الهواء بفعل زيادة ارتفاع سطح الأرض وخشونته وزيادة الاحتكاك مما يؤدي إلى ارتفاع الهواء وتبريد بخار الماء وتكاثفه مما يعمل على تشكيل غيوم.

محددات عملية التساقط: Conditions of Precipitation

إن عملية تكاثف بخار الماء وتشكيل الغيوم لا يعني بالضرورة حدوث عمليات التساقط الجوي ففي الكثير من الحالات توجد في الغلاف الجوي العديد من الغيوم من دون حدوث تساقط للقطرات المائية، ولذلك فهناك العديد من المحددات أو الظروف التي يجب توافرها لحدوث عملية التساقط الجوي والتي من أبرزها ما يأتي:

1- من الشروط الأساس لعمليات تكاثف بخار الماء وتشكيل الغيوم هو توافر بخار الماء في الهواء لدرجة التشبع، ويمكن للهواء أن يصل إلى درجة التشبع عندما تتباين الرطوبة النسبية بين 71- 100%.

2- لا يمكن أن تحدث عملية تكاثف بخار الماء المتواجد في الهواء من دون انخفاض درجة حرارة الهواء المشبع بالبخار إلى ما دون نقطة الندى (*Dew Point*).

3- وجود نويات للتكاثف (*Hygroscopic*) عالقة في الهواء وهي عبارة عن جسيمات صغيرة تجذب حولها بخار الماء لتشكل قطرات مائية أو بلورات ثلجية وتشمل نويات التكاثف على جزيئات الغبار والدخان والأملاح البحرية.

4- تنامي القطرات المائية وتزايد أحجامها بفعل الاندماج والتلاصق فيما بينها مما يؤدي إلى ازدياد وزنها إلى الدرجة التي يصعب على الهواء حملها فتعمل الجاذبية الأرضية على إسقاطها إلى سطح الأرض.

التوزيع الجغرافي للتساقط الجوي: *Precipitation Distribution*

يقدر المعدل العام لحجم التساقط الجوي على الكرة الأرضية بحدود 982 ملم/سنة، ولذلك تقدر الكمية الإجمالية للتساقط الجوي على الكرة الأرضية بحدود 0.5 مليون كم^3/سنة (جدول 12). إن المتساقطات الجوية تتوزع بصورة غير متساوية بين اليابس والمياه، إذ تستحوذ المحيطات على الكمية الأكبر من التساقط الجوي وبمقدار حوالي 370.72 ألف كم^3 لتمثل 75.65% من الحجم الإجمالي للتساقط الجوي على الكرة الأرضية وذلك بسبب ارتفاع معدل حجم التساقط الجوي بحدود 1024 ملم/سنة، في حين ينخفض حجم التساقط الجوي على سطح القارات بمقدار 119.32 ألف كم^3 ليمثل حوالي 24.35% من الحجم الإجمالي للتساقط الجوي بسبب انخفاض معدل حجم التساقط الجوي إلى حوالي 879 ملم/سنة.

على الرغم من تقدير المعدل العام للتساقط الجوي بحدود 982 ملم/سنة، غير أن معدلات التساقط الجوي تتباين بشكل كبير بين المناطق المختلفة لسطح الأرض. إذ يرتفع المعدل في بعض المناطق ليصل إلى حوالي 10000 ملم/سنة، في حين ينخفض المعدل في مناطق أخرى حتى يصل إلى حوالي 2 ملم/سنة[2].

جدول 1

الحجم التخميني للمياه في عناصر الدورة الهيدرولوجية.

العناصر	الموقع	معدل المياه (ملم/سنة)*	حجم المياه (ألف كم^3)	نسبة المياه من الحجم الإجمالي
التساقط	المحيطات	1024	370.72	75.65
	القارات	879	119.32	24.35
	المعدل	982	490.04	100
التبخر	المحيطات	1128	408.488	83.36
	القارات	601	81.554	16.64
	المعدل	975	490.04	100
الجريان السطحي	المحيطات		0.0	0.0
	القارات	255.14	37.77	100
	المجموع	255.14	37.77	100

Subramanya, K. 2004. Engineering hydrology, Second Edition, New Delhi, 392 p.

* يمثل المعدل الموزون وليس الوسط الحسابي.

إن أسباب التساقط الجوي وأشكاله وكمياته تتباين على سطح الأرض بشكل عام على وفق التوزيع التقريبي الأتي[3] و[4] :

1- المنطقة الاستوائية: تمتد بين دائرتي عرض 0- 10 درجة، وتعد الحركة التصاعدية للتيارات الهوائية (التسخين الأرضي) السبب الرئيس للتساقط الجوي والذي يكون على شكل أمطار، إن هذه المنطقة تمتاز بأمطار دائمة غزيرة على مدار السنة إذ تتباين معدلاتها بين 1000- 2500 ملم/سنة.

2 – منطقة العروض المدارية: تمتد بشكل رئيس بين دائرتي عرض 20- 30 درجة، ويحدث التساقط الجوي الذي يكون على شكل أمطار في الغالب خلال فصل الشتاء بسبب الرياح التجارية (تساقط جبهوي)، وتتباين معدلات الأمطار المتساقطة بين 50- 250 ملم/سنة.

3- منطقة العروض المعتدلة: تمتد بشكل رئيس بين دائرتي عرض 40- 60 درجة، ويحدث التساقط طول العام مع تركز في فصل الشتاء بسبب المنخفضات الجوية (تساقط جبهوي) وتتباين أشكال التساقط في هذه المنطقة بين الأمطار والثلوج مع سيطرة لتساقط الأمطار، وتتباين معدلات التساقط بين 1000- 1500 ملم/سنة.

4- منطقة العروض القطبية: تمتد بشكل رئيس بين دائرتي عرض 60- 90 درجة، ويحدث التساقط الجوي الذي يكون على شكل ثلوج طول العام ويرجع سبب التساقط إلى الأعاصير (تساقط جبهوي) وتتباين معدلات التساقط بين 20- 300 ملم/سنة.

العوامل المؤثرة في التباين المكاني للتساقط:

تشهد كمية التساقط الجوي تبايناً مكانياً بين دوائر العرض المختلفة، كما تتباين موقعياً ضمن الدائرة العرضية الواحدة، ويرجع ذلك إلى جملة من العوامل والتي من أبرزها ما يأتي:

1- الموقع من اليابس والماء: *Location From Land and Water*

إن المصدر الأساس للتساقط الجوي هو بخار الماء، وتعد البحار والمحيطات المصدر الأساس للتبخر السطحي. ولذلك تزداد كمية التساقط على البحار والمحيطات والمناطق الساحلية

وتنخفض كمية التساقط في المناطق القارية الداخلية لبعدها عن تأثير المسطحات المائية وانخفاض بخار الماء، إذ يعد انخفاض الرطوبة النسبية في الصحاري المدارية خلال الصيف من الأسباب الرئيسة لانتفاء تشكيل الغيوم وتساقط الأمطار على الرغم من وجود تيارات هوائية صاعدة.

2- مستوى سطح الأرض: *surface Elevation*

إن ارتفاع سطح الأرض يعمل على رفع الرياح المتعامدة مع اتجاه المرتفعات مما يسهم في زيادة عمليات تكاثف بخار الماء وتشكيل الغيوم والتساقط الجوي، في حين تعمل المرتفعات على الحد من التساقط الجوي في المناطق الواقعة باتجاه معاكس لحركة الرياح واتجاهها والتي تسمى بمناطق ظل المطر (*Rain Shadow*) مما يسهم في زيادة الجفاف وتشكيل الصحاري.

3- انطقه الضغط الجوي: *Atmosphere Pressure*

لمقدار الضغط الجوي المسلط على المنطقة علاقة بكمية التساقط الجوي، وذلك لدوره في تحديد اتجاه حركة التيارات الهوائية (صاعدة أو هابطة). إن سيادة الضغط الواطئ (*Low Pressure*) في المناطق الاستوائية والمعتدلة يعمل على تزايد نشاط التيارات الهوائية الصاعدة وجذب الأعاصير والمنخفضات الجوية مما يسهم في زيادة عمليات تكاثف بخار الماء وتشكيل الغيوم والتساقط الجوي. في حين تسهم التيارات الهوائية الهابطة في المناطق المدارية والقطبية في الحد من تكاثف بخار الماء وتشكيل الغيوم بفعل سيادة الضغط المرتفع (*High Pressure*) مما يخفض من كمية التساقط الجوي.

قياس التساقط الجوي (الأمطار): *Measurement of Rainfall*

إن الأمطار المتساقطة على سطح الأرض تتباين مكانياً وزمنياً من حيث الكمية والشدة، ويعبر عن كمية الأمطار بعمق ماء المطر (*Rainfall Depth*) المتراكم على مساحة محددة من سطح الأرض وخلال مدة زمنية محددة كاليوم أو الأسبوع أو الشهر أو السنة، وتقاس كمية الأمطار عادة بوحدة الملي متر (ملم/سنة). أما الشدة المطرية (*Intensity of Rainfall*) فيعبر عنها بمعدل عمق ماء المطر المتراكم على مساحة محددة من سطح الأرض خلال مدة العاصفة المطرية (*Duration of Rain Storm*)، وتقاس الشدة المطرية عادة بوحدة الملي متر/الساعة.

تقاس الأمطار المتساقطة على سطح الأرض بأجهزة خاصة تسمى بمقاييس المطر (*Rain Gauges*) والتي يمكن تقسيمها إلى صنفين رئيسين هما:

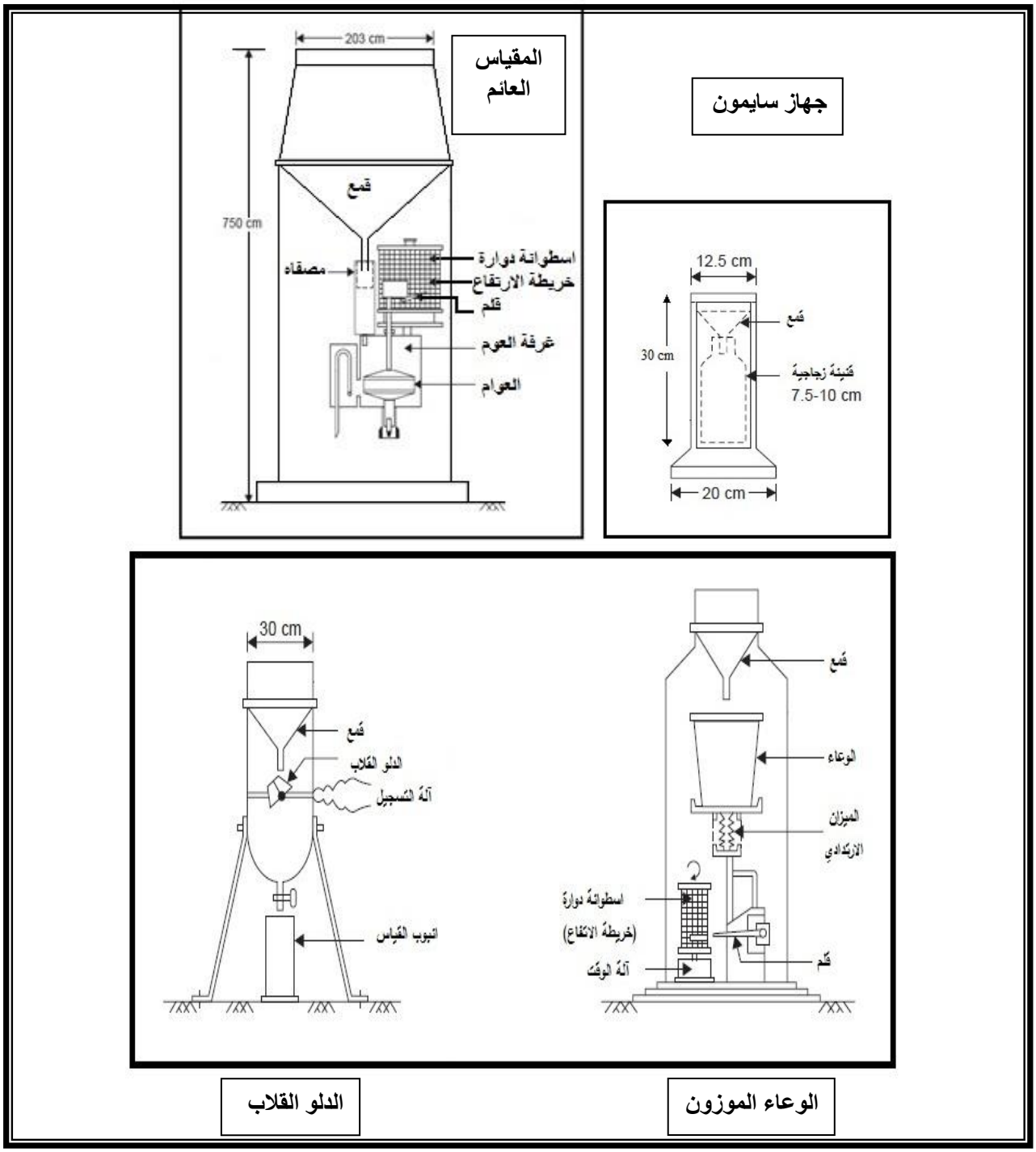
1- مقاييس المطر غير المسجلة: *Non-recording Rain Gauges*

يضم هذا الصنف أنواع متعددة من المقاييس غير أن أهمها وأكثرها شيوعاً واستخداماً في المحطات المناخية هو جهاز سايمون لقياس المطر (*Symon's rain gauge*) (شكل 4) ، ولهذا الجهاز القدرة على قياس كمية الأمطار المتساقطة على سطح الأرض من خلال تحديد عمق المطر المتجمع في اسطوانة الجهاز. إن المياه المتجمعة في الأجهزة غير المسجلة في الغالب تكون أدنى من القيمة الفعلية لعمق ماء المطر ويرجع السبب في ذلك بشكل رئيس إلى عمليات التبخر السطحي وترطيب أسطح جدران الجهاز مما يعمل على انخفاض عمق المياه المتجمع في الجهاز.

2- مقاييس المطر المسجلة: *Recording Rain Gauges*

تعد قراءات مقاييس المطر المسجلة ونتائجها أكثر أهمية وفائدة في الدراسات الهيدرولوجية من المقاييس غير المسجلة، وذلك لكونها تحدد كمية الأمطار المتساقطة على سطح الأرض كما تحدد الشدة المطرية ومدتها. إذ تعمل المقاييس المسجلة على رسم مخططات على أوراق بيانية تكشف حجم التباين في عمق ماء المطر مع الزمن، كما أنها أقل تأثراً بظروف التبخر السطحي. تضم المقاييس المسجلة أنواعاً متعددة من المقاييس والتي من أهمها ما يأتي (شكل 4):

شكل 4 ابرز مقاييس المطر في العالم.



أ- مقياس المطر العائم: *Float Rain Gauge*

ب- الوعاء الموزون: *Weighting Bucket Rain Gauge*

ج- الدلو القلاب: *Tipping Bucket Rain Gauge*

د- الرادار: *Radar*

احتساب المعدل المطري: Calculation of Mean Rainfall

إن مقاييس المطر المعتمدة في المحطات المناخية لا تعكس معدل كمية الأمطار المتساقطة على المساحة الإجمالية للحوض المائي، بل تعطي نتائج موقعية محددة لكمية الأمطار تمثل مساحة أجهزة القياس والمنطقة المحيطة بمحطات القياس، وهناك ثلاث طرق يمكن من خلالها احتساب المعدل المطري للحوض المائي وهي ما يأتي[6]:

1- الوسط الحسابي: Arithmetic Mean

يعد الوسط الحسابي من أبسط الطرق المعتمدة في احتساب المعدل المطري للأحواض المائية، غير أن دقة نتائجه تتوقف على درجة انتظام التوزيع المساحي للمحطات المناخية في الأحواض المائية، ويمكن احتساب المعدل المطري بطريقة الوسط الحسابي بواسطة المعادلة الآتية:

$$\bar{R} = \frac{\sum r}{N}$$

إذ أن:

$\bar{R}$ = المعدل المطري.

$\sum r$ = مجموع الأمطار المسجلة في المحطات جميعها.

N = عدد المحطات.

مثال:

حوض مائي يضم ست محطات مناخية وكانت كمية الأمطار في المحطات هي 100 و110 و120 و130 و140 و150 ملم/سنة على التوالي. جد معدل الأمطار المتساقطة على الحوض المائي بطريقة الوسط الحسابي؟

الحل:

$$\bar{R} = \frac{\sum r}{N}$$

$$\bar{R} = \frac{750}{6} = 125 \text{ mm/ year.}$$

2- معدل ثايسن: *Thiessen Mean*

تتمثل طريقة ثايسن باحتساب الوزن المساحي لكل محطة مناخية ويتم ذلك من خلال تأشير مواقع المحطات في الحوض المائي على خريطة، ومن ثم تربط المحطات بخطوط مستقيمة ويقام على منتصف الخطوط أعمدة مما يؤدي إلى تشكيل مضلعات مختلفة المساحة (شكل 5)، ويمثل كل مضلع المساحة التي تغطيها قياسات المحطة. بعد تحديد مساحة المحطات على الخريطة يكون احتساب المعدل المطري بطريقة ثايسن من خلال الإجراءات الآتية:

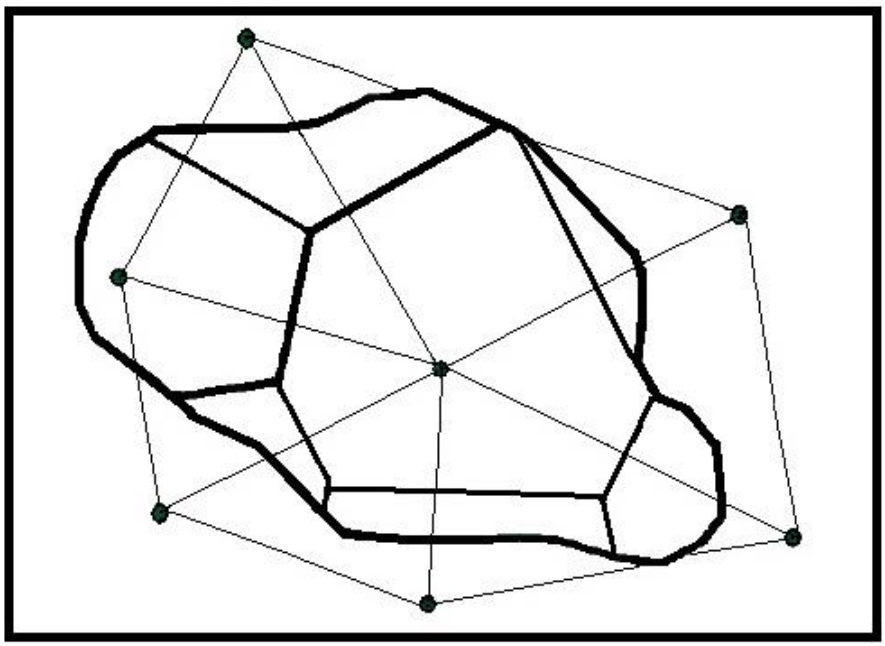
أ- تحديد كمية الأمطار المتساقطة (r) على مساحة كل محطة (a)، من خلال نتائج قراءات مقاييس المطر.

ب- استخراج النسبة المئوية لمساحة كل محطة (a) من المساحة الإجمالية للحوض (A)، من خلال تقسيم مساحة كل محطة على المساحة الإجمالية للحوض $(\frac{a}{A})$.

ج- ضرب النسبة المئوية لمساحة كل محطة في كمية الأمطار المتساقطة عليها $(r \times \frac{a}{A})$.

د- تجمع نتائج الضرب.

شكل 5 معدل ثايسن.



وبهذا يتمثل المعدل المطري على وفق طريقة ثايسن بعد تحديد المساحة وكمية الأمطار في كل محطة بالمعادلة الآتية:

$$\overline{R} = \sum r \frac{a}{A}$$

مثال:

حوض مائي يضم ست محطات مناخية وكانت كمية الأمطار في المحطات هي 100 و110 و120 و130 و140 و150 ملم/سنة على التوالي. وبعد استخراج مضلعات ثايسن على الخريطة وجد أن مساحة المحطات هي 250 و200 و200 و200 و150 و100 و100 كم^2 على التوالي. جد معدل الأمطار المتساقطة على الحوض المائي بطريقة ثايسن؟

الحل:

نطبق الإجراءات السابقة من خلال جدول وبعدها نطبق المعادلة.

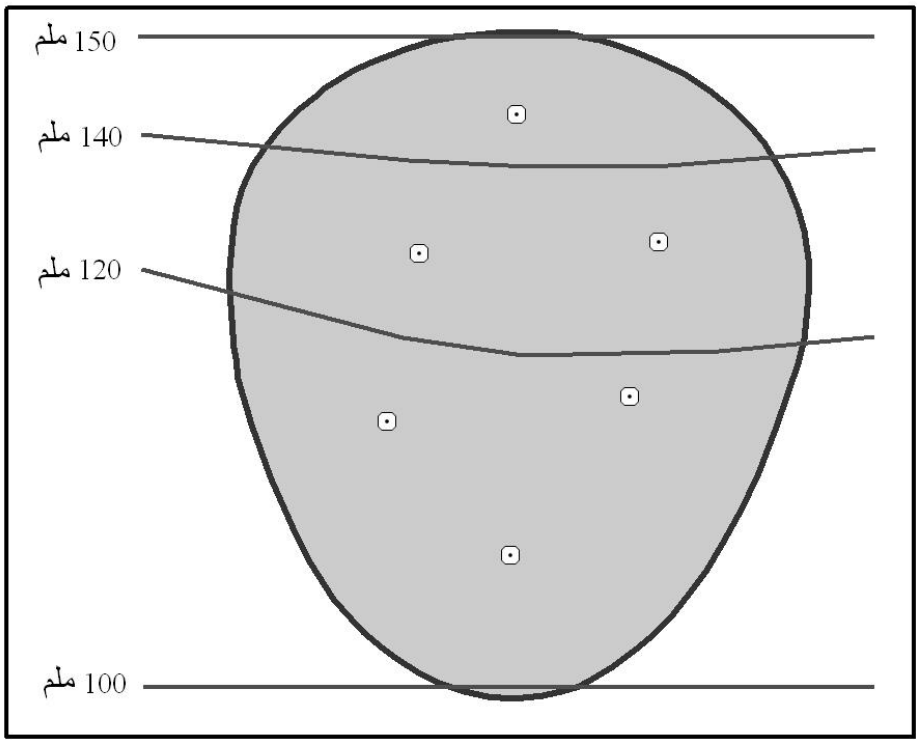
المحطة	كمية الأمطار (r)	المساحة (a)	مساحة المحطة من مساحة الحوض $(\frac{a}{A})$	$(r \times \frac{a}{A})$
1	100	250	0.25	25
2	110	200	0.20	22
3	120	200	0.20	24
4	130	150	0.15	19.5
5	140	100	0.10	14
6	150	100	0.10	15
المجموع	750	1000	1	119.5

$$\overline{R} = \sum r \frac{a}{A} = \mathbf{119.5\ mm/\ year.}$$

3- معدل خطوط المطر المتساوية: *Isohyetal Mean*

تتمثل طريقة خطوط المطر المتساوية أو الايزوهيت بتأشير مواقع المحطات المناخية في الحوض المائي على خريطة، ومن ثم يكون الربط بين النقاط المتقاربة في كمية الأمطار بخطوط مما يؤدي إلى تشكيل ما يشبه الخطوط الكنتورية لتباين مناسيب سطح الأرض (شكل 6)، بعد تحديد خطوط المطر المتساوية على الخريطة يتم احتساب المعدل المطري بطريقة الايزوهيت من خلال الإجراءات الآتية:

شكل 6 خطوط المطر المتساوية.



أ- تحديد المساحة المحصورة بين كل خطين متجاورين (a).

ب- استخراج معدل كمية الأمطار المتساقطة (r) في كل مساحة محصورة بين خطين (a)، من خلال تقسيم مجموع الأمطار في المحطات المتواجدة بين كل خطين على عدد المحطات $(\frac{\sum r}{N})$.

ج- تضرب قيم معدل كمية الأمطار المتساقطة في المساحة المتساقطة عليها (r × a).

د- تجمع قيم نتائج الضرب ($\sum$ a × r) وتقسم على إجمالي مساحة الحوض (A).

وبهذا يتمثل المعدل المطري على وفق طريقة الايزوهيت بعد تحديد المساحة ومعدل كمية الأمطار بين كل خطين متجاورين بالمعادلة الآتية:

$$\overline{R} = \frac{\sum ar}{A}$$

مثال:

حوض مائي يضم ست محطات مناخية وكانت كمية الأمطار في المحطات هي 100 و110 و120 و130 و140 و150 ملم/سنة على التوالي. وبعد رسم خطوط المطر المتساوية على الخريطة أنقسم الحوض إلى ثلاثة أقسام (شكل 6). إذ حصرت المحطات 1 و2 و3 بين خطين في جنوب الحوض، وانحصرت محطتي 4 و5 ضمن خطين في وسط الحوض، وتنحصر المحطة 6 وحدها بين خطين في شمال الحوض، وقد بلغت مساحة أقسام الحوض 700 و200 و100 كم^2 على التوالي. جد معدل الأمطار بطريقة الايزوهيت؟

الحل:

نطبق الإجراءات السابقة من خلال جدول وبعدها نطبق المعادلة.

المحطة	كمية الأمطار	المساحة (a)	معدل كمية الأمطار (r)	(r × a)
1	100	700	110	77000
2	110			
3	120			
المجموع	330			
4	130	200	135	27000
5	140			
المجموع	270			
6	150	100	150	15000
المجموع	750	1000		119000

$$\overline{R} = \frac{\sum ar}{A} = \frac{119000}{1000} = 119 \text{ mm/year.}$$

ثانياً: التبخر- النتح: *Evapotranspiration*

التبخر (*Evaporation*) هو عملية تحول المياه الموجودة في المسطحات المائية والترب من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية وانطلاقها إلى الجو. ويحدث التبخر حينما يتصل هواء غير مشبع بسطح رطب من خلال عملية الانتشار (*Diffusion*) ويتمثل السطح الرطب في المسطحات المائية جميعها والأراضي الرطبة وحتى قطرات المطر (*Rain Drops*) المتساقطة من الغيوم.

إن المياه المتواجدة ضمن الغلاف الجوي في الحالة الغازية تسمى ببخار الماء (*Water Vapour*) أو رطوبة الهواء (*Humidity of the Air*). يعد بخار الماء من أهم الغازات المكونة للهواء على الرغم من انخفاض نسبة البخار بمقدار يتراوح ما بين 0-4% من إجمالي الغازات المكونة للهواء، إلا أنه يعد من أهم الغازات المكونة للهواء وذلك بسبب تأثيره المباشر في عمليات التكاثف والتساقط الجوي والدور الذي يحتله في تحديد درجة حرارة الهواء، مما يؤثر على الأنشطة البشرية المختلفة.

أما النتح أو التعرق (*Transpiration*) فهو عملية انتقال المياه من المسامات المتواجدة في سطح أوراق النباتات الحية وأجسادها إلى الجو بعد تحولها من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية (بخار الماء)، إذ تتحرك من النباتات الطبيعية والمحاصيل الزراعية المختلفة كميات كبيرة من بخار الماء إلى الجو تمثل بحدود 95% من الكمية الإجمالية للمياه الممتصة من الجذور النباتية.

إن عملية انتقال ماء التربة إلى السطح غالباً ما تكون بطيئة الحركة وعليه فإن سطح التربة يجف بسرعة مما يعمل على الحد من كمية التبخر السطحي، وفي المناطق الرطبة (*Humid Regions*) غالباً ما تكون نسبة التبخر من سطح الأرض قليلة لكون السطح مغطى بالنباتات الطبيعية في أغلب أيام السنة، ولذلك تعد عملية النتح المحدد الرئيس للحجم الإجمالي لتبخر المياه من الجزء اليابس من سطح الأرض.

تعمل عملية النتح أو تعرق النباتات على سحب المياه المخزونة في مسامات التربة العميقة من خلال دور الأنسجة النباتية في نقل المياه من الشعيرات الجذرية المتصلة بماء

التربة إلى الأوراق، مما يجعل عملية النتح في الجزء اليابس من سطح الأرض أكثر قوة وأثر وأهمية من التبخر الذي ينتهي بجفاف سطح التربة.

إن عملية الفصل والتمييز بين عملية التبخر من سطح التربة وعملية النتح من النباتات المتواجدة في التربة معقدة ويصعب إجراؤها، ولذلك يفضل الجمع بين العمليتين لتسمى بعملية التبخر- النتح (*Evapotranspiration*). وفي هذا الصدد لابد من التأكيد على ضرورة التمييز بين مصطلح التبخر- النتح الكامن (*Potential Evapotranspiration*) الذي يشير إلى كمية المياه المتبخرة من مساحة محددة من سطح الأرض التي تغطيها النباتات الخضراء ولا تعاني تربتها من العجز المائي على مدار السنة، **ومصطلح التبخر- النتح الحقيقي** (*Actual Evapotranspiration*) الذي يشير إلى الكمية الفعلية للمياه المتبخرة من مساحة محددة من سطح الأرض مع الاخذ بعين الاعتبار كثافة النباتات الخضراء ومقدار رطوبة التربة.

يعد التبخر- النتح الكامن مفهوم مناخي نظري إذ يندر وجود مساحة على سطح الأرض ذات نباتات خضراء وتربة رطبة على مدار السنة، إذ تتباين قابلية التربة على تغذية السطح والنباتات الطبيعية بالرطوبة بين مواسم وأشهر السنة المختلفة فقد يكون سطح التربة جافاً وخالياً من النبات الطبيعي خلال موسم الصيف مما يعمل على انخفاض كمية التبخر- النتح الحقيقي ويجعل عملية تقديره صعبة جداً. وعليه فإن أغلب طرق تقدير التبخر- النتح تفترض وجود نباتات خضراء وتربة رطبة على مدار السنة، مما يجعل التقديرات تكشف القيم الكامنة للتبخر- النتح وليست القيم الحقيقية.

التوزيع الجغرافي للتبخر السطحي: *Evaporation Distribution*

يقدر المعدل العام لحجم التبخر السطحي في الكرة الأرضية بحدود 975 ملم/سنة، ولذلك تقدر الكمية الإجمالية للتبخر السطحي بحدود 0.5 مليون كم^3/سنة (جدول 12). إن حجم التبخر السطحي غير متساوي بين اليابس والمياه، إذ يرتفع حجم التبخر في المحيطات إلى حوالي 408.488 ألف كم^3 ليمثل 83.36% من الحجم الإجمالي للتبخر السطحي في الكرة الأرضية وذلك بسبب ارتفاع معدل التبخر في المحيطات إلى 1128 ملم/سنة، في حين ينخفض حجم التبخر السطحي في القارات إلى 81.558 ألف كم^3 ليمثل حوالي

16.64% من الحجم الإجمالي للتبخر السطحي في الكرة الأرضية بسبب انخفاض معدل التبخر إلى حوالي 601 ملم/سنة. إن السبب الرئيس في الارتفاع الكبير لنسبة التبخر من المحيطات مقارنة بالقارات يرجع إلى سعة مساحة المحيطات وبمقدار 362 مليون كم^2 واستمرار عمليات التبخر على مدار السنة، أما الجزء اليابس من سطح الأرض فعلى الرغم من كون التبخر يحدث بشكل مستمر من البحيرات والمستنقعات ومجاري الأنهار إلا أن تلك المسطحات المائية لا تشغل سوى مساحة صغيرة من سطح الأرض، لذلك فإن أغلب التبخر يحدث من أسطح النباتات والتربة الرطبة، وهي محدودة في كمية المياه المتبخرة.

على الرغم من تقدير المعدلات العامة للتبخر السطحي بين المحيطات والقارات بين 1128 و601 ملم/سنة على التوالي، غير أن قيم التبخر تتباين بشكل كبير بين المناطق المختلفة لسطح الأرض. إذ تتباين المعدلات في الأقاليم الرطبة الدافئة بين 600 ملم/سنة من المسطحات المائية وبين 450 ملم/سنة من سطح الأرض. في حين تتباين معدلات التبخر في الأقاليم الجافة بين 2000 ملم/سنة من المسطحات المائية وبين 100 ملم/سنة من سطح الأرض. إن التباين الكبير لقيم التبخر في الأقاليم الجافة بين المسطحات المائية وسطح الأرض يرجع إلى ندرة التساقط الجوي وجفاف سطح التربة وندرة النباتات الخضراء مما يؤدي إلى انخفاض حجم التبخر من الأراضي اليابسة، في حين يزداد التبخر من المسطحات المائية بشكل مستمر لذلك يزداد الفرق في معدلات التبخر بين اليابسة والمسطحات المائية.

العوامل المؤثرة في عملية التبخر والنتح:

إن تباين قيم التبخر والنتح تكون تبعاً لطبيعة السطح وظروفه (ارض، مياه، نبات)، وهناك جملة من العوامل التي تسهم في تباين قيم التبخر أو النتح ضمن السطح الواحد.

1- العوامل المؤثرة في التبخر من المسطحات المائية:

أ- الإشعاع الشمسي: *Solar Radiation*

تعد الطاقة الشمسية المصدر الرئيس للطاقة اللازمة لتبخر المياه، إذ تعمل المياه على تحويل الإشعاع الشمسي من طاقة ضوئية إلى طاقة حرارية مما يسهم في زيادة عمليات

تحول المياه إلى حالة غازية وانتقالها إلى الغلاف الجوي. ولذلك تحدث عملية التبخر في الغالب خلال ساعات النهار الممتدة من 6 صباحاً إلى 6 مساءً لتمثل نسبة معدلها بحدود 80% من الكمية الإجمالية للتبخر اليومي. يعتمد مدى تأثير الإشعاع الشمسي في عملية التبخر بشكل أساس على درجة الزاوية التي يشكلها الإشعاع الشمسي مع سطح الأرض وبشكل ثانوي على عدد ساعات السطوع الشمسي، إذ تزداد عملية التبخر في المناطق المدارية ولاسيما خلال موسم الصيف بسبب الإشعاع الشمسي العمودي وطول النهار بمقدار 14 ساعة، في حين ينخفض التبخر في المناطق المعتدلة والقطبية بسبب انحراف زاوية الإشعاع الشمسي على الرغم من ازدياد طول النهار ليصل إلى 24 ساعة في الدائرة القطبية، ويضعف نشاط التبخر خلال موسم الشتاء.

ب- درجة الحرارة: *Temperature*

تؤثر درجة حرارة المياه في سرعة تحول حالة المياه وانتقال جزيئاتها إلى الغلاف الجوي، إذ يستلزم تحويل 1 غرام من المياه من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية بحدود 580 سعره حرارية، ولذلك تعمل زيادة درجة حرارة المياه على زيادة سرعة عملية التبخر.

ج- ضغط بخار الماء: *Vapour Pressure*

يتحدد حجم التبخر بمقدار الفرق بين ضغط بخار الماء في الطبقات العليا للمسطحات المائية وبين ضغط البخار في الطبقات الدنيا للغلاف الجوي، إذ ينخفض مقدار ضغط البخار في الهواء مقارنة بالمياه في أغلب الأحيان مما يسمح لعمليات انتقال جزيئات الماء من المسطحات المائية إلى الغلاف الجوي بعد تحولها إلى الحالة الغازية. وقد يكون ضغط البخار متوازناً بين الماء والهواء عندما تصل رطوبة الهواء إلى درجة التشبع إذ يرتفع مقدار ضغط البخار في الهواء إلى أقصى درجة ممكنة لتقترب من درجة ضغط البخار في الماء مما يحد من تبخر المياه، ويمكن اعتبار مقدار الرطوبة النسبية مؤشراً قوياً لتحدد مقدار العجز في بخار الماء بين الماء والهواء.

د- الرياح: *Wind*

تؤثر خصائص الرياح على عملية التبخر من جانبين رئيسين هما السرعة والجفاف، إذ تزداد معدلات التبخر بزيادة سرعة الرياح ودرجة جفافها من خلال الدور الذي تقوم به في

عمليات إزاحة الهواء الرطب الملامس للمسطحات المائية واستبداله بخصائص الرياح الجافة مما يؤدي إلى زيادة الفرق في مقدار ضغط البخار بين الماء والهواء فتنشط عمليات التبخر.

هـ- التخزين الحراري: *Heat Storage*

تتباين المسطحات المائية بالمساحة والأعماق مما يؤدي إلى تباين مخزونها الحراري، ولذلك تمتلك المسطحات المائية الضخمة مخزوناً حرارياً كبيراً مقارنة بالمسطحات المائية الصغيرة مما يؤثر على معدلات التبخر السطحي. إذ تستوعب المسطحات المائية الكبيرة طاقة حرارية كبيرة خلال موسم الصيف وساعات النهار، من هنا فهي تتطلب عمليات تحول جزيئات المياه إلى الحالة الغازية وانتقالها إلى الغلاف الجوي سعرات حرارية كبيرة جداً مما يؤدي إلى الانخفاض النسبي لمعدلات التبخر السطحي مقارنة بمعدلات التبخر من المسطحات المائية الصغيرة.

و- نوعية المياه: *Water Quality*

يتأثر مقدار ضغط بخار الماء بنوعية المياه إذ ينخفض ضغط البخار في المياه المالحة بمقدار 2% مقارنة بالمياه العذبة، ولذلك ينخفض معدل التبخر السطحي من البحيرات المالحة بمقدار يتباين بين 2- 3% مقارنة بمعدل التبخر من البحيرات العذبة[10]. كما أن عكورة المياه (*Turbidity*) تسهم في الحد من نفاذ الإشعاع الشمسي في أعماق الطبقات المائية مما يقلل من عمليات تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة حرارية ويسهم في انخفاض معدلات التبخر السطحي مقارنة بالمياه الشفافة (*Transparency*).

2- العوامل المؤثرة في التبخر من التربة:

أ- رطوبة التربة: *Soil Moisture*

إن عمليات التبخر من التربة تتمثل بتبخر المياه المتواجدة في الفراغات بين الذرات الصلبة (المسامية) والتي تسمى برطوبة التربة. وعليه فعمليات التبخر من التربة تتحدد بشكل رئيس بمقدار رطوبتها، إذ تكون معدلات التبخر من التربة مساوية لمعدلات التبخر من المسطحات المائية عندما تكون التربة مشبعة بالمياه، في حين تتوقف عمليات التبخر في الترب الجافة.

ب- عمق المياه الجوفية: Table Water

عندما يقترب مستوى المياه الجوفية من سطح الأرض فإن معدلات التبخر من التربة تكون مساوية لمعدلات التبخر من المسطحات المائية وذلك لتشبع التربة بالمياه بشكل مستمر وإمكانية التربة على سحب الرطوبة من المياه الجوفية حينما يعاني سطحها من العجز المائي، في حين يتوقف إمداد سطح التربة بالرطوبة من المياه الجوفية حينما يزداد عمقها عن 1 متر تقريباً.

ج- نسيج التربة: Soil Texture

إن حجم ذرات التربة تؤثر في مقدار رطوبة التربة وسحب المياه الجوفية، إذ يمتاز نسيج التربة الناعم بنفاذية رديئة مما يسمح بتجمع المياه على سطح التربة ويزيد من قابليتها على الاحتفاظ بالماء وينشط الخاصية الشعرية وسحب المياه الجوفية، في حين ينخفض مدى تأثير الخاصية الشعرية إلى 85 سم في الترب المزيجية والى 70 سم في الترب الرملية الناعمة والى 35 سم في الترب الرملية الخشنة.

د- الغطاء النباتي: Vegetation

إن ازدياد كثافة الغطاء النباتي يعمل على انخفاض معدلات التبخر من رطوبة التربة، وذلك لكون الغطاء النباتي يشكل ما يشبه المظلة مما يحد من مقدار الإشعاع الشمسي الواصل للسطح ويسهم في انخفاض درجة حرارة التربة خلال موسم الصيف وساعات النهار، كما يسهم الغطاء النباتي في الحد من سرعة الرياح ويزيد من الرطوبة الجوية بفعل عمليات النتح. وبذلك ينخفض معدل التبخر في الترب التي تشغلها الغابات بمقدار 70% من معدلات التبخر في المناطق المكشوفة.

3- العوامل المؤثرة في عملية النتح:

إن عملية النتح تتأثر بالعوامل المناخية المؤثرة نفسها في عملية التبخر كالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة الجوية والرياح، غير أن مقدار النتح يتباين ضمن الموقع الواحد بسبب تباين الخصائص النباتية. إذ تزداد معدلات النتح من النباتات بزيادة مساحة الأوراق وأعداد المسامات وأحجامها، كما أن لشبكة الجذور النباتية علاقة بمعدل النتح إذ

يزداد النتح من النباتات ذات الجذور الكثيفة والعميقة وذلك لقابليتها العالية على امتصاص كميات كبيرة من المياه.

قياس التبخر السطحي: *Measurement of Evaporation*

إن القياس أو التقدير الدقيق لحجم التبخر السطحي يعد من العمليات الصعبة جداً ويرجع السبب في ذلك إلى تشعب عمليات التبخر من أسطح المياه والترب والنباتات وكذلك لتعدد العوامل المؤثرة وتداخلها في سرعة التبخر. وبصورة عامة يمكن تقدير التبخر السطحي بطرق مباشرة وطرق غير مباشرة، وفيما يأتي توضيح لتلك الطرق:

1- الطرق المباشرة لقياس التبخر:

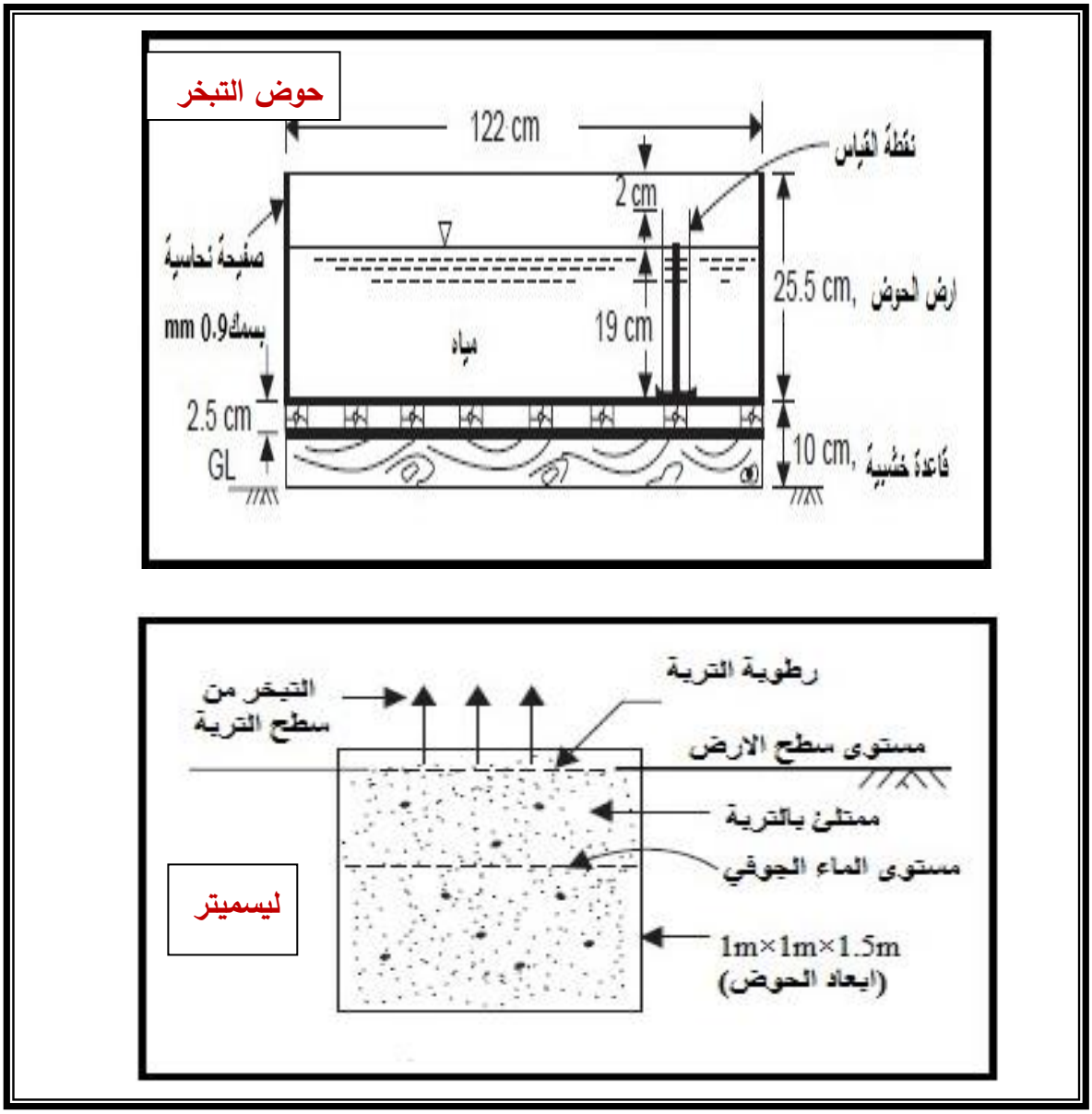
تتمثل هذه الطرق جميعها بأجهزة خاصة تسمى بمقاييس التبخر (*Evaporimeter*)، ومن أشهر الأجهزة المعتمدة في محطات الأنواء الجوية لقياس حجم التبخر من المسطحات المائية هي أحواض التبخر (*Evaporation Pans*)، أما حجم التبخر من رطوبة التربة فيمكن قياسه بجهاز خاص يسمى ليسميتر (*Lysimeter*) (شكل 7).

2- الطرق غير المباشرة لتقدير التبخر- النتح:

تتمثل هذه الطرق بالمعادلات التجريبية (*Equation*) أو الصيغ الرياضية (*Formulae*) والتي تتخذ من البيانات المناخية أساساً لتخمين أو تقدير حجم التبخر أو النتح.

إن الصيغة التي وضعها العالم جون دالتون (*John Dalton*) في عام 1802 والتي تعرف بقانون دالتون للتبخر (*Dalton's Law of Evaporation*) تعد القاعدة الأساس لصياغة العديد من المعادلات التي عالجت موضوع التبخر.

شكل 7 ابرز أحواض التبخر في العالم.



وهناك العديد من المعادلات المعتمدة في تقدير حجم التبخر- النتح غير أن أهم معادلات التبخر وأشهرها اثنتان هما:

أ- معادلة ماير (*Meyer's Equation*) في عام 1915 لتقدير حجم التبخر من المسطحات المائية، وتتمثل معادلة ماير بالصيغة الآتية[11]:

$$E = C\,(1+ V/16)\,(e_s - e_a)$$

إذ أن:

E = حجم التبخر (ملم/يوم).

C = معامل يتباين بين 0.36 في المسطحات المائية الكبيرة والعميقة، وبين 0.50 في المسطحات المائية الصغيرة والضحلة.

V = معدل سرعة الرياح (كم/ساعة).

e_s = الضغط البخاري المشبع لسطح المياه (ملم/زئبق).

e_a = الضغط البخاري الحقيقي للهواء (ملم/زئبق).

مثال:

احسب التبخر اليومي من بحيرة كبيرة الحجم؟ إذا علمت أن معدل سرعة الرياح بلغ 20 كم/ساعة، والضغط البخاري لسطح المياه بلغ 12 ملم/زئبق، في حين بلغ الضغط البخاري للهواء 6 ملم/زئبق.

الحل:

$$E = C\,(1+ V/16)\,(e_s - e_a)$$

$$E = 0.36\,(1+ 20/16)\,(12-6) = 0.36(2.25)(6)$$

$$E = 0.36 \times 13.5 = 4.86\ mm/day$$

ب- معادلة ثورنثويت (*Thornthwaite's Equation*) في عام 1964 لتقدير حجم التبخر- النتح ، وتتمثل معادلة ثورنثويت بالصيغة الآتية[12]:

$$PE_X = 16\left(\frac{10\,t}{J}\right)^a$$

$$J = \sum j$$

$$j = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

$$a = (6.75^{-6})J^3 - (7.1^{-5})J^2 + (0.179)J + 0.492$$

إذ أن:

PE_X = حجم التبخر/ النتح المحتمل (ملم/شهر)(مدة الشهر 30 يوماً ومدة الإشعاع الشمسي 12 ساعة).

t = المعدل الشهري لدرجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

J = دليل الحرارة السنوي ويتكون من مجموع 12 شهراً.

إن معادلة ثورنثويت على وفق تلك الصيغة يمكنها تخمين حجم التبخر/النتح المحتمل لكل شهر مع افتراض معدل عدد أيام الشهر 30 يوماً، ومعدل عدد ساعات الإشعاع الشمسي 12 ساعة. ولغرض احتساب حجم التبخر/ النتح الحقيقي يمكن اعتماد المعادلة الآتية:

$$PE = PE_X \frac{DT}{365}$$

إذ أن:

PE = حجم التبخر/النتح الحقيقي (ملم/شهر).

D = عدد أيام الشهر.

T = معدل عدد ساعات الإشعاع الشمسي في اليوم (ساعة/يوم).

لقد قام العالم سيرى (*Serra*) باختبار معادلة ثورنثويت واقترح حسابات مبسطة لاستخراج قيم (j) و(a) من خلال المعادلتين الآتيتين:

$$J = 0.09\ t^{3/2}$$

$$a = 0.016\ J + 0.5$$

مثال:

يمثل الجدول التالي المعدلات الشهرية لدرجة حرارة الهواء في مدينة بغداد. خمن حجم التبخر/النتح الحقيقي لشهر كانون الثاني فقط، بطريقة ثورنثويت؟ إذا علمت أن المعدل اليومي لعدد ساعات الإشعاع الشمسي تقترب من 9 ساعات.

الشهر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
الحرارة	10	12	17	22	28	33	35	34	30	24	16	11

الحل:

$$PE_X = 16\left(\frac{10\ t}{J}\right)^a$$

J = ∑j

J = 0.09 $t^{3/2}$

a = 0.016 J + 0.5

J = 123.47

الشهر	درجة الحرارة	J
1	10	2.85
2	12	3.74
3	17	6.31
4	22	9.29
5	28	13.33
6	33	17.06
7	35	18.64
8	34	17.84
9	30	14.79
10	24	10.58
11	16	5.76
12	11	3.28
المجموع		123.47

a = 0.016 × 123.47 + 0.5 = 1.98 +0.5 = 2.84

$PE_X = 16\left(\frac{10\times10}{123.47}\right)^{2.48}$ = $16(0.81)^{2.48}$ = 16 × 0.59 = 9.44

PE = $PE_X \frac{DT}{365}$ = 9.44 $\frac{31\times9}{365}$ = 9.44 × 0.76

= 7.17 mm/ month.

ثالثاً: التسرب: *Infiltration*

يقصد بالتسرب أو الارتشاح عملية توغل (*Penetration*) المياه من سطح الأرض إلى داخل التربة، إذ تتحرك المياه عمودياً في داخل القشرة الأرضية من خلال المسامات الموجودة بين ذرات الترب والصخور استجابة للجاذبية الأرضية التي تعمل على سحب المياه إلى الأسفل. يحدث التسرب بعدما يبتل سطح التربة بالمياه بصورة كاملة فتتحرك المياه الفائضة إلى طبقات التربة السفلى، إذ تتكون التربة الناضجة من طبقات عدة أسفنجية ذات قابلية عالية على استيعاب كميات كبيرة من المياه عبر المسامات التي تشكل ممرات مائية داخل التربة. إن معدلات تسرب المياه داخل التربة ليست ثابتة مع الزمن، إذ تبدأ عملية التسرب بشكل سريع وتنخفض السرعة مع الزمن ثم تتوقف عمليات التسرب عندما تتشبع طبقات التربة بالمياه وتتصل بالمياه الجوفية، ويطلق على أقصى معدل لنفاذ المياه وتوغلها في داخل التربة بمصطلح سعة التسرب (*Infiltration Capacity*). يقاس عمق تسرب المياه عادة بالسنتمتر خلال فترة زمنية محددة، وغالباً ما تكون عملية التسرب ذات سرعة بطيئة جداً غير أنها تعد المصدر الأساس لتغذية المياه الجوفية.

تدخل عملية التسرب ضمن مكونات الدورة الهيدرولوجية لكونها تعمل على رفع مستوى المياه الجوفية مما يؤثر في درجة الانحدار الهيدروليكي وحركة المياه الجوفية وعندما يكون مستوى المياه الجوفية أعلى من مستوى قاع المسطحات المائية في الأنهار والبحيرات والبحار فإنها تعمل على تغذيتها بالمياه جراء تدفق المياه الجوفية إليها. كما تعمل عمليات التسرب على رفع مستوى المياه الجوفية إلى مستوى سطح الأرض أو قريب منه مما يعرض المياه الجوفية إلى عمليات لتبخر السطحي. وكذلك قد يعمل التسرب على ارتفاع مستوى المياه الجوفية فوق مستوى سطح الأرض مما يؤدي إلى تدفق المياه الجوفية فوق سطح الأرض عن طريق الينابيع والعيون.

العوامل المؤثرة في التسرب: Factors Effecting Infiltration

هناك مجموعة من العوامل المتداخلة فيما بينها التي تؤثر على عملية التسرب من حيث حجم المياه المتسربة والفترة الزمنية التي تستغرقها عمليات التسرب المتواصلة ومدى المسافة التي تصلها المياه المتسربة في داخل أعماق التربة، ومن أبرز هذه العوامل ما يأتي:

1- خصائص التربة: Soil Characteristics

تتأثر عملية التسرب ويتحدد حجم المياه المتسربة بخصائص التربة، إذ يتحدد عدد المسامات وحجم الفراغات بشكل كبير بنسيج التربة (*Texture*) مما يؤثر على حجم المياه المتسربة في وحدة المساحة، إذ يزداد حجم المسامات والنفاذية والقدرة على تسرب المياه مع ازدياد خشونة حبيبات التربة (*Coarse Particles*). ولذلك تزداد عمليات التسرب في الترب الرملية بسبب نسيجها الخشن في حين تنخفض عمليات التسرب في الترب الطينية بسبب النسيج الناعم الذي يعمل على تفوق قوة التلاصق بين الجزيئات المائية (*Molecules*) وجزيئات التربة (*Particles*) على قوة الجاذبية الأرضية لسحب المياه إلى الأسفل. كما تتحدد عمليات التسرب بعمق التربة من خلال دوره في تحديد القدرة الإجمالية للتربة على استيعاب المياه وحدود درجة الإشباع، إذ تزداد قابلية التربة العميقة على استيعاب كميات كبيرة من المياه مقارنة بالترب الضحلة. إن زيادة المواد العضوية في التربة تعمل على انسداد المسامات مما يحد من نفاذية التربة وتسرب المياه في داخلها، كما أن زيادة تركيز عنصر الصوديوم (*Na*) في تركيب التربة يعمل على تنافر جزيئات التربة وتفتتها مما يزيد ويرفع من نسبة الذرات الناعمة ويقلل من حجم المسامات فتنخفض عمليات التسرب، في حين تعمل زيادة تركيز الكالسيوم (*Ca*) على زيادة عمليات تلبد (*Flocculation*) وتلاصق جزيئات التربة على شكل مجموعات مما يزيد من خشونة النسيج فتزداد عمليات التسرب.

2- رطوبة التربة: Soil Moisture

إن عملية تسرب المياه في داخل التربة تحدث عندما تفوق المياه حدود ترطيب الطبقة السطحية للتربة، إذ تتحرك المياه نحو الأسفل لترطيب الطبقات السفلى للتربة. وتتحدد

الحركة العمودية لعمليات تسرب المياه في طبقات التربة بحدود مستوى المياه الجوفية، وعندما يتجاوز مستوى ترطيب التربة حدود الإشباع التام في جميع طبقات قطاع التربة (*Soil Profile*) تتوقف عمليات التسرب بسبب امتلاء مسامات التربة جميعها بالمياه.

3- انحدار السطح: *Land Slope*

يتناسب حجم المياه المتسربة عكسياً مع درجة انحدار سطح الأرض، وذلك لدور الانحدار في خلق حالة من التوازن بين الجاذبية العمودي للمياه والجاذبية الأفقية، كما يؤثر الانحدار في سرعة التيار المائي إذ تزداد سرعة المياه الجارية مع ازدياد درجة الانحدار، مما يقلل من فرص تسرب المياه السطحية إلى داخل التربة. ولذلك تنخفض عمليات التسرب في المنحدرات وتزداد في المناطق المستوية.

4- نوعية المياه: *Water Quality*

تؤثر نوعية المياه في عمليات التسرب من خلال تأثيرها على نسيج التربة وتركيبها مما يؤثر على مسامات التربة ونفاذيتها. إذ تعمل زيادة عكورة المياه (*Turbidity*) على انخفاض عمليات التسرب بسبب الدور الذي تقوم به الحمولة الذائبة (*Dissolved Load*) والرواسب العالقة (*Suspend Sediments*) في انسداد مسامات التربة. كما أن ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في المياه ولاسيما عنصر الصوديوم يعمل على تفتيت جزيئات التربة مما يسهم في انخفاض حجم المسامات ومن ثم ينخفض حجم المياه المتسربة إلى داخل التربة.

5- كثافة الغطاء النباتي: *Vegetation*

تعمل النباتات على اعتراض المياه الجارية على سطح الأرض مما يؤدي إلى انخفاض سرعة التيار المائي وازدياد عمليات التسرب. إذ يمكن أن يعمل الغطاء النباتي الكثيف على زيادة حجم المياه المتسربة في داخل التربة بمقدار عشرة أضعاف مقارنة بحجم المياه المتسربة في مناطق مكشوفة على الرغم من تشابه خصائص الترب وطبيعة السطح ونوعية المياه.

مفهوم التربة Concept of Soil

ليس هناك من تعريف قياسي للتربة ولكن بصورة عامة يمكن **تعريف التربة** بشكل مبسط على انها طبقة هشة تغطي سطح القشرة الأرضية بأعماق متباينة بين بضعة مليمترات الى العديد من الامتار وفقاً لظروف البيئة المحلية، تكونت بشكل أساس من الفتات الصخري الناتج من عمليات التجوية المختلفة للصخور، والمواد العضوية الناتجة من إفرازات ومخلفات الكائنات الحية فضلاً عن تواجد الماء والهواء بين جزيئات الفتات الصخري، ويتألف مقطع التربة الناضجة من ثلاثة طبقات رئيسة تتباين في نسبة ما تحتويه من المواد المعدنية والعضوية والماء والهواء.

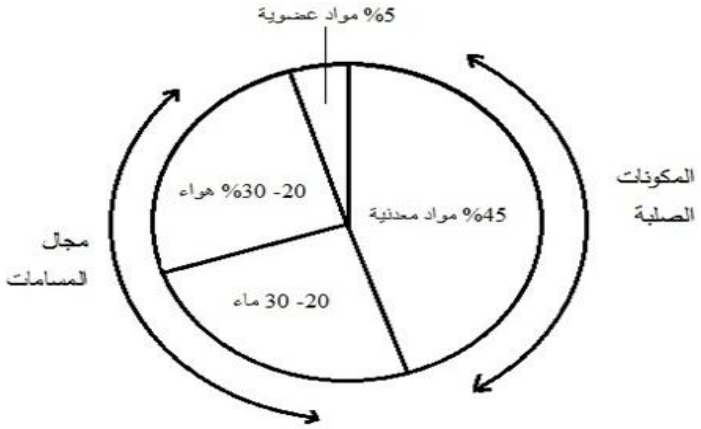
مكونات التربة: Soil Constituents

من خلال تعريف التربة يتضح اشترك الأغلفة الأربعة في تشكيل التربة حيث يزود الغلاف الصخري التربة بالمواد المعدنية المتواجدة في الفتات الصخري بينما يزود الغلاف البيولوجي التربة بالمواد العضوية المتواجدة في الكائنات الحية (النباتية والحيوانية) كما يزود الغلاف الجوي التربة بالهواء ويزود الغلاف المائي التربة بالمياه. كما يمكن أن ننضر إلى مكونات التربة من زاوية حالة المواد حيث تتكون التربة من مواد صلبة (المواد المعدنية والعضوية) ومواد سائلة (الماء) ومواد غازية (الهواء) وفيما يأتي بيان موجز لمكونات التربة:

1- **المواد المعدنية :**إن مصدر المواد المعدنية في التربة هو الغلاف الصخري، إذ أن الاجزاء المعدنية للتربة تشتق بشكل اساس من عمليات التجوية الفيزيائية والكيميائية للصخور الموجودة اسفل التربة والتي تسمى بالحجر الاساس أو الصخرة الام ، فضلاً عن ترسبات بعض المواد المعدنية المنقولة بفعل حركة الرياح او المياه، إن الصخور الام يمكن تصنيفها الى صخور نارية ورسوبية وصخور متحولة تشكل المواد المعدنية في الترب المثالية بحدود 45% من مكونات التربة المختلفة.

2- **المواد العضوية:** على الرغم من تعدد مصادر المواد العضوية في التربة الا ان المصدر الاساس لاشتقاق المواد العضوية في الترب هو فضلات النباتات من

اوراق وجذور واغصان، كما تسهم الحيوانات في تزويد التربة بالمواد العضوية. ولذلك فإن مصدر المواد العضوية في التربة هو الغلاف العضوي، وتشكل المواد العضوية بحدود 5% من مكونات التربة ويتركز وجودها في الطبقة العليا وتنخفض في طبقات التربة السفلى. وفي هذا الصدد ينبغي التمييز بين مصطلحين هما المادة العضوية والدبال فالمواد العضوية تشتمل جميع الاجزاء العضوية بمختلف مراحل تدهورها ، أما الدبال فهو عبارة عن مركب معقد ينشأ من تحلل المواد العضوية بفعل الاحياء المجهرية، ولذلك فالدبال يتمثل فقط في المرحلة الاخيرة من مراحل التدهور البيولوجي للمواد العضوية.



3- ماء التربة: يتواجد ماء التربة في المسامات الفاصلة بين دقائق مكونات التربة ويسمى أحياناً بمحلول التربة هناك مصدران رئيسان للمياه في التربة هما التساقط الجوي والمياه الجوفية يصل التساقط الجوي سطح التربة بأشكال متعددة غير ان الامطار والثلج تعدان الاشكال الرئيسة للتساقط، وتدخل جزيئات مياه التساقط الجوي الى داخل التربة من خلال عمليات التسرب (Inflteration)، تسهم المياه الجوفية بتغذية التربة بالمياه من خلال تحركها الجانبي والعمودي، يحتوي ماء التربة على الأملاح المذابة الضرورية لنمو النباتات، ويعد الوسط الذي يتم من خلاله نقل المواد الغذائية من التربة إلى النباتات. إن ماء التربة يؤثر ويتأثر بالخصائص النوعية للتربة الحاملة له، ويشكل نسبة تتباين ما بين 20- 30% من مكونات التربة المثالية.

3- **هواء التربة:** يتواجد هواء التربة في المسامات الغير ممتلئة بالمياه وإن مصدر الهواء في التربة هو الغلاف الجوي. يعد هواء التربة ضروري لجذور النباتات والكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة وتعتمد عليه في عملية التنفس وكذلك فان ما يحتويه الهواء من غازات يلعب دوراً مهماً في عملية التجوية وتحلل المواد العضوية، ويشكل ماء التربة نسبة تتباين ما بين 20 -30% من مكونات التربة المثالية.

أهمية التربة: Importance of Soil

تعد التربة من الموارد الطبيعية المهمة للإنسان كونها البيئة الحاضنة لجميع النباتات البرية ومصدر غذاءها، مما جعلها المقوم الأساس للنشاط الزراعي الذي يعد اهم الحرف التي يزاولها السكان، ولذلك فان التربة تؤثر بصورة غير مباشرة في التوزيع الجغرافي للسكان من خلال ارتباطهم في النشاط الزراعي ولاسيما أن التربة هي المادة الأولية المعتمدة في صناعة اغلب المواد الإنشائية التي تستخدم في المباني السكنية. كما تحتوي الترب على العديد من الموارد المعدنية، مما جعلها تكتسب أهمية في النشاط الصناعي. كذلك للتربة تأثير مباشر في الموارد المائية من خلال حجم التسرب الداخلي، فالترب ذات النسيج الخشن تكون مسامياتها كبيرة مما يزيد من حجم المياه المتسربة في أعماق التربة ولذلك يزداد حجم تغذية المياه الجوفية في حين يقل حجم المياه السطحية وبخلاف ذلك في الترب الناعمة إذ يزداد حجم الجريان السطحي وتقل تغذية المياه الجوفية بفعل انخفاض حجم التسرب الداخلي. فضلاً عن ذلك فان التربة تسهم في التأثير على توزيع أنواع النبات الطبيعي وبعض الحيوانات.

عوامل تكوين التربة Factors of Soil Constituents

بالرغم من تعدد العوامل المؤثرة في تكوين التربة وتداخلها مع بعضها إلا إن هناك عوامل رئيسة تؤثر بشكل كبير في تكوين التربة وتحديد خصائصها النوعية، ومن أبرزها ما يأتي:

1- نوع الصخور: Type of the Rocks

تعد الصخور المادة الأولية لتكوين التربة فالفتات الصخري الذي يتكون بفعل عمليات التجوية للصخور الآم يشكل الجزء الأساسي لمكونات التربة وبمقدار 45%، كما تتحدد الخصائص النوعية للترب وفقاً للمعادن المكونة للصخور فإذا كانت الخصائص النوعية للتربة مشابهه للخصائص النوعية للصخور المستقرة فوقها تسمى بالترب المحلية أما إذا اختلفت فتسمى بالترب المنقولة إما بفعل المجاري المائية أو الرياح أو الثلاجات.

2- الظروف المناخية: Climatic Conditions

يعد المناخ من أنشط العوامل المؤثرة في تكوين التربة لكون تأثيره يستمر في جميع مراحل تكوين التربة. يؤثر المناخ بصورة مباشرة في تكوين التربة من خلال عنصري الحرارة والتساقط، وبصورة غير مباشرة عن طريق تأثيره على الغطاء النباتي. يؤثر المناخ في عمليات التجوية حيث تنشط التجوية الكيميائية في المناطق الرطبة الحارة، وتعمل الأمطار على نقل المواد المعدنية والعضوية من الطبقة السطحية للتربة إلى الطبقات السفلى، كما تعمل درجات الحرارة على زيادة عمليات التبخر- النتح من التربة مما يعمل على انتقال المياه والأملاح المذابة من الطبقات السفلى إلى سطح التربة مما يعمل على اختلاط وامتزاج مكونات التربة.

3- الطبوغرافية: Topography

تؤثر الطبوغرافية على تكوين التربة بصورة مباشرة من خلال عامل الانحدار إذ توجد علاقة طردية بين انحدار السطح وسرعة التيار المائي مما يؤثر على كمية المياه المتسربة ودرجة جفاف التربة وكثافة الغطاء النباتي والمواد العضوية.

كما تمتاز الترب في المناطق المنحدرة بضحالتها وقلة الأعماق بسبب نشاط عمليات التعرية المائية واستمرار إزالة الطبقة السطحية للتربة مما يعرقل تطور قطاع التربة ولذلك تبقى الترب في المناطق الشديدة الانحدار دائماً في مرحلة الشباب ولا تصل إلى مرحلة النضج مهما طال الزمن. وللطبوغرافيا تأثير غير مباشر على عمليات تكوين التربة من خلال تأثير عامل الارتفاع على المناخ إذ يؤدي ارتفاع السطح إلى انخفاض درجات الحرارة وزيادة كمية تساقط الأمطار.

4- الكائنات الحية: Organisms

تقسم الكائنات الحية في التربة إلى نباتات وحيوانات وتضم الحيوانات أحياء مجهرية كالبكتيريا والفطريات والطحالب وأحياء غير مجهرية كدودة الأرض والحشرات، تعد الكائنات الحية المصنع الذي ينتج التربة فهي العامل الأساس في تحويل الفتات الصخري من مواد أولية إلى ترب حقيقة. إذ يلعب النبات الطبيعي دور في تجهيز التربة بالمواد العضوية التي تعد من المكونات الأساسية للتربة من خلال تفاعلها مع المواد المعدنية للتربة أو بعد تحللها، كما تعد النباتات غذائياً ضرورياً للكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة. أما الكائنات الحية فتعمل على خلط ومزج حبيبات التربة بصورة عمودية مما يساعد على تجانس مكونات التربة وخصائصها النوعية، فضلاً عن دورها في تزويد التربة بالمواد العضوية من خلال تحلل أجسادها. وتعد البكتريا النباتية من أهم أنواع الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في التربة بإعداد كبيرة جداً تتباين بين 1- 4 مليون في كل غرام من التربة.

5- الإنسان: Man

يؤدي الإنسان دوراً مهماً في تغير خصائص التربة من خلال استثمار الأراضي في الزراعة إذ تسهم عمليات الحراثة في تغير بنية التربة وتزيد نفاذيتها، كما يعل الإنسان على زيادة خصوبة التربة بإضافة الأسمدة والمخصب الكيميائية، كما يعمل على غسل التربة وأقامت مشاريع البزل مما يخلص التربة من الأملاح والمياه الزائدة، فضلاً عن ذلك يسهم النشاط الزراعي في رفع نسبة المواد العضوية في التربة. وبالمقابل قد يعمل النشاط الزراعي الغير مدروس على إجهاد التربة واستنزاف مواردها وتدهور خصوبتها وزيادة ملوحتها لاسيما في المناطق الجافة وشبه الجافة.

6- الزمن: Time

من الناحية الواقعية لا يوجد تأثير مباشر للزمن على عمليات تكوين التربة وإنما يبرز دوره بالسماح للعوامل الأخرى أن تؤدي دورها في تكوين التربة. وذلك لكون عمليات تكوين التربة بطيئة جداً كما أن خصائص التربة تتغير باستمرار نتيجة لتغير شدة تأثير العوامل المكونة لها. يتباين تأثير الزمن في تكوين التربة تبعاً لتباين نوع الصخور التي

اشتقت منها فالصخور الصلبة تحتاج إلى فترة أطول من الصخور الهشة، كما أن التباين بين خصائص آفاق التربة تزداد مع طول الفترة الزمنية.

خصائص التربة: Soil Characteristics

تتباين خصائص الترب مكانياً تبعاً لتباين العوامل المؤثرة في تكوينها. وتقسم خصائص التربة الى قسمين رئيسين هما الخصائص الفيزيائية والكيميائية، وفيما يأتي بيان لتلك الخصائص.

أولاً: الخصائص الفيزيائية: Physical Properties

1- نسيج التربة: Soil Texture

يعرف نسيج التربة على انه التوزيع النسبي لذرات التربة التي لا يزيد حجمها عن 2 ملم وتصنيفها حسب أحجامها من رمل وغرين وطين، ويتم ذلك بواسطة مناخل (Sieves) ذات فراغات متباينة الأحجام، إذ تتباين أحجام ذرات التربة بين 2 ملم في حبيبات الرمال الخشنة إلى اقل من 0.0002 ملم في حبيبات الطين الناعمة (جدول 1) فان زادت عن 2 ملم أصبحت حصى أو جلاميد في حين تتحول الحبيبات إلى محلول إن قلت أحجامها عن 0.0002 ملم. لنسيج التربة تأثير مباشر على مرور الهواء وحركة الماء وتوغل جذور النباتات فيها. يندر وجود تربة تتكون من حجم واحد من الذرات وإنما تتكون في الغالب من ذرات مختلفة الأحجام، ويحدد نسيج التربة من خلال نسبة الذرات السائدة في تركيب التربة. ويمكن تقسيم التربة من حيث النسيج إلى **ثلاثة مجاميع رئيسة هي:**

أ- التربة الرملية (Sand Soil): تعد التربة رملية إذا كانت تحوي على أكثر من 70% من وزنها ذرات رمل. إن الترب الرملية ذات نسيج خشن لذا تمتاز بكونها خفيفة وهشة وذراتها كبيرة الحجم وواسعة المسامات وذات نفاذية مرتفعة مما يقلل من قدرتها على الاحتفاظ بالماء ويزيد من احتمالية تعرضها للجفاف.

ب- الترب الطينية (Clay Soil): تعد التربة طينية إذا كانت تحوي على 35% من وزنها ذرات طين. إن الترب الطينية ذات نسيج ناعم لذا تمتاز بكونها ثقيلة ومتماسكة وذراتها ناعمة ومساماتها صغيرة وذات نفاذية واطئة ولها قدرة عالية على الاحتفاظ بالماء.

ج- الترب الغرينية (Silt Soil) أو المزيجية (Loam Soil): يتساوى فيها تأثير دقائق الرمل والطين حيث تمتاز بنسيج معتدل يحتوي على عدد مناسب من المسامات التي تحتفظ بنسب معتدلة من الماء والهواء.

جدول أحجام الفتاة الصخري لذرات التربة.

أنواع الفتاة الصخري	حجم الرواسب (ملم)	مواصفات الأحجام
الرمل	0.5 > - 2	رمل خشن
	0.25 > -0.5	رمل متوسط
	0.0625 > -0.25	رمل ناعم
الغرين	0.0313 > -0.0625	غرين خشن
	0.01563 > - 0.0313	غرين متوسط
	0.0039 > -0.01563	غرين ناعم
الطين	0.0020 > -0.0039	طين خشن
	0.0010 > -0.0020	طين متوسط
	0.0002 > - 0.0010	طين ناعم
المحلول Solution	0.0002 >	مواد ذائبة

إن عملية تحديد نسيج التربة يتم من خلال التطبيق على مثلث نسجة التربة وفقاً **للخطوات الأتية:**

1- تحديد نسب مكونات التربة من طين وغرين ورمل من خلال خطوتين هما:

أ- استخدام مناخل متباينة الاحجام لفرز اوزان مكونات التربة الثلاث.

ب- تقسيم وزن كل مكون من المكونات الثلاث على الوزن الكلي لنموذج التربة، وضربة في مئة (الجزء/ الكل × 100).

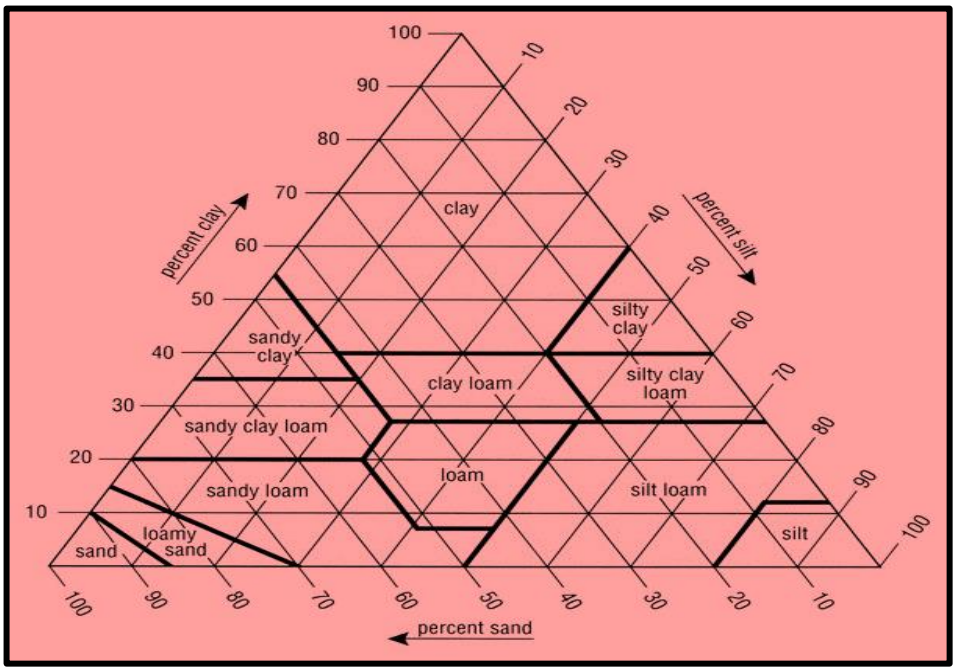
2- تأشير نسبة الطين على ضلع الطين في المثلث ونسبة الغرين على مضلع الغرين وهكذا لنسبة الرمل.

3- ترسم ثلاث خطوط مستقيمة تبدأ من المؤشرات المحددة في الفقرة رقم 2.

4- إن الاتجاه الصحيح لرسم الخط المستقيم يجب أن يكون موازياً لاحد أضلاع المثلث، وإن الضلع الصحيح يجب أن يكون ترقيمه تنازلياً مع اتجاه رسم الخط المستقيم الموازي له. لذلك فان الخط المستقيم الذي يبدأ من ضلع الغرين يجب أن يوازي ضلع الطين، في حين المستقيم الذي يبدأ من ضلع الرمل يوازي ضلع الغرين، أما المستقيم الذي يبدأ من ضلع الطين يوازي ضلع الرمل.

5- إن النقطة التي تلتقي فيها المستقيمات الثلاث تمثل نوع نسيج التربة.

شكل 2 مثلث نسيج التربة.



2- بناء التربة: Soil structure

يقصد ببناء التربة النظام أو الشكل الذي تتجمع فيه ذرات التربة ليس بصورة منفردة بل متجمعة مع بعضها البعض على شكل مجموعات صغيرة بواسطة المواد العضوية

مسببة استقراراً للصفات الفيزيائية والكيميائية للتربة ومسيطرة على حركة الماء خلالها فتحتفظ التربة بالرطوبة في الفراغات المتواجدة بين حبيباتها كما تؤثر على درجة حرارة وتهوية التربة وتوفر البيئة الملائمة لمعيشة وتواجد الكائنات الحية في التربة.

3- مسامية التربة: Soil Porosity

يقصد بمسامية التربة حجم الفراغات المتواجدة في الترب، وغالباً ما يعبر عنها بالنسبة المئوية لحجم الفراغات من الحجم الكلي للوسط المسامي من الترب، وللمسامية تأثير مباشر بنفاذية المياه، غير أن المسامات ليس جميعها تسمح بنفاذ المياه خلالها ولذلك ينبغي التمييز بين نوعين من المسامات وهما المسامية الكلية والمسامية الفاعلة. كما تؤثر المسامية على الخاصية الشعرية التي تعني انتقال المياه من اسفل التربة إلى الأعلى حيث يزداد نشاط الخاصية الشعرية عندما يقل حجم ذرات التربة وذلك لكون المسامات الدقيقة تجعل المياه المتواجدة بين ذرات التربة صغيره جدا لذلك تكون خفيفة الوزن مما يسهل عليها الالتصاق بذرات التربة والتسلق نحو الأعلى في ظل زيادة فرق الضغط في سطح التربة. وفيما **يأتي بيان لا نواع مسامية التربة:**

أ- المسامية الكلية: Total Porosity

يقصد بالمسامية الكلية نسبة حجم الفراغات جميعها إلى الحجم الكلي للتربة، وفي الغالب تتباين قيم المسامية الكلية بين 1- 55% من حجم الوسط المسامي، ويرجع السبب في تباين المسامية إلى تباين حجم الحبيبات (Grain Size) إذ تنخفض المسامية الكلية في الترب الحصوية بمقدار يتباين بين 28- 34% (جدول 2) لتمثل أدنى الأوساط المسامية في نسبة المسامية الكلية بسبب ازدياد حجم حبيبات الحصى، في حين ترتفع المسامية الكلية في الترب الطينية إلى 55% لتمثل أعلى الأوساط المسامية في نسبة المسامية الكلية بسبب انخفاض حجم حبيبات الطين، مما يعطي مؤشراً قوياً على وجود علاقة عكسية بين حجم الحبيبات والمسامية الكلية. على الرغم من ارتباط نفاذية المياه بالمسامية الكلية غير أن بعض المسامات تكون دقيقة إذ لا تسمح بحركة جزيئات الماء خلالها بفعل قوة الشد السطحي التي تعمل على التصاق جزيئات الماء بسطوح حبيبات

الترب، كما أن الفراغات قد تكون غير متصلة مع بعضها مما يمنع حركة المياه وانتقالها داخل الفراغات لكونها مغلقة بالمكونات الصلبة للتربة.

جدول 2 المسامية الكلية والفاعلة في الوسط المسامي.

مواد الوسط المسامي	حجم الحبيبات (ملم)	المسامية الكلية (%)	المسامية الفاعلة (%)
حصى خشن	64 -16	28	22
حصى متوسط	16 -8	32	23
حصى ناعم	8 -2	34	25
رمل خشن	2 -0.5	39	27
رمل متوسط	0.5 -0.25	39	26
رمل ناعم	0.25 -0.162	43	21
غرين	0.162 -0.004	46	18
طين	0.004 >	55	2

المصادر:

[1] (Fetter, 2001)

ب- المسامية الفاعلة: Effective Porosity

يقصد بالمسامية الفاعلة نسبة الفراغات التي يمكن أن تتحرك فيها المياه إلى الحجم الكلي للتربة، لذلك فهي تمثل الفراغات المتواجدة بشكل متصل ضمن الترب وذات حيز مساحي لا يسمح لقوة الشد السطحي لجزيئات المياه بالارتباط بالحبيبات الصلبة للتربة. وعليه فإن نسبة المسامية الفاعلة دائماً تكون أقل من نسبة المسامية الكلية، إذ تنخفض نسبة المسامية الفاعلة في الترب الطينية إلى 2% من الحجم الكلي للترب لتمثل أدنى الأوساط المسامية في نسبة المسامية الفاعلة على الرغم من ارتفاع نسبة المسامية الكلية إلى 55% من الحجم الكلي للترب (جدول 2)، ويرجع السبب في ذلك إلى الانخفاض الكبير في حجم حبيبات الترب الطينية إلى أقل من 0.004 ملم، لذلك ينخفض حجم المسامات المتواجدة بين الحبيبات الطينية مما يقلل من عدد الفراغات التي يمكن أن تتحرك فيها المياه. في حين

ترتفع المسامية الفاعلة إلى 27% من الحجم الكلي للترب التي تسود فيها الرمال الخشنة لتمثل بذلك أعلى الأوساط المسامية في نسبة المسامية الفاعلة على الرغم من انخفاض نسبة المسامية الكلية إلى 39% من الحجم الكلي للترب، ويرجع السبب في ذلك إلى اعتدال حجم حبيبات الرمال الخشنة وبمقدار 0.5- 2 ملم، لذلك تزداد قابلية المياه على النفوذ والتحرك في الترب الرمال. إن انخفاض المسامية الفاعلة في الترب الطينية وتزايدها في الرملية يعطي مؤشراً على وجود علاقة طردية لحد معين بين حجم الحبيبات والمسامية الفاعلة.

2- النفاذية: Permeability

النفاذية هي مقياس كمي للتعبير عن مدى سرعة انتقال المياه خلال مسامات الترب والصخور بفعل الجاذبية الأرضية والانحدار الهيدرولويكي (ميل مستوى المياه الجوفية)، ولذلك يطلق على معامل النفاذية بالتوصيلية الهيدرولوليكية والتي تعني قدرة الوسط المسامي على نقل المياه. إن قيم النفاذية تتباين في الوسط المسامي إذ تزداد قيم النفاذية من 0.03 سم/ساعة في الترب الطينية إلى 11.78 سم/ساعة في الترب الرملية (جدول 3).

جدول 3 سرعة نفاذية المياه في مسامات الترب.

نسيج التربة	سرعة النفاذية (سم/ساعة)
رملية	11.78
مزيجية رملية	2.99
رملية مزيجية	1.09
غرينية مزيجية	0.65
مزيجية	0.34
رملية طينية مزيجية	0.15
طينية مزيجية	0.10
غرينية طينية مزيجية	0.10
رملية طينية	0.06
غرينية طينية	0.05
طينية	0.03

(Julien, 2002: 434)

العوامل المؤثرة في النفاذية: Factors Effecting Permeability

أ- حجم الحبيبات ب- تجانس الحبيبات ج- العمق د- المواد العضوية والدبال

4- لون التربة: Soil Coluor

يعد لون التربة من ابرز الخصائص الفيزيائية في التمييز بين أنواع الترب على سطح الأرض وذلك لأهمية لون التربة في بيان عمليات تكوين التربة وما تحتويه من مكونات معدنية وعضوية. يتأثر لون التربة بنسيج التربة ولون الصخرة الأساس ونسبة المواد العضوية ونوع المركبات المعدنية والتحولات الكيميائية. ويمكن تقسيم التربة من حيث اللون إلى **ثلاث أنواع رئيسة** وينتج من مزجها مع بعضها تدرج في الألوان وهي:

أ- الترب الحمراء: تكتسب الترب الحمراء لونها من تركيز نسبة عالية من اكاسيد الحديد فيها.

ب- الترب السوداء: تستمد الترب السوداء لونها في الغالب من وجود نسبة عالية من المواد العضوية فيها.

ج- الترب البيضاء: يرجع سبب اللون لابيض في الترب إلى فقرها بالمواد العضوية وتركيز المواد الكلسية فيها وأحياناً بسبب تركيز أملاح الصوديوم.

5- سمك التربة: Soil Depth

تتكون التربة بفعل عمليات التجوية للفتات الصخري بتأثير العوامل المناخية والبيولوجية، وتزال التربة بفعل عمليات التعرية للفتاة الصخري بتأثير عامل الانحدار والمياه الجارية أو الرياح. لذلك فان نمو التربة وزيادة سمكها يحدده مقدار الفرق بين نشاط عمليات التكوين (البناء) وعمليات الإزالة (الهدم)، فإذا كان معدل عمليات بناء التربة أكثر من معدل عمليات الهدم ازداد السمك إما إذا تفوقت عمليات هدم التربة عندها يبدأ السمك بالتناقص. وبشكل عام يزداد سمك التربة في المناطق المستوية ويقل السمك في المناطق المنحدرة. تزداد المواد الغذائية اللازمة لنمو النبات بزيادة سمك التربة، كما تستطيع جذور النبات إن تتوغل أكثر في الترب العميقة، إما الترب الضحلة فتعتبر فقيرة بالمواد الغذائية.

6- قطاع التربة: Soil profile

ويسمى بأفاق أو مقد التربة (Soil Horizons) أيضاً ويقصد به المقطع العمودي للتربة الذي يمتد من سطح الأرض إلى الصخر الأم، ويمكن من خلاله التعرف على التباينات التي تحدث في مكونات التربة لتظهر على شكل طبقات (Layers). تتكون طبقات التربة بسبب التباين العمودي لتأثير عوامل تكوين التربة مما يؤدي إلى إعطاء كل طبقة خصائص تميزها عن الطبقات الأخرى. ويتكون المقطع البسيط للتربة الناضجة من ثلاثة طبقات رئيسة هي (شكل 3):

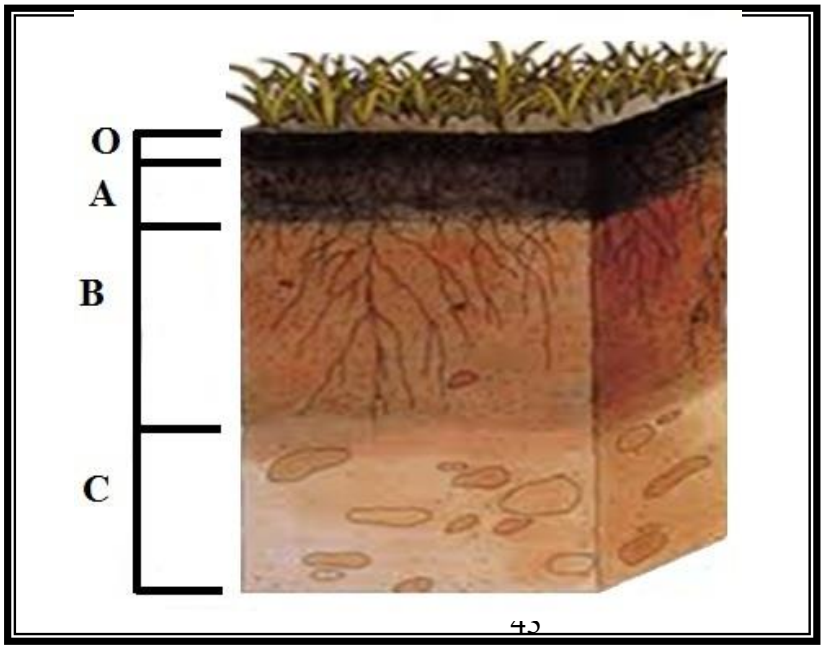
أ- الطبقة (A) هي الطبقة العليا للتربة الغنية بالمواد العضوية المتحللة والمختلطة بالمواد المعدنية وتحوي الأحياء المجهرية، يصل عمقها إلى 60 سم.

ب- الطبقة (B) وتقع أسفل الطبقة (A) وتسمى بالطبقة الوسطى وتتواجد على عمق 60-90 سم وتتجمع فيها المواد المغسولة من الطبقة العليا.

ج- الطبقة (C) وتقع أسفل الطبقة (B) وتستقر على الصخر الأساس، وهي عبارة عن مواد صخرية مفتتة لم تتأثر بالعمليات البيولوجية.

ه- وفي ترب الغابات او التي تمتاز بكثافة الغطاء النباتي تتكون فوق الطبقة (A) طبقة استثنائية رفيعة السمك تسمى بالطبقة (O) وتتكون بشكل أساس من المواد العضوية بسبب التساقط السنوي لأوراق الأشجار الميتة.

شكل 3 قطاع التربة



ثانياً: الخصائص الكيميائية: Chemical Properties

1- التركيب الكيميائي للتربة: Chemical compesition of the soil

تحوي القشرة الارضية على اكثر من 2000 مركباً وعنصراً كيميائياً، غير أن حوالي 8 عناصر فقط تمثل اكثر من 98% من الوزن الاجمالي للقشرة الارضية (جدول 5)، أما العناصر والمركبات البقية فهي ذات وجود نادر ومحدود فعلى الرغم من تعدد أنواعها الا أنها تمثل اقل من 2% فقط من وزن القشرة الارضية. ويرجع السبب في ذلك الى تباين مقدار تراكيز تلك العناصر في مكونات الصخور المكونه للترب والقشرة الارضية، ويرجع السبب في ذلك الى ارتفاع تركيز تلك العناصر في القشرة الارضية، فعلى سبيل المثال يبلغ تركيز السيليكات بحدود 303.5 الف ملغم/لتر في حين ينخفض تركيز البورون الى 0.0003 ملغم/لتر.

على الرغم من إشتقاق المكونات المعدنية للتربة من صخور القشرة الارضية الا أن هناك اختلافاً نسبياً بين تركيبهما الكيميائي، ويرجع السبب في ذلك الى تأثير بقية مكونات التربة في تغيير نسبة تركيز تلك العناصر والمركبات الكيميائية، إذ يسهم العامل البيولوجي في زيادة مستوى الكاربون والنيتروجين في التربة ، كما يسهم ماء التربة في زيادة تركيز الاوكسجين والهيدروجين مقارنة بصخور القشرة الارضية. وإن زيادة تركيز اي من العناصر الكيميائية في التربة يكون على حساب تركيز عناصر اخرى، لذلك تشهد التربة انخفاضاً في نسب العديد من العناصر كالالمنيوم والحديد والكالسيوم والبوتاسيوم مقارنة بنسبها في صخور القشرة الارضية.

يعد عنصري الاوكسجين والسليكون من اكثر العناصر الكيميائية تركزاً في الصخور القشرة الارضية والتربة، إذ يشكلان بحدود 74.8% من الوزن الاجمالي للقشرة الارضية في حين يرتفع مستوى تركزهم في التربة ليمثلان 82% من الوزن الاجمالي للتربة.

جدول 5 تراكيز العناصر(ملغم/لتر) وأوزانها في الطبقة العليا للقشرة الارضية.

العنصر	الرمز	التركيز	الوزن
الاوكسجين (Oxygen)	O	–	47.2
السيليكات (Silicate)	Si	303480	28.8
الالمنيوم (Aluminium)	Al	77440	7.96
الحديد (Iron)	Fe	30890	4.32
الكالسيوم (Calcium)	Ca	29450	3.85
الصوديوم (Sodium)	Na	25670	2.36
المغنيسيوم (Magnesium)	Mg	13510	2.20
البوتاسيوم (Potassium)	K	28650	1.68
التيتانيوم (Titanium)	Ti	3117	0.86
الهيدروجين (Hydrogen)	H	–	0.14
الكاربون (Carbon)	CO_3	3240	0.11
الفسفور (Phosphorus)	P	665	0.101
المنغنيز (Manganese)	Mn	527	0.100
الكبريت (Sulfur)	SO_4	953	0.030
كلور (Chlorine)	Cl	640	0.019
النيتروجين (Nitrogen)	N	83	0.001
الخارصين (Zinc)	Zn	52	0.0082
النيكل (Nickel)	Ni	18.6	0.0072
النحاس (Copper)	Cu	14.3	0.0058
الكوبالت (Cobalt)	Co	11.6	0.0028
البورون (Boron)	B	0.0003	0.0007
الرصاص (Lead)	Pb	17	0.0001
يورانيوم (Uranium)	U	2.5	0.00016
الفضة (Silver)	Ag	0.055	0.000008
الزئبق (Mercury)	Hg	0.056	0.000002

[1] (Wedepohl, 1995: 219- 220)
[2] (Morgan etal., 1993: 369)

2- التركيب الكيميائي لمحلول التربة:

Chemical compestion of soil solution

إن التركيب الكيميائي لمحلول لتربة يضم العديد من الأيونات والمعادن والمواد العضوية وغير العضوية، غير أن علاقة خصوبة التربة بالخصائص الكيميائية تعتمد

بصورة رئيسة على مقدار تركيز ثمانية أيونات في محلول التربة لذلك تسمى بالعناصر الرئيسة (Major Elements) فضلاً عن أهمية تركيز المغذيات (Nutrients) في تحديد خصوبة التربة. تقسم العناصر الرئيسة إلى أيونات موجبة (Cations) وتشمل الكالسيوم Ca والصوديوم Na والمغنيسيوم Mg والبوتاسيوم K، وأيونات سالبة (Anions) وتشمل الكلوريدات Cl والكبريتات SO_4 والكاربونات CO_3 أو البيكاربونات HCO_3 والنترات NO_3. أما المغذيات فتشتمل على النيتروجين N والفسفور P كما يدخل البوتاسيوم أيضاً ضمن المغذيات. أن المجموع الكلي لهذه الايونات يحدد مقدار الأملاح الذائبة الكلية (TDS) في محلول التربة.

إن التركيب الكيميائي لمحلول التربة يؤثر بشكل كبير على خصوبة التربة وقابليتها الإنتاجية كما يؤثر على خصائص التربة الفيزيائية، إذ أن الترب المشبعة بعنصر الكالسيوم تكون ذات تركيب حبيبي جيد يساعد على حركة الماء في التربة ونفوذه في مقدها مما يلاءم نمو النباتات حيث يعمل الكالسيوم على زيادة عمليات تلاصق واندماج ذرات التربة على شكل مجاميع مما يزيد من حجم الذرات وتسمى هذه العملية بالتلبد (Flocculation). إما الترب ذات المحتوى العالي من الصوديوم فان هذا سوف يؤدي إلى تكوين تركيب رديء للتربة بحيث تكون دقائق هذا التركيب مشتته ومتفرقة مما قد يؤدي إلى تكوين طبقات صلدة غير نفاذة للماء حيث يعمل الصوديوم على تنافر جزيئات ذرات التربة وتفتتها مما يزيد من نسبة الذرات الناعمة ويمنع تجمع ذرات التربة بشكل مجاميع وتسمى هذه العملية بالتفكك (Dissociate). كما يؤثر التركيب الكيميائي للتربة على نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة، فقلة الكالسيوم وزيادة تركيز ايون الهيدروجين في محلول التربة يقلل من تواجد بعض أنواع البكتريا المحددة لخصوبة التربة ونمو النباتات.

غالباً ما يعبر عن تركيز الاملاح الذائبة الكلية في محلول التربة بالتوصيل الكهربائي (Electrical conductivity) (EC) بوحدة (ديسي سيمنز/متر) عندة درجة حرارة 25 درجة مئوية، لغرض التعبير عن مدى تأثر الترب بالملوحة وتصنيفها، ويمكن قياس التوصيل الكهربائي للمحلول بواسطة جهاز التوصيل الكهربائي Electric conductivity Meter). وتصنف التربة بدلالة التوصيلية الكهربائية وفقاً لمعيار

الولايات المتحدة الأمريكية الى اربعة أصناف، فالتربة التي تكون فيها قيمة التوصيلية الكهربائية اقل من 4 ديسيسيمنز/متر تصنف ضمن الصنف 0 وتعد هذه الترب خالية من الاملاح وتأثيرها على النباتات تكون غير محسوسة، في حين تصنف الترب ضمن الصنف 3 عندما تتجاوز قيمة التوصيلية الكهربائية حدود 15 ديسيسيمنز/متر وتعد هذه الترب بشكل عام غير صالحة للنباتات غير أن النباتات ذات التحمل الكبير للملوحة يمكن أن تنمو في هذا الصنف من الترب (جدول **6**).

كما يعتمد في تصنيف الترب أيضاً وفقاً لمستوى ملوحتها على نسبة الصوديوم المتبادل (Exchangeable sodium percentage) (ESP) من السعة الاجمالية للتبادل الكاتيوني (الايونات الموجبة) في التربة، غير أن عملية احتساب نسبة الصوديوم المتبادل تتطلب المزيد من الوقت والجهد والمال، لذلك يلجأ الى احتساب نسبة أدمصاص الصوديوم (Sodium adsorption ratio) (SAR)، والتي تعني النسبة المئوية لمقدار الصوديوم المدمص في التربة، وذلك لسهولة عملية احتساب نسبة الصوديوم المدمص، كما أنها تساوي تقريباً نسبة الصوديوم المتبادل، ويتم حساب نسبة ادمصاص الصوديوم بالاعتماد على تركيز الايونات الموجبة الرئيسة (الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم) وغالباً ما يهمل

جدول 6

صنيف ملوحة التربة بدلالة التوصيلية الكهربائية (EC) وفقاً لمعيار الولايات المتحدة الأمريكية.

صنف التربة	المواصفات	EC (ds/m)	تاثيرها على النباتات
0	خالية من الأملاح salt free	0- 4	يكاد لايذكر أي تأثير.
1	قليلة الملوحة slightly saline	4- 8	إنتاج النباتات يكون محدود.
2	معتدلة الملوحة moderately saline	8- 15	تسمح لنمو النباتات التي تتحمل الملوحة فقط.
3	عالية الملوحة strongly saline	15 فاكثر	يمكن أن تسمح لنمو النباتات ذات التحمل الكبير للملوحة.

المصدر:

(FAO & UNESCO, 1973: 75)

ايون البوتاسيوم لقلة تركيزه في محلول التربة، لذلك تحسب نسبة إدمصاص الصوديوم بأستخدام المعادلة الاتية:

$$SAR = Na/\sqrt{(Ca + Mg)/2}$$

إذ أن
SAR= نسبة إدمصاص الصوديوم
Na= تركيز الصوديوم (ملي مكافئ/لتر)
Ca= تركيز الكالسيوم (ملي مكافئ/لتر)
Mg= تركيز المغنيسيوم (ملي مكافئ/لتر)
مثال:

يوضح الجدول الأتي نتائج التحليلات المختبرية لبعض الأيونات (ملغم/لتر) لنموذج من محلول التربة في العراق. كما يحوي الجدول على الوزن المكافئ لتلك للأيونات التي تم تحليلها. المطلوب إحتساب نسبة إدمصاص الصوديوم؟

الايونات	معدل التركيز (ملغم/لتر)	الوزن المكافئ
صوديوم Na	1517.34	22.99
كالسيوم Ca	601.2	20.04
مغنيسيوم Mg	340.48	12.16

الحل:
1- تحويل وحدة قياس الأيونات من (ملغم/لتر) إلى (ملي مكافئ/لتر) من خلال المعادلة الاتية:

$$Meq/l = \frac{mg/l}{Ew}$$

إذ أن:
Meq/l = ملي مكافئ/لتر
Mg/l = ملغم/لتر
Ew = الوزن المكافئ

$$Na\ (meq/l) = \frac{1517.34(mg/l)}{22.99} = 66$$

$$Ca\ (meq/l) = \frac{601.20(mg/l)}{20.04} = 30$$

$$Mg\ (meq/l) = \frac{340.48(mg/l)}{12.16} = 28$$

2- بعد تحويل وحدات قياس الايونات الى مليمكافئ/لتر يمكن تطبيق معادلة إدمصاص الصوديوم.

$$SAR = 66/\sqrt{\frac{30+28}{2}}$$

$$SAR = 12.26$$

إن التركيب الكيميائي للتربة يؤثر ويتأثر بالأس الهيدروجيني (pH) مما يحدد نوع التربة وذلك لدوره الأساس في تحديد قابلية التربة على استقرار وتبدل الايونات الموجودة في محلول التربة جراء عمليات التفاعل بين الايونات الموجبة والسالبة، كما تؤثرة قيمة الأس الهيدروجيني في مقدار تيسر العناصر الغذائية في محلول التربة للنباتات مما يؤثر على درجة خصوبة التربة. على الرغم من تباين قيمة الأس الهيدروجيني بين 1- 14 في المحاليل غير أن المدى الشائع في محلول الترب يتباين بين 4- 10، في حين تفضل اغلب النباتات النمو في الترب التي تتباين فيها قيمة الأس الهيدروجيني بين 5.5- 7.5 (Foth,1990: 170-179)، ويمكن تقسيم التربة **إلى ثلاثة أنواع اعتماداً على قيمة الأس الهيدروجيني:**

1- الترب القلوية: وهي الترب التي يزداد فيها محتوى كاربونات الصوديوم وتكون درجة تفاعل التربة مرتفعة جداً حيث يرتفع الأس الهيدروجيني إلى أكثر من 7.

2- الترب الحامضية: وهي الترب التي يزداد فيها تركيز ايون الهيدروجين والالمنيوم وتكون قيمة الأس الهيدروجيني قل من 7.

3- الترب المتعادلة: وهي الترب التي يرتفع فيها تركيز الكالسيوم، ويقترب فيها الأس الهيدروجيني من الرقم 7.

خصوبة التربة: Soil Fertility

على الرغم من تعدد أهمية التربة في مجال الموارد الطبيعية إلا أن الجغرافيين يعطون اهتماماً كبيراً لأهمية التربة في مجال النشاط الزراعي، ويمكن إرجاع السبب في ذلك إلى الدور الكبير للتربة في النشاط الزراعي وما لذلك من علاقة في حياة السكان واستيطانهم وأنشطتهم الاقتصادية وغيرها من المجالات التي تهتم بها الدراسات الجغرافية المختلفة. إن

مدى ملائمة التربة للنشاط الزراعي يحددها ما يطلق علية بخصوبة التربة. يمكن تعريف خصوبة التربة على أنها مقدار ما تحويه التربة من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات وبتراكيب يسهل على الجذور امتصاصها، وأن العناصر الغذائية تتحدد بشكل رئيس بمقدار تركيز الأملاح والمعادن والمواد العضوية في محلول التربة، أما سهولة امتصاص المواد الغذائية من جذور النباتات فيتحدد بشكل رئيس بنسيج التربة وتركيبها وعمقها فضلاً عن نوعية الأملاح السائدة في محلول التربة. ولذلك فان خصوبة التربة تتأثر بخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية.

يمكن أن تفقد التربة خصوبتها مع استمرار الاستغلال الزراعي المتواصل وذلك بسبب استهلاك النباتات للعناصر الغذائية أو بسبب دور مياه الري الزراعي في إذابة المواد الغذائية ونفاذها في أعماق التربة أو بسبب تراكم الأملاح على سطح التربة. كما يمكن رفع درجة خصوبة التربة من خلال العمل على تحسين خصائص التربة بواسطة إضافة الأسمدة والمخصبات الكيميائية والعضوية إلى التربة أو من خلال الحراثة ومشاريع البزل.

ومن الأمور الواجب التأكيد عليها في هذا الصدد إن قابلية التربة على الإنتاج الزراعي لا تتوقف على درجة خصوبة التربة وحدها وإنما هناك مجموعة عوامل تؤثر في الإنتاج الزراعي ابرزها الظروف المناخية ونوعية مياه الري كما أن في العقود الأخيرة أصبحت درجة تقنية الوسائل والأساليب المعتمدة في النشاط الزراعي تعد من الأساسيات المعتمدة في تحديد حجم الإنتاج الزراعي. ولذلك إذا تباينت الظروف الطبيعية والبشرية فان حجم الإنتاج الزراعي في وحدة المساحة المزروعة وهو ما يطلق علية بمصطلح الغلة ليس معياراً حقيقياً لدرجة خصوبة التربة وإنما تكون الغلة مقياساً لدرجة خصوبة التربة في المناطق ذات الظروف المتشابهة.

تصنيف التربة:Soil Classification

تعد ظروف البيئة المحلية العامل المهيمن في درجة تطور الترب واستقرارها مما ينعكس على الخصائص العامة للترب، وبما أن الظروف البيئية تتباين مكانياً لذلك شهدت خصائص الترب تباينات مكانية واضحة مما أدى إلى ظهور مجموعات من الترب إذ تسود كل مجموعة في مساحة محددة من سطح الأرض.

إن عملية تصنيف التربة تقوم على أساس حصر الترب المتشابهة في الخصائص الطبيعية العامة ضمن مجموعة واحدة، غير أن تصنيف الترب يعد من العمليات المعقدة وذلك بسبب تباين عمليات تكوين التربة وتعددها وتداخل العوامل المؤثرة في خصائص التربة. لذلك ظهرت تصانيف عديدة للترب تتناسب مع العلوم التي تدرسها، ويرى الكثير من الجغرافيين أن تصنيف عالم الجيومورفولجيا الروسي دوكوجيف (Dokuchave) للترب يتناسب مع المنهج الجغرافي ويخدم أغراضه لكون هذا التصنيف يؤكد على العلاقة بين خصائص التربة والعوامل المؤثرة فيها ومراحل تكوينها. لقد قام عالم التربة الأمريكي ماربت (Marbut) بتطوير هذا التصنيف وقسم الترب إلى ثلاثة مجاميع رئيسه هي:

1- الترب النطاقية (Zonal Soils): وهي ترب مكتملة النمو (ناضجة) تتمثل في مقطعها طبقات تختلف عن بعضها في الخصائص، وهي ترب مستقرة بسبب الفترة الزمنية الطويلة التي استغرقتها عمليات التكوين وهي تتأثر بشكل أساس بالظروف المناخية والعمليات البيولوجية ولذلك يتفق توزيعها المكاني مع حدود الأقاليم المناخية والنباتية في العالم، إن هذه الترب تشغل مساحة واسعة لتحتل اغلب مساحة الإقليم أو المنطقة (Zone) لذلك سميت بالترب النطاقية.

2- الترب المتداخلة (Intrazonal Soils): وهي ترب ناضجة أيضاً غير أن ظروف البيئة المحلية كدرجة انحدار السطح ونوع الصخور الأصلية وطبيعة تصريف المياه فضلاً عن الظروف المناخية قد أكسبتها خصائص ميزتها عن الترب النطاقية، إن هذه المجموعة من الترب متواجدة ضمن إقليم الترب النطاقية لذلك سميت بالترب المتداخلة.

3- الترب اللأنطاقية (Azonal Soils): وهي ترب في مرحلة النمو وقد تكون غير ناضجة لعدم إكتمال مراحل تكوينها، ويرجع ذلك لأحد الأسباب الآتية أو جميعها:

أ- قصر الفترة الزمنية لعمليات تكوين التربة.

ب- استمرار عمليات تكوين التربة بسبب الإضافة المستمرة للفتات الصخري أو المواد العضوية.

ج- نشاط عمليات التعرية وإزالة الفتات الصخري من التربة بسبب الانحدار الشديد للسطح أو قوة التعرية المائية والريحية.

إن هذه المجموعة من الترب لا يتحدد تواجدها بنوع محدد من الأقاليم المناخية أو النباتية وإنما تتواجد في جهات عديدة من العالم وذات ظروف مناخية ونباتية متباينة ولذلك سميت بالترب اللأنطاقية.

التوزيع الجغرافي للترب النطاقية في العالم:

Distribution of zonal soils

إن تباين الظروف المناخية وأنواع النبات الطبيعي وكثافته هي المعيار المعتمد في تحديد الخصائص العامة للترب النطاقية وحصرها في مجموعات محددة. إذ يمكن تقسيم الترب النطاقية إلى **أربعة مجموعات رئيسة** وهي:

1- ترب التندرا
2- ترب الغابات
3- ترب الحشائش
4- ترب الصحاري.

مشكلات الترب: Soils Problems

إن جسم التربة في تغير مستمر (dynamic) بسبب استمرار تأثير نشاط عوامل تكوين التربة ومن أبرز المشكلات التي تتعرض لها الترب هي:

أولاً- تعرية التربة: Soil Erosion

تعرية التربة هي ظاهرة طبيعية فيزيائية تعمل على نأكل التربة وتسهم في تشكيل مظاهر سطح الأرض وتحدث تعرية التربة بتوافر ثلاث خطوات هي انفصال (Detachment) وإزالة جزيئات التربة تتبعها عمليات نقل لهذه الجزيئات ومن ثم ترسيبها، وتستمد التعرية طاقتها من الأمطار المتساقطة والمياه الجارية والرياح. إذ تعمل المياه الجارية والرياح على إزالة المواد المفتتة من التربة لاسيما من افاقها العليا مما يؤدي إلى انخفاض تركيز المواد المعدنية والعضوية اللازمة لنمو النبات كما تسهم التعرية في خشونة نسيج التربة وانخفاض أعماقها. تقسم التعرية إلى قسمين رئيسين هما:

أ- التعرية الريحية: Wind Erosion

تحدث التعرية الريحية عندما تعمل قوة الرياح على انفصال جزيئات التربة وحملها ونقلها إلى أماكن أخرى ومن ثم ترسيبها، وتحدث هذه التعرية بثلاث طرق هي التدحرج والتعلق والزحف السطحي. وغالباً ما تحدث التعرية الريحية في الأقاليم الجافة وشبه الجافة **وذلك لتوفر جملة من الظروف أهمها ما يأتي:**

1- انخفاض كمية الأمطار المتساقطة.

2- انخفاض كثافة النبات الطبيعي.

3- ارتفاع درجات الحرارة اليومية.

4- جفاف التربة وتفكك أجزائها.

5- انبساط سطح الأرض.

6- رياح عالية السرعة.

ب- التعرية المائية: Water Erosion

تحدث التعرية المائية بشكل أساس من خلال عمل قوة قطرات الأمطار المتساقطة والمياه الجارية على تناثر جزيئات التربة ونقلها إلى أماكن أخرى، كما تعمل التيارات المائية والأمواج على نحت ضفاف الأنهار والبحيرات وسواحل البحار والمحيطات، إن التعرية المائية تحدث في المناطق التي تتوفر فيها الظروف الآتية:

1- ارتفاع كثافة الأمطار المتساقطة.

2- ارتفاع سرع التيارات المائية الجارية.

3- ازدياد شدة انحدار سطح الأرض.

4- انخفاض كثافة النبات الطبيعي.

ثانياً: ملوحة التربة: Soil Salinity

إن ملوحة التربة تعني ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في محلول التربة أو تراكم الأملاح على سطح التربة بالمقدار الذي يؤدي إلى انخفاض خصوبة التربة أو يجعلها غير صالحة للإنتاج الزراعي. وتعد الملوحة من اخطر مشكلات الترب في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، وذلك لما للأملاح ولاسيما كلوريد الصوديوم من آثار سلبية كبيرة

على التربة والنبات. حيث يعمل الصوديوم على تفتيت جزيئات التربة وتباعدها مما يجعل تركيب التربة غير جيد، كما تعمل الأملاح على تقليل حجم المسامات مما يقلل من درجة نفاذية التربة، فضلاً عن ذلك تسهم زيادة تركيز الصوديوم في محلول التربة في تقليل جاهزة العناصر الغذائية للنبات وخاصة عنصر الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم من خلال انخفاض معدلات تركيزها في محلول التربة أو من خلال المساهمة في إعاقة امتصاصها من قبل النبات، فضلاً عن دور الصوديوم في انخفاض محتوى التربة من الأوكسجين. ولملوحة التربة آثار سلبية على الانشطة الحيوية للنبات مما يؤثر على مظهر النبات وكمية إنتاجه ونوعيته.

إن ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في التربة يرجع لجملة أسباب أبرزها ما يأتي:

1- التجوية الطبيعية: تعد تجوية المواد المعدنية المكونة للصخور المصدر الأساس لجميع الأملاح الذائبة في التربة، إذ أن ارتفاع تركيز الأملاح أو احد الأيونات في التركيب الكيميائي للصخور ينعكس في زيادة ملوحة التربة وسيادة بعض الأيونات في التركيب الكيميائي للتربة.

2- ارتفاع ملوحة المياه الجوفية ومستواها: إن ارتفاع تركيز الأملاح في المياه الجوفية يسهم في تملح التربة من خلال عمليتي التبخر والخاصية الشعرية مما يؤدي إلى تراكم الأملاح على سطح التربة، غير أن تأثير المياه الجوفية لا يتوقف على نوعية المياه فحسب وإنما مستوى المياه وعمقها يحدد شدة التأثير إذ تزداد مساهمة المياه الجوفية في تملح التربة بارتفاع مستواها واقترابها من سطح التربة في حين ينعدم تأثيرها في تملح التربة حينما يزاد عمقها عن متر تقريباً.

3- نوعية مياه الري وكميتها: تعمل مياه الري على تزويد الأراضي المروية بالأملاح لاسيما في الترب ذات النفاذية المنخفضة والظروف المناخية الجافة، وكلما ازدادت ملوحة مياه الري وكميتها ازداد دورها في تراكم الأملاح على سطح التربة، ولذلك فان جهل الفلاح بالمقننات المائية للمحاصيل الزراعية وطرائق الري التقليدية التي تعمل على غمر الأراضي المزروعة بالمياه يسهم في زيادة ملوحة التربة في ظل غياب مشاريع البزل.

رابعاً: الجريان السطحي:Surface Runoff

يقصد بالجريان السطحي عملية تحرك وانتقال مياه الأمطار المتساقطة أو الثلوج الذائبة على شكل طبقات فوق سطح الأرض في قنوات صغيرة نسبياً (الجداول والأنهار) وتنحدر على وفق انحدار السطح استجابة لتأثير الجاذبية الأرضية.

إن الجريان السطحي يمثل النتيجة النهائية لعمليات التبادل المائي بين مكونات الدورة الهيدرولوجية من تساقط وتبخر وتسرب، إذ توجد علاقة معقدة للتبادل المائي بين عمليات التساقط الجوي وعمليات التبخر السطحي والتسرب الداخلي، فعندما يفوق حجم المياه المتساقطة حجم المياه المتبخرة تحدث عملية التسرب الداخلي، وكذلك هي الحال عندما يفوق حجم التساقط الجوي حجم المياه المتسربة تحدث عملية التبخر السطحي. ويمثل الجريان السطحي الزيادة المائية لحجم التساقط الجوي على فواقد التبخر والتسرب. إن حجم مياه الجريان السطحي يقاس من خلال تحديد حجم المياه الجارية في الوحدة الزمنية وغالباً ما تستخدم وحدة القياس ($م^3$/ثانية) لتمثل ($كم^3$/سنة) ويقدر الحجم الإجمالي لمياه الجريان السطحي في قارات العالم جميعها بحدود 37.77 ألف $كم^3$/ سنة (جدول 12).

طرق جريان المياه: Methods of Runoff

تحدث عمليات جريان مياه التساقط الجوي في القنوات والمجاري النهرية بأربع طرق رئيسة هي ما يأتي:

1- تساقط قطرات المطر وبلورات الثلج مباشرة على القنوات والمجاري النهرية، وعلى الرغم من محدودية سعة الأنهار مقارنة بالمساحة الإجمالية للأحواض المائية إلا أن التساقط المباشر للأمطار يسهم في زيادة حجم الجريان المائي في القنوات والمجاري النهرية.

2- يحدث الجريان المائي عندما يفوق حجم مياه الأمطار المتساقطة أو الثلوج الذائبة حدود تشبع التربة، ويحدث ذلك عادة عندما تزداد مدة التساقط المطري. كما يحدث الجريان المائي عندما تزداد الشدة المطرية على معدلات التسرب في طبقات التربة، وربما تكون مياه الأمطار المتساقطة والثلوج الذائبة ذات انحدار هيدروليكي كبير بفعل غزارة المياه أو بفعل شدة انحدار السطح مما يعمل على زيادة سرعة تيار المياه الجارية بمقدار يفوق سرعة

عمليات التسرب مما يؤدي إلى جريان المياه على سطح الأرض قبل أن تبلغ رطوبة التربة حدود التشبع، ويحدث ذلك عادة في الحالات التي تكون فيها الأمطار المتساقطة ذات شدة عالية. يسمى جريان المياه في تلك الطرق بالجريان السطحي (*Overland or Surface Runoff*).

3- قد يحدث جريان للمياه تحت سطح الأرض ليسمى بالجريان الداخلي (*Interflow*) أو الجريان التحت سطحي (*Subsurface Runoff*). يحدث ذلك عندما تكون معدلات التسرب في الطبقات السفلى للتربة (*Subsoil*) أقل من معدلات التسرب في الطبقات العليا (*Topsoil*)، وبعد تشبع الطبقة العليا بالمياه تبدأ حركة للمياه ضمن نطاق التربة (الطبقة غير المشبعة) وقد تصل إلى القنوات والمجاري النهرية.

4- كما يمكن أن يحدث جريان للمياه عندما تقل الشدة المطرية عن معدلات التسرب في التربة لذلك تتسرب مياه الأمطار إلى داخل طبقات التربة، وبعد تشبعها بالمياه تعمل الزيادة المطرية على تغذية المياه الجوفية وارتفاع مناسيبها، بعد ذلك تبدأ حركة للمياه ضمن نطاق المياه الجوفية (الطبقة المشبعة) لتصل إلى القنوات والمجاري النهرية. يسمى هذا النوع من الجريان المائي بالجريان القاعدي أو الأساس (*Base Flow*).

إن المياه في الجريان السطحي والجريان الداخلي (فضلاً على التساقط المباشر للأمطار على المجاري النهرية) يتدفق إلى القنوات والمجاري النهرية بسرعة تفوق سرعة تدفق الجريان القاعدي لذلك يطلق عليه بالجريان المباشر (*Direct Runoff*) أو جريان العاصفة (*Storm Flow*) في حين يسمى الجريان القاعدي بالجريان الطويل الأجل (*Prolonged*).

خصائص الجريان السطحي: *Characteristics of Runoff*

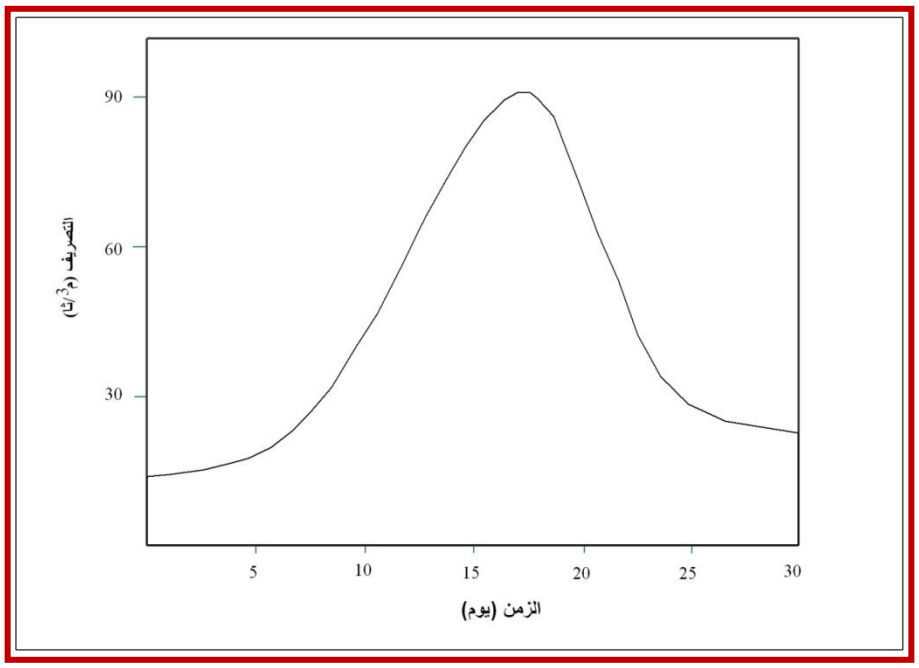
إن المعدلات اليومية والشهرية والفصلية والسنوية لحجم مياه الجريان السطحي ومناسيب المياه في الغالب تظهر تباينات كبيرة جراء تباين مصادر التغذية المائية وحجمها، وتكتسب عمليات تحديد معدلات حجم مياه الجريان السطحي أهمية كبيرة في الدراسات الهيدرولوجية لكونها تحدد أوقات الفيضان والجفاف مما يمكن المختصين من خزن مياه الفيضان واستثمارها في أوقات الجفاف والحد من الآثار البيئية السلبية لتباين حجم المياه. إن عملية

تحديد التباين في حجم مياه الجريان السطحي تحصل من خلال رسم مخطط لمعدلات التدفق المائي، ويعرف هذا المخطط باسم الهيدروغراف (*Hydrograph*) وهو عبارة عن منحنى (*Curve*) يظهر التباين في حجم مياه الجريان السطحي ومناسيبها خلال مدة زمنية محددة (شكل 8). ويمكن تقسيم الجريان السطحي على وفق تباين مصادر التغذية المائية وحجم المياه وسرعة التيار المائي ومدة الجريان إلى صنفين رئيسين هما ما يأتي:

1- جريان العاصفة: *Storm Flow*

يقصد بجريان العاصفة تدفق المياه على سطح الأرض مباشرة بعد تساقط الأمطار وذوبان الثلوج. ويمتاز جريان العاصفة بضخامة حجم المياه وسرعة التيار العالية وتباين حجم المياه ومناسيبها ومدة التدفق المحدودة، إذ تتدفق المياه بشكل مفاجئ بعد تساقط الأمطار وذوبان الثلوج مما يولد تياراً مائياً كبيراً يجري بسرعة عالية ثم ينخفض حجم تدفق المياه وقد ينتهي بعد توقف عمليات التساقط والذوبان، ولذلك يعتمد حجم مياه جريان العاصفة ومدته على حجم مياه الأمطار المتساقطة والثلوج الذائبة ومدة التساقط والذوبان.

شكل 8 الهيدروغراف.



2- الجريان القاعدي: Base Flow

يقصد بالجريان القاعدي تدفق المياه الجوفية في المجاري المائية المتواجدة على سطح الأرض. ويمتاز الجريان القاعدي ببطء سرعة التيار والثبات النسبي لحجم المياه المتدفقة واستمرار مدة التدفق على طول السنة المائية تقريباً. يعتمد حجم مياه الجريان القاعدي على درجة الانحدار الهيدروليكي للمياه الجوفية وحجم المياه في الخزين الجوفي وسرعة حركة المياه الجوفية والتي تتأثر بشكل كبير بحجم التساقط الجوي ونظامه.

العوامل المؤثرة في الجريان السطحي: Factors Effecting Runoff

1- كمية التساقط الجوي ونظامه: Rainfall

يعد التساقط الجوي بأشكاله كلها المصدر الرئيس للجريان السطحي ولذلك تزداد المياه الجارية وتغذية المجاري المائية بزيادة كمية الأمطار المتساقطة، وتمثل مياه الجريان السطحي نسبة تتباين بين 50- 95% من حجم التساقط الجوي على الأحواض المائية. كما أن لنظام التساقط الجوي وشكله علاقة بحجم مياه الجريان السطحي فقد يكون التساقط على شكل أمطار غزيرة تسبب الفيضانات وقد تكون الأمطار موسمية أو دائمية مما يؤثر على مدة التغذية المائية والجريان السطحي أو يكون التساقط الجوي على شكل ثلوج تذوب تدريجياً أو فجائياً مما يؤدي إلى حدوث اتزان في الجريان المائي أو جرياناً سريعاً يسبب الفيضانات.

2- التبخر السطحي: Evaporation

إن مقدار تغذية الأمطار المتساقطة للمجاري المائية يتأثر بشكل كبير بعمليات التبخر السطحي التي تؤدي إلى انخفاض القيمة الفعلية للأمطار، فلا يمكن أن يحدث الجريان السطحي والتغذية المائية إذا كانت كمية التبخر السطحي تفوق كمية الأمطار المتساقطة، ولذلك فغالباً ما تستمر مدة الجريان السطحي في الأقاليم الرطبة طول العام بسبب زيادة كمية الأمطار المتساقطة على كمية التبخر السطحي في مواسم السنة جميعها، في حين تقتصر مدة الجريان على أوقات تساقط الأمطار في الأقاليم الجافة بسبب زيادة كمية المجموع السنوي للتبخر السطحي على المجموع السنوي للأمطار المتساقطة.

3- نفاذية التربة: Soil Permeability

لنفاذية التربة علاقة عكسية بحجم مياه الجريان السطحي مما يؤثر على مقدار التغذية المائية للمجاري المائية، وذلك بسبب تأثير النفاذية على عمليات التسرب المائي. ولذلك يقل الجريان السطحي في الترب الرملية والحصوية بسبب النفاذية العالية مما يزيد من كميات المياه المفقودة بعمليات التسرب في حين يزيد الجريان السطحي في المناطق ذات الترب الطينية بسبب النفاذية المنخفضة وانخفاض كميات المفقودة بعمليات التسرب.

4- النبات الطبيعي: Vegetation

تتمثل علاقة النبات الطبيعي بمياه الجريان السطحي بجانبين متناقضين إذ يعمل النبات على اعتراض المياه السطحية الجارية مما يقلل من سرعة التيارات المائية ويزيد من كمية المياه المتسربة إلى داخل القشرة الأرضية مما يسهم في انخفاض حجم مياه الجريان السطحي ويقلل من حجم تغذيتها المائية، وبالمقابل يعمل النبات الطبيعي كمظلات تحمي المياه السطحية من الأشعة الشمسية المباشرة مما يسهم في انخفاض كمية المياه المتبخرة. يتحدد مدى تأثير النبات الطبيعي في المياه السطحية بنوع النباتات وكثافتها إذ ينخفض التأثير عند الانتقال من الأشجار في الغابات إلى حشائش السفانا ثم الأستبس في حين يتلاشى التأثير أو يكون ضئيلاً جداً في النباتات الصغيرة المتفرقة كما في المناطق الصحراوية.

5- حوض التصريف: Drainage Basin

إن مساحة الحوض تحدد كمية الجريان السطحي والتغذية المائية فالأحواض الكبيرة تستوعب كميات كبيرة من الأمطار المتساقطة لذلك يزداد حجم مياه الجريان السطحي مقارنة بالأحواض الصغيرة. كما يؤثر شكل الحوض في سرعة وصل المياه السطحية الجارية إلى منطقة المصب فالشكل الدائري يساعد على تجمع مياه الأمطار وصرفها في أوقات متقاربة في حين يكون تصريف المياه متعاقباً في الشكل المستطيل ولذلك يكون تركيز مياه الأنهار في الأحواض الدائرية الشكل كبير مقارنة بالأحواض الطولية.

6- الأنشطة البشرية: Human Activities

للإنسان تأثير كبير على مياه الجريان السطحي من خلال استخدامها في الأنشطة المختلفة (الزراعية والصناعية والمنزلية والشرب) مما يؤثر على كمية المياه ونوعيتها، كما يعمل الإنسان على حجز المياه وتنظيم عمليات جريانها في المجاري المائية من خلال إنشاء السدود والخزانات.

تقدير حجم الجريان السطحي: Measurements of Runoff

هناك العديد من الطرق التي يمكن من خلالها تقدير أو تخمين معدل أو حجم الجريان السطحي في الأحواض المائية، غير أن أبسط الطرق المعتمدة في تخمين الجريان السطحي اثنتان وكلتاهما تعتمدان العناصر المناخية ولاسيما الأمطار والحرارة وهما ما يأتي:

1- يمكن تخمين حجم الجريان السطحي بدلالة حجم الأمطار المتساقطة على الحوض المائي من خلال العلاقة الآتية:

$$R = KP$$

إذ أن:

R = معدل حجم الجريان (ملم/م^2).

K = معامل يتباين بين 0.5 – 0.95 ومعدله (0.725).

P = حجم التساقط الجوي (ملم/سنة).

ولاستخراج الحجم الإجمالي للجريان السطحي في عموم الحوض يمكن اعتماد العلاقة الآتية:

$$Q = R \times A \times 1000$$

إذ أن:

Q = أجمالي حجم الجريان السطحي (كم^3/سنة).

R = معدل حجم الجريان (ملم/م^2).

A = مساحة الحوض (كم^2).

مثال:

حوض مائي مساحته 8000 كم^2 تسقط عليه أمطار بمعدل سنوي مقداره 200 ملم. جد حجم الجريان السطحي في عموم الحوض؟

الحل:

R = KP

= 0.725 × 200 = 145 mm/ m^2

Q = R × A × 1000

= 145 × 8000 × 1000

= 1.16 km^3/year.

2- يمكن تخمين حجم الجريان السطحي بدلالة متغيرين هما حجم الأمطار المتساقطة على الحوض المائي ومعدل درجة الحرارة من خلال العلاقة الآتية:

$$R = P - \frac{T}{3.74}$$

إذ أن:

R = معدل حجم الجريان (ملم/م^2).

P = حجم التساقط الجوي (ملم/سنة).

T = معدل درجة الحرارة (درجة مئوية).

مثال:

حوض مائي مساحته 8000 كم^2 تسقط عليه أمطار بمعدل سنوي مقداره 200 ملم ومعدل درجة الحرارة في عموم الحوض بمقدار 30 درجة مئوية. جد حجم الجريان السطحي في عموم الحوض؟

الحل:

$$R = P - \frac{T}{3.74}$$

$$= 200 - \frac{30}{3.74} = 200 - 8.02 = 191.98 \text{ mm/ year.}$$

Q = R × A × 1000

= 191.98 × 8000 × 1000

= 1.536 km^3/year.

خامساً: الموازنة المائية: *Water Budget*

يقصد بالموازنة المائية عملية احتساب مقدار التغير في المخزون المائي لمنطقة محددة المساحة على سطح الأرض من خلال المقارنة بين حجم المياه الداخلة للمنطقة (*Input*) والخارجة منها (*Output*)، بعد تجزئة مكونات الدورة الهيدرولوجية واحتساب حجم المياه في المكونات جميعها. يفترض أن يتساوى حجم المياه الداخلة مع حجم المياه الخارجة في الأنظمة الهيدرولوجية المغلقة كالنظام الهيدرولوجي للكرة الأرضية والأنظمة الهيدرولوجية لكل قارة فضلاً عن النظام الهيدرولوجي لإجمالي المحيطات في العالم.

إن الموازنة المائية يمكن أن تتضمن مكونات الدورة الهيدرولوجية كلها وتشتمل الأقاليم الطبيعية جميعها في الكرة الأرضية (القارات والمحيطات) لتسمى بالموازنة المائية العالمية ،ويمكن اقتصار الموازنة المائية على أحد الأقاليم الجغرافية الطبيعية والبشرية كالقارات والمحيطات والدول والمحافظات والمقاطعات. كما يمكن تطبيق الموازنة المائية على الأحواض النهرية والخزانات الجوفية، وكذلك يمكن اقتصار الموازنة المائية على بعض مكونات الدورة الهيدرولوجية كالموازنة المائية المناخية التي تقتصر على عنصري التساقط الجوي والتبخر السطحي، فضلاً عن إمكانية تطبيق فكرة الموازنة المائية لتحديد الفرق بين حجم المياه المتاحة (*Water Availability*) في الأقاليم الجغرافية وبين حجم الاحتياجات المائية للاستخدامات البشرية المختلفة (الزراعية والصناعية والمنزلية والشرب).

أما الفترة الزمنية للموازنة المائية فيمكن تطبيقها على مدة زمنية قصيرة جداً كاليوم والشهر والموسم والسنة، ويمكن أن تمثل الموازنة المائية فترات زمنية طويلة تمتد إلى عشرات السنين من خلال اعتماد المعدلات العامة لعناصر الدورة الهيدرولوجية.

تكتسب الموازنة المائية أهمية كبيرة في الدراسات الهيدرولوجية وذلك لكونها تقدم البيانات اللازمة لمشاريع إدارة الموارد المائية وصيانتها من حالات الفيضان والتلوث،

كما تحدد الموازنة المائية حجم المياه المتاحة للاستهلاك البشري ويعتمد عليها في مشاريع تجهيز المياه وإمدادها للسكان.

إن عملية تطبيق الموازنة المائية صعبة ومعقدة وذلك بسبب ارتباطها بمكونات الدورة الهيدرولوجية جميعها إذ تتكون عناصر الموازنة المائية من عمليات التساقط الجوي والتسرب الداخلي والتبخر والجريان السطحي والتي غالباً ما يصعب قياس حجم المياه في جميع عناصرها بشكل دقيق. غير أن معرفة حجم التساقط الجوي على مساحة محددة من سطح الأرض وحساب حجم التبخر السطحي والتسرب الداخلي وتخمين التغير في المخزون المائي فمن المحتمل حساب حجم الجريان السطحي المتوقع لتكتمل عملية احتساب الموازنة المائية.

معادلة الموازنة المائية: *The Water Budget Equation*

إن عملية تطبيق الموازنة المائية في الأقاليم الجغرافية تحصل من خلال تطبيق المعادلات الرياضية، ويختلف عدد عناصر أو أطراف تلك المعادلات على وفق نوع الموازنة المائية المراد تطبيقها، غير أن المعادلة العامة للموازنة المائية تشتمل على العناصر الآتية:

$$P \pm E \pm \Delta S \pm Q = 0$$

إذ أن

P = حجم التساقط الجوي.

E = حجم التبخر السطحي.

ΔS = حجم التغير في المخزون المائي.

Q = حجم الجريان السطحي.

إن التساقط الجوي (P) يعد نقطة الشروع في تطبيق الموازنة المائية في أغلب الدراسات الهيدرولوجية، وذلك لكون التساقط الجوي يمثل المصدر الرئيس لحجم المياه الداخلة (*Input*) إلى الأحواض المائية، ويمثل التبخر السطحي (E) أبرز مكونات

المياه الخارجة (*Output*) من الحوض المائي وذلك بسبب ضخامة مياه التبخر السطحي. إن مقدار الفرق بين حجم التساقط الجوي وحجم التبخر السطحي يحدد حجم التغير في المخزون المائي (ΔS) والذي يمثل حجم المياه المخزونة في الكتل الجليدية والثلوج وكذلك يمثل حجم المياه المتسربة لتغذية المياه الجوفية. إن زيادة التساقط الجوي على حجم التبخر السطحي في الحوض المائي يعمل على زيادة المخزون المائي مما يؤدي إلى جريان المياه الفائضة من التساقط الجوي على سطح الحوض المائي ليتشكل الجريان السطحي (Q) إذ يتمثل الجريان السطحي بحسب المعادلة الآتية:

$$Q = P - (E + \Delta S)$$

1- الموازنة المائية في القارات:

تتضمن الموازنة المائية في القارات ثلاثة عناصر رئيسة وهي كل من التساقط الجوي والتبخر السطحي والجريان السطحي، إذ يمثل التساقط الجوي حجم المياه الداخلة للقارات في حين يمثل التبخر السطحي والجريان السطحي حجم المياه الخارجة من القارات.

يتباين معدل حجم التساقط الجوي على سطح القارات بين 1648 ملم/سنة في قارة أمريكا الجنوبية لتمثل أعلى معدلات التساقط الجوي في قارات العالم، في حين ينخفض المعدل إلى 670 ملم/سنة في قارة أمريكا الشمالية ليمثل أدنى معدلات التساقط الجوي في قارات العالم (جدول 13).

يعد التساقط الجوي المصدر الأساس لدخول المياه في القارات غير أن حجم مياه التساقط الجوي يعتمد على معدلات التساقط الجوي ومساحة القارة، ولذلك يتباين حجم المياه الداخلة إلى القارات إذ يرتفع الحجم إلى حوالي 31.65 ألف كم^3/سنة في قارة آسيا وينخفض حجم مياه التساقط الجوي إلى حوالي 6.4 ألف كم^3/سنة في قارة استراليا.

أما التبخر السطحي فقد تباينت معدلاته في القارات بين 1065 ملم/سنة في قارة أمريكا الجنوبية ليمثل أعلى معدلات التبخر السطحي في قارات العالم، في حين ينخفض

المعدل إلى 415 ملم/سنة في قارة أوربا ليمثل أدنى معدلات التبخر السطحي في قارات العالم (جدول 13). يعد التبخر السطحي من المصادر الرئيسة لمخرجات المياه من القارات من خلال دوره في تناقص حجم مياه التساقط الجوي، ويتباين حجم فواقد التبخر السطحي في القارات بين حوالي20.187 ألف كم^3/سنة في قارة آسيا ليمثل أكثر قارات العالم في فواقد التبخر السطحي، في حين ينخفض حجم المياه المتبخرة في قارة أوربا إلى حوالي 4 ألف كم^3/سنة ليمثل أدنى قارات العالم في فواقد التبخر.

إن نتيجة الموازنة المائية المناخية (P - E) إيجابية في قارات العالم المختلفة كلها، إذ يتباين حجم الزيادة المطرية على فواقد التبخر السطحي بين حوالي+11.5 ألف كم^3/سنة في قارة آسيا لتمثل أكثر قارات العالم في الزيادة المطرية، في حين ينخفض حجم الزيادة المطرية إلى حوالي 1.9 ألف كم^3/سنة في قارة استراليا لتمثل أدنى قارات العالم في الزيادة المطرية (جدول 13).

جدول 13 الموازنة المائية في القارات.

القارات	المساحة مليون كم^2	معدل التساقط ملم/سنة	حجم التساقط ألف كم^3	معدل التبخر ملم/سنة	حجم التبخر ألف كم^3	الموازنة المائية المناخية ألف كم^3
آسيا	43.6	726	31.654	463	20.187	+11.467
أفريقيا	30.3	686	20.786	547	16.574	+4.212
أمريكا ش	35.5	670	23.785	483	17.147	+6.638
أمريكا ج	17.9	1648	29.499	1065	19.064	+10.435
أوربا	9.8	734	7.193	415	4.067	+3.126
استراليا	8.7	736	6.403	519	4.515	+1.888
المجموع	135.8	*879	119.32	*601	81.554	+37.77

المصادر:

Subramanya, K. 2004. Engineering Hydrology, Second Edition, New Delhi, 392 P.

* يمثل المعدل الموزون وليس الوسط الحسابي.

إن النتيجة الايجابية للموازنة المائية المناخية في القارات (الزيادة المطرية) تمثل الجريان السطحي الذي يقدر حجمه الإجمالي بحدود 37.77 ألف كم^3/سنة، إذ يتوزع التساقط الجوي في القارات بشكل رئيس بين التبخر والجريان السطحي، ولذلك تتمثل الموازنة المائية للتساقط الجوي والتبخر السطحي والجريان السطحي في القارات بالمعادلات الآتية:

P = E + Q ---------- (1)

E = P – Q ---------- (2)

Q = P – E ---------- (3)

إن الجريان السطحي يمثل الطرف الثالث في معادلة الموازنة المائية للقارات كما يمثل العنصر الثاني لمخرجات المياه من القارات، إذ يعمل الجريان السطحي على نقل المياه التي أنتجتها الزيادة المطرية من سطح القارات إلى البحار والمحيطات، مما يؤدي إلى تساوي حجم المياه الداخلة في القارات بفعل التساقط الجوي مع حجم المياه الخارجة من القارات بفعل التبخر السطحي والجريان السطحي. ولذلك تتمثل الموازنة المائية في القارات من خلال المعادلة الآتية:

P ± E ± Q = 0

2- الموازنة المائية في المحيطات:

إن الموازنة المائية في المحيطات تتضمن ثلاثة عناصر رئيسة أيضاً وهي كل من التساقط الجوي والتبخر السطحي والجريان السطحي غير أن المدخلات المائية (*Water Input*) تتمثل في حجم التساقط الجوي (P) وحجم المياه في مصبات الجريان السطحي (Q)، في حين تتمثل المخرجات المائية في حجم التبخر السطحي (E) فقط.

إن معدلات التساقط الجوي في المحيطات مرتفعة وذات تباينات كبيرة مقارنة بمعدلات التساقط الجوي في القارات، إذ تتباين المعدلات بين 1210 ملم/سنة في المحيط الهادئ لتمثل أعلى معدلات التساقط الجوي في محيطات العالم، في حين ينخفض

المعدل إلى 240 ملم/سنة في المحيط المتجمد الشمالي ليمثل أدنى معدلات التساقط الجوي في المحيطات (جدول 14). مما انعكس على حجم المدخلات المائية للتساقط الجوي في المحيطات، إذ يرتفع في المحيط الهادئ إلى حوالي 219.37 ألف كم^3/سنة وينخفض حجم مياه التساقط الجوي إلى حوالي 2.95 ألف كم^3/سنة في المحيط المتجمد الشمالي.

أما معدلات التبخر السطحي في المحيطات فهي مرتفعة جداً وذات تباينات كبيرة جداً مقارنة بمعدلات التبخر السطحي في القارات، إذ يرتفع المعدل إلى 1380 ملم/سنة في المحيط الهندي ليمثل أعلى معدلات التبخر السطحي في المحيطات، وينخفض المعدل إلى 120 ملم/سنة في المحيط المتجمد الشمالي ليمثل أدنى معدلات التبخر السطحي في محيطات العالم (جدول 14). يعد التبخر السطحي المصدر الرئيس لمخرجات المياه من المحيطات، ويتباين حجم المياه المتبخرة من المحيطات بين حوالي 206.68 ألف كم^3/سنة في المحيط الهادئ ليمثل أكثر محيطات العالم في فواقد التبخر السطحي، في حين ينخفض حجم التبخر إلى حوالي 1.47 ألف كم^3/سنة في المحيط المتجمد الشمالي ليمثل أدنى المحيطات في فواقد التبخر.

إن نتيجة الموازنة المائية المناخية (P - E) في المحيطات تكون إيجابية في المحيط الهادئ وبمقدار +12.691 ألف كم^3/سنة وإيجابية في المحيط المتجمد الشمالي أيضاً وبمقدار + 1.476 ألف كم^3/سنة، في حين تكون نتيجة الموازنة المائية المناخية سلبية في المحيط الأطلسي وبمقدار- 24.518 ألف كم^3/سنة وسلبية في المحيط الهندي أيضاً وبمقدار -27.417 ألف كم^3/سنة. ولذلك تكون النتيجة الإجمالية للموازنة المائية المناخية في المحيطات هي سلبية وبمقدار -37.77 ألف كم^3/سنة.

تمثل مصبات الجريان السطحي الطرف الثالث في معادلة الموازنة المائية في المحيطات كما تمثل العنصر الثاني لمدخلات المياه، ويقدر حجم مصبات الجريان السطحي في المحيطات بحدود 37.77 ألف كم^3/سنة. إن الموازنة المائية للتساقط الجوي والتبخر السطحي والجريان السطحي في المحيطات تتمثل في المعادلة الآتية:

P + Q = E

إن حجم التبخر السطحي الذي يمثل حجم المياه الخارجة من المحيطات تساوي حجم المياه الداخلة فيها والمتمثل بحجم التساقط الجوي ومصبات مياه الجريان السطحي. وعليه فإن الموازنة المائية في المحيطات تتمثل في المعادلة الآتية:

$$P \pm E \pm Q = 0$$

جدول 14 الموازنة المائية في المحيطات.

المحيطات	المساحة مليون كم^2	معدل التساقط ملم/سنة	حجم التساقط ألف كم^3	معدل التبخر ملم/سنة	حجم التبخر ألف كم^3	الموازنة المائية المناخية ألف كم^3
الهادي	181.3	1210	219.373	1140	206.682	12.691+
الأطلسي	94.3	780	73.554	1040	98.072	24.518-
الهندي	74.1	1010	74.841	1380	102.258	27.417-
المتجمد	12.3	240	2.952	120	1.476	1.476+
المجموع	362	*1024	370.720	*1128	408.488	37.77-

المصادر:

Subramanya, K. 2004. Engineering hydrology, Second Edition, New Delhi, 392 P.

3- الموازنة المائية في الكرة الأرضية:

تتمثل الموازنة في الكرة الأرضية بالموازنة المائية المناخية فقط وذلك لاقتصار المدخلات المائية على عنصر التساقط الجوي (P) فقط، في حين تقتصر المخرجات المائية على التبخر السطحي (E) فقط. يقدر الحجم الإجمالي للتساقط الجوي في الكرة الأرضية بحدود 490.04 ألف كم^3/سنة، وكذلك هي الحال في التبخر السطحي إذ يقدر حجمه الإجمالي في الكرة الأرضية بحدود 490.04 ألف كم^3/سنة (جدول 15). مما يعني تساوي قيم التساقط الجوي مع التبخر السطحي. ولذلك تتمثل الموازنة المائية في الكرة الأرضية بالمعادلات الآتية:

P – E = 0 ------- (1)

P = E -------- (2)

جدول 15 الموازنة المائية في الكرة الأرضية.

الموقع	حجم التساقط ألف كم^3	حجم التبخر ألف كم^3	الموازنة المائية المناخية
القارات	119.32	81.554	37.77+
المحيطات	370.72	408.488	37.77−
المجموع	490.04	490.04	00.00

التغير المناخي والدورة الهيدرولوجية:

Climate Change and Water Budge

إن المناخ الأرضي يتعرض للتغير والتبدل بصورة مستمرة مما يعمل على تغير حجم المياه في مكونات الدورة الهيدرولوجية ويؤثر في النتيجة النهائية للموازنة المائية في القارات والمحيطات. إذ يفترض في الموازنة المائية ثبات حجم المياه في أشكالها المختلفة جميعها غير أن التبدل المناخي يعمل على تبدل المياه بين أشكلها المختلفة، مما يؤثر على طبيعة الموازنة المائية في القارات وكذلك هي الحال في المحيطات.

إن تغير المناخ الأرضي نحو الخصائص المناخية الدافئة يعمل على زيادة معدلات التساقط الجوي والتبخر السطحي وانخفاض حجم المخزون المائي في القارات والمتمثل في الكتل الجليدية بسبب ارتفاع درجات الحرارة التي تعمل على زيادة شدة ذوبان الجليد وانخفاض حجم التساقط الثلجي لحساب التساقط المطري. إن ازدياد ذوبان الكتل الجليدية يسهم في زيادة حجم الجريان السطحي ورطوبة التربة والمياه الجوفية في القارات وزيادة حجم بخار الماء في الغلاف الجوي وزيادة حجم المياه في المحيطات واتساع مساحتها. لذلك تكون نتيجة الموازنة المائية في المناخ

الدافئ سلبية في القارات ويرجع سبب ذلك بشكل رئيس إلى انخفاض حجم المياه المخزونة في الكتل الجليدية وزيادة حجم الجريان السطحي الذي يعمل على نقل المياه من القارات إلى المحيطات، وتتمثل الموازنة المائية في القارات بالمعادلة الآتية:

$$P \pm E \pm \Delta S \pm Q = (-)$$

في حين تكون نتيجة الموازنة المائية في المناخ الدافئ إيجابية في المحيطات بسبب زيادة حجم مصبات الجريان السطحي، وتتمثل الموازنة المائية في القارات بالمعادلة الآتية:

$$P \pm E \pm Q = (+)$$

في حين يعمل تغير المناخ الأرضي نحو خصائص المناخ البارد على انخفاض معدلات التساقط الجوي والتبخر السطحي وازدياد حجم المخزون المائي في القارات من خلال زيادة حجم الكتل الجليدية بسبب انخفاض درجات الحرارة وزيادة حجم التساقط الثلجي على حساب التساقط المطري. مما يسهم في انخفاض حجم الجريان السطحي ورطوبة التربة والمياه الجوفية في القارات وانخفاض حجم بخار الماء في الغلاف الجوي وانخفاض حجم المياه في المحيطات وتقلص مساحتها. لذلك تكون نتيجة الموازنة المائية في المناخ البارد ايجابية في القارات وتتمثل بالمعادلة الآتية:

$$P \pm E \pm \Delta S \pm Q = (+)$$

في حين تكون نتيجة الموازنة المائية في المناخ البارد سلبية في المحيطات وتتمثل بالمعادلة الآتية:

$$P \pm E \pm Q = (-)$$

أما الموازنة المائية في إجمالي الكرة الأرضية فتكون دائماً في حالة التوازن بين حجم المدخلات المائية والمتمثلة بالتساقط الجوي وحجم المخرجات المائية والمتمثلة بالتبخر السطحي إذ تتمثل الموازنة المائية للكرة الأرضية في خصائص المناخ الدافئة والباردة بالمعادلات الآتية:

P – E = 0 ------- (1)

P = E -------- (2)

تغير المناخ الأرضي: *Change of Earth's Calamite*

إن المعدلات العامة للعناصر المناخية السائدة حالياً في الكرة الأرضية تمثل خصائص المناخ الدافئ، غير أن المعدلات العامة للعناصر المناخية الحالية غير ثابتة وإنما تتغير مع الزمن بشكل غير خطي تجاه الزيادة في الدفء. إذ ارتفعت درجات الحرارة فوق القارات بمعدل يقدر بحدود 0.74 درجة مئوية وفوق المحيطات بمعدل يقدر بحدود 0.6 درجة مئوية خلال القرن العشرين، مما يؤثر على الأنظمة البيئية (*Ecosystems*) جميعها في الكرة الأرضية ومنها الأنظمة الهيدرولوجية وحجم المياه في مكونات الدورة الهيدرولوجية، إذ أدى الارتفاع في معدلات درجات الحرارة إلى تناقص الغطاء الجليدي بمقدار 5% خلال القرن العشرين، كما أن ارتفاع درجات الحرارة يؤثر في حجم الجريان السطحي إذ ارتفعت المعدلات السنوية لجريان المياه في الأنهار بمقدار 10- 40% في العروض العليا والأقاليم الرطبة، في حين انخفضت معدلات الجريان بين 10-30% في العروض المدارية والأقاليم الجافة[13]، وإجمالاً يزداد حجم الجريان السطحي بمقدار 4% عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار 1 درجة مئوية[14]، مما ينعكس على حجم المياه المنصرفة للمحيطات إذ ارتفع منسوب المحيطات بمعدل 0.5 متر خلال القرن العشرين مما يؤدي إلى توسع مساحة المحيطات على حساب المناطق الساحلية من القارات. إن ارتفاع درجات الحرارة في الكرة الأرضية واتساع مساحة المحيطات والجريان السطحي يسهم بلا ريب في زيادة معدلات التبخر السطحي مما يؤدي إلى زيادة معدلات التساقط الجوي ولاسيما التساقط المطري وكذلك يسهم في ازدياد حجم بخار الماء في الغلاف الجوي، كما إن ازدياد حجم الجريان السطحي ومعدلات التساقط الجوي يسهم في زيادة رطوبة التربة وتغذية المياه الجوفية.

مصادر الفصل الثاني: *References*

[1] Dickinson, R. E. 2003. Handbook of Weather, Climate, and Water: Dynamics, Climate, Physical Meteorology, Weather Systems, and Measurements, Edited by Thomas D. Potter and Bradley R. Colman. John Wiley & Sons, Inc., Publication, 973 p.

[2] موسى، علي حسن. 2004. أساسيات علم المناخ، دار الفكر المعاصر، دمشق، 264 صفحة.

[3] Knapp, B. J. 2002. Elements OF Geographical Hydrology, Unwin Hyman Ltd, London, 85 P.

[4] الموسوي، علي صاحب طالب. 2009. جغرافية الطقس والمناخ، الطبعة الأولى، دار الضياء للطباعة والتصميم، النجف الأشرف، 594 صفحة.

[5] Suresh, R. 2005. Watershed Hydrology (principles of hydrology), second Edition, Delhi, 692 P.

[6] Han, D. 2010. Concise Hydrology, Ventus Publishing ApS, 145 p.

[7] Mcknight, T. L. and Hess, D. 2000. Physical Geography, 6th Edition, USA., 604 P.

[8] الزوكة، محمد خميس. 1998. جغرافية المياه، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية،513 صفحة.

[9] Wilson, E. M. 1985. Engineering Hydrology, 3rd, Macmillan publishers LTD., London, 309 P.

[10] Subramanya, K. 2004. Engineering Hydrology, Second Edition, New Delhi, 392 P.

[11] Das, M. and Saikia, M. 2009. Hydrology, PHI Learning Private Limited, New Delhi, 340 p.

[12] (Wilson, 1985).

[13] The Intergovernmental panel on Climate Change (IPCC) 2007. Climate change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability, first published, Cambridge university press, 976 p.

[14] الأمم المتحدة .2008. تغير المناخ والماء، الورقة الفنية السادسة، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ، 213 صفحة.