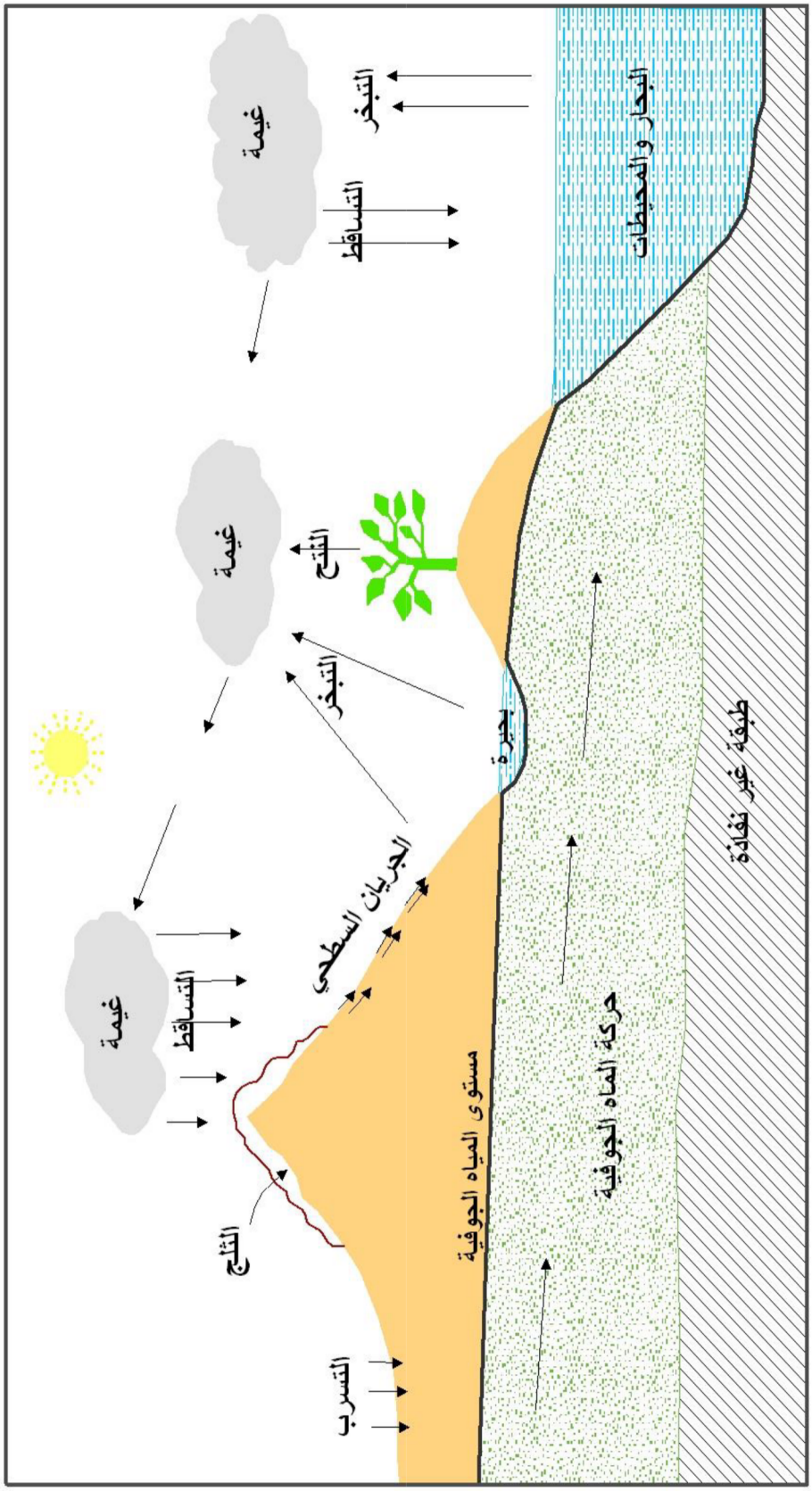
مفهوم الدورة الهيدرولوجية: *Define of Hydrological Cycle*

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

شكل 3 الدورة الهيدرولوجية.



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.

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:

Orographic (Mountain) Ascent

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.

جدول 12 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

المصدر:

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

* يمثل المعدل الموزون وليس الوسط الحسابي.