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[7]، 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[8].

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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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 بغض النظر عن كثافة النباتات الخضراء ومقدار رطبة 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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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[9] 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:

Factors Effecting Evapotranspiration

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:

Factors Effecting Evaporation from Water Mass

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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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 مقدرا 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.

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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:
Factors Effecting Evaporation From Soil

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

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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:

Factors Effecting Transpiration

إن عملية النتح تتأثر بالعوامل المناخية المؤثرة نفسها في عملية التبخر كالإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة الجوية والرياح، غير أن مقدار النتح

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/

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.

Created in Photo-to-PDF One Click Converter. Download here: https://firehawk.ai/phototopdf/