التبخر والموازنة المائية في أبها بالمملكة العربية السعودية " دراسة في المناخ التطبيقي "

د. محمد فوزي أحمد عطا*

المقدمة:

تنتمي أبها إلى مناخ مرتفعات جنوب غرب المملكة، وهذا المناخ يسود على المرتفعات الواقعة على ارتفاع 1800 متر فأكثر وإلى الجنوب من دائرة عرض 30 ◌َ 20° شمالاً، حيث تتراوح المتوسطات القصوى لدرجة الحرارة بين 22°م في ديسمبر، 32°م في يولية، وتتراوح المتوسطات الدنيا لدرجة الحرارة بين 2.5°م، 13°م في شهري ديسمبر ويولية على التوالي، وهذا يجعل النهار ذا حرارة معتدلة والليل شديد البرودة خلال أشهر الشتاء، في حين يظل النهار دافئاً إلى حار والليل معتدل بقية شهور السنة. (الشريف، 2002، ص115).

وتقع أقدام مرتفعات منطقة الدراسة ضمن نطاق المناخ المداري الصحراوي، حيث تقع في نطاق الأقاليم شبه الجافة وفقاً لتصنيف كل من كبن وثورنثويت (المغامس، 1409هـ، ص ص 37–38)، كما تقع ضمن الإقليم شبة الرطب Cs طبقاً لتصنيف ديمارتون (الشريف، 1976، ص 145).

اختيار الموضوع والهدف من الدراسة:

تعتبر الموارد المائية في منطقة الدراسة محدودة للغاية، وهي في الواقع لاتفي بمتطلبات التنمية الزراعية وغيرها من الأغراض البشرية الأخرى، وللمحافظة على هذه الكمية المحدودة من الموارد المائية كان لابد من معرفة الفاقد من هذه الموارد من خلال دراسة التبخر من المياه السطحية والتربة أو النتح من الغطاء النباتي والمحاصيل الزراعية، ومن ثم إمكانية تقدير الكمية المتاحة من هذه الموارد، ووضع الخطط والبرامج لاستهلاكها لتجنب ما قد يحدث من خلل في الموازنة المائية، ويعتمد تحقيق ذلك بدرجة أساسية على تقدير كمية التبخر والنتح في منطقة أبها، وموازنة هذه الكمية بكميات المياه الساقطة على شكل أمطار، وذلك لأن القيمة الفعلية للأمطار تعتمد على كمية التبخر أو الفاقد من هذه المياه للهواء.

ومن هنا كانت وجاءت فكرة دراسة التبخر، وهي دراسة تدخل في مجال الجغرافيا المناخية وتقوم على تطبيق معادلات رياضية لحسابها ومن ثم مقارنة نتائجها بكميات التبخر المسجلة بمنطقة الدراسة من واقع قراءات حوض التبخر «أ» (Class "A" pan) وتحليل هذه النتائج إحصائياً وكارتوجرافياً، ثم إجراء دراسة تطبيقية للتبخر الكامن لحساب الميزانية المائية بمنطقة أبها، وذلك وصولاً لمعرفة متغيرات الميزانية المائية الأساسية، ولتحديد مدى الاستفادة المثلى من هذه المياه وأفضل الطرق للمحافظة عليها وعدم استنزافها وإهدارها بطرق غير مرشدة.

---

* أستاذ الجغرافيا الطبيعية المساعد، كلية الآداب – جامعة القاهرة (فرع بني سويف).

يهدف هذا البحث إلى دراسة مشكلة التبخر والنتح في منطقة أبها من خلال:

1. التوزيع الشهري والفصلي للتبخر بمنطقة أبها على أساس بيانات حوض التبخر « أ » (Class "A" pan).
2. حساب التبخر رياضياً وذلك باستخدام بعض المعادلات التجريبية (بنمان . بلليني وكريدل . ثورنثويت) وتوزيع التبخر المحسوب بأبها توزيعاً تفصيلياً.
3. المقارنة بين إحصائيات حوض التبخر « أ » (Class "A" pan) وبين نتائج حساب التبخر بالمعادلات الرياضية التجريبية.
4. استخدام إحصائيات التبخر في تقدير الميزانية المائية بمنطقة أبها.
5. الاستنتاجات والخاتمة.

هذا وقد اعتمد الباحث على البيانات المناخية لمحطة أبها على ارتفاع 2200 متر فوق مستوى سطح البحر على دائرة العرض َ12 18° وخط طول َ29 42° وذلك خلال الفترة من 1966 وحتى عام 2000م. (شكل رقم 1)، كما اعتمد في تطبيق معامل الارتباط والمعادلات الخاصة بالتبخر على برنامجي Excel و SAS . وقد اكتفى الباحث بتطبيق معامل ارتباط بيرسون حيث اتضح أنه سوف يعطي نفس نتائج معاملات الارتباط الأخرى مثل معامل ارتباط سبيرمان أو معامل الارتباط المتعدد.

الدراسات السابقة :

الدراسات السابقة عن هذا الموضوع محدودة للغاية حيث اقتصرت على قياسات التبخر بواسطة حوض التبخر « أ » (Class "A" pan)، وخرائط توزيعية عنه بالنسبة للمملكة ككل ضمن أطلس المناخ لعام 1988 والذي أصدرته وزارة الزراعة والمياه، وكذلك ضمن النشرات الهيدرولوجية الشهرية التي يصدرها قسم المياه في وزارة الزراعة والمياه، كذلك تم حساب التبخر الكامن لبنمان ضمن دراسة للمناخ الزراعي في المملكة العربية السعودية أجرته المنظمة العربية للتنمية الزراعية عام 1977، بالإضافة لدراسة أجراها الجراش (1988) عن الميزانية المائية في المملكة وبالطبع من ضمنها دراسة التبخر في منطقة الدارسة، أيضاً دراسة قام بها الطاهر (1992) عن تقدير كمية التبخر المحتملة في واحة الأحساء . السعودية، كذلك الدراسة التي قام بها محمد عطا (2001) عن التبخر والموازنة المائية في الأحساء بالمملكة العربية السعودية.

أولاً: التوزيع الشهري للتبخر طبقاً لقراءات حوض التبخر « أ » (Class "A" PAN):

اعتمدت هذه الدراسة التوزيعية على معدلات التبخر التي حسبت من قراءات حوض التبخر «أ» (Class "A" PAN) في محطة أبها خلال الفترة من عام 1966 وحتى عام 2000، وبما أن قراءات حوض التبخر «أ» عالية بدرجة ملحوظة بسبب صغر حجم الحوض، ونوعية المعدن ولونه وأثر الموقع المحلي، فقد عُدلت هذه القراءات بضربها في معامل الحوض والذي يبلغ عادة 60% في المناطق الجافة (نعمان شحادة، 1983، ص 46) حتى تكون القراءات أقرب إلى واقع معدلات التبخر في الظروف الطبيعية.

المصدر: إدارة المساحة العسكرية السعودية 1413هـ.

شكل (1) : منطقة الدراسة.

يوضح الجدول رقم (1) المتوسطات الشهرية لقراءات حوض التبخر «أ» مم، وعدد ساعات سطوع الشمس الفعلية (ساعة/يوم)، والإشعاع الشمسي المكتسب (سعر سم2/يوم)، والمعدل الشهري لدرجات الحرارة (°م)، والمعدل الشهري للرطوبة النسبية (%) وأيضاً من خلال قراءة الشكلين (2، 3) يتضح الآتي:

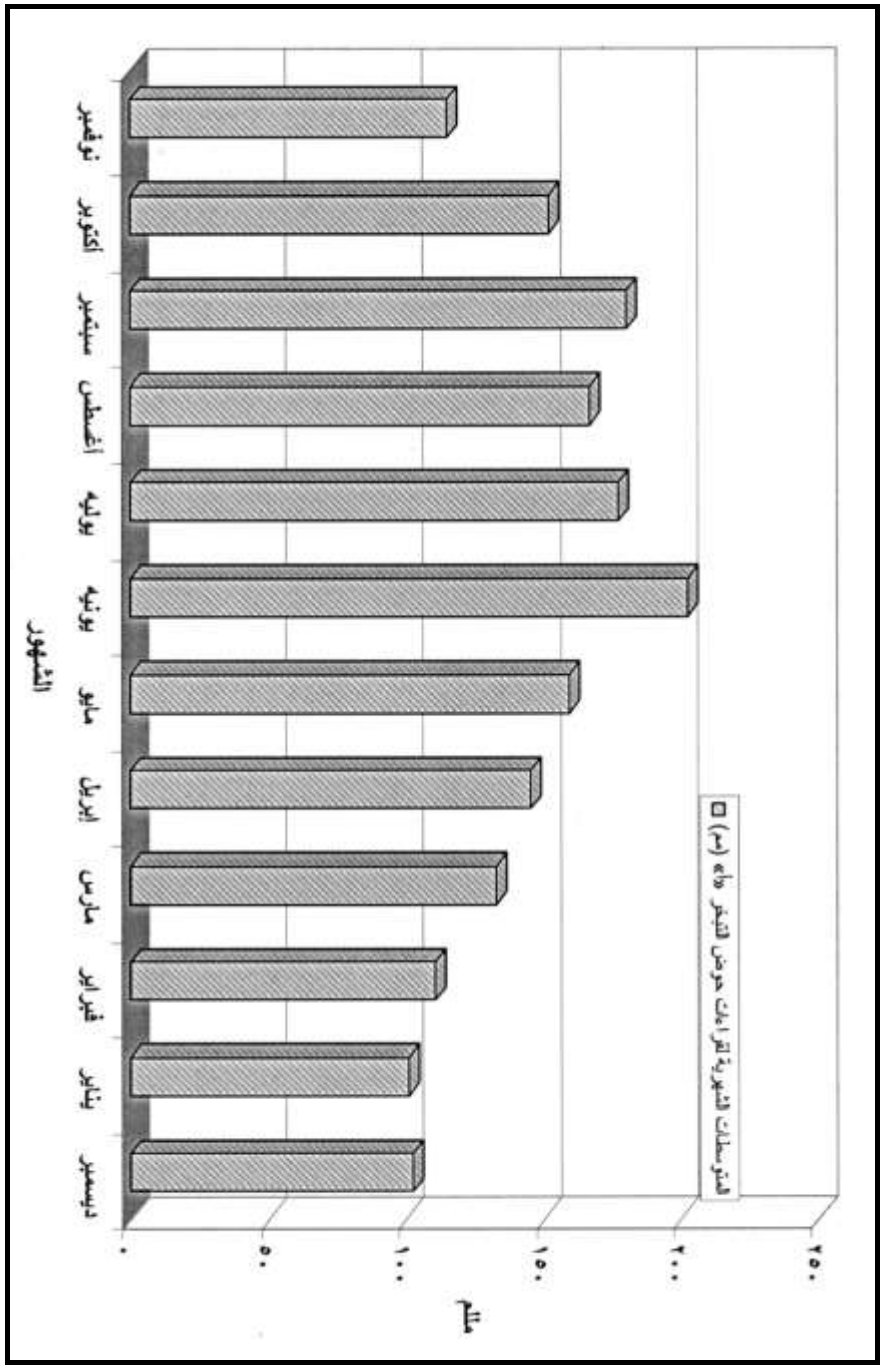
1. يسود في شهر يناير بأبها مناخ شتوي تنخفض فيه عادة درجات الحرارة بشكل ملحوظ حيث تصل إلى 14.3°م، وذلك بسبب هبوب الرياح الشمالية والشمالية الشرقية الباردة والقادمة من عروض أعلى (50% من إجمالي الرياح الهابة على منطقة أبها) مما يؤدي إلى تناقص نشاط التبخر بصفة عامة حيث يصل أدنى معدلاته خلال هذا الشهر (101.2مم).

جدول (1) : المتوسطات الشهرية لقراءات حوض التبخر «أ» مم، عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية (ساعة/يوم) والإشعاع الشمسي المكتسب (سعر سم2/يوم) والمعدل الشهري لدرجة الحرارة (°م) والمعدل الشهري للرطوبة النسبية (%) بمحطة أبها.

المعدلات المناخية / الشهور	المتوسطات الشهرية لقراءات حوض التبخر «أ» (مم) (Class "A" pan)	عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية (ساعة/يوم)	الإشعاع الشمسي المكتسب (سعر سم2/يوم)	المعدل الشهري لدرجات الحرارة (°م)	المعدل الشهري للرطوبة النسبية (%)
ديسمبر	102.2	7.4	353	13.8	63
يناير	101.2	4.3	334	14.3	55
فبراير	110.2	5.8	367	14.2	63
مارس	132.6	4.9	389	15.2	69
إبريل	145.1	7.7	551	17.7	59
مايو	159.5	8.2	644	20.0	55
يونيه	202.6	9.7	699	23.1	42
يوليه	177.1	8.1	647	22.9	49
أغسطس	166.7	6.4	550	22.0	56
سبتمبر	180.1	8.8	593	21.1	43
أكتوبر	152.4	8.8	526	18.1	44
نوفمبر	115.0	7.8	401	15.6	59
المتوسط السنوي	145.39	7.3	505	18.1	55

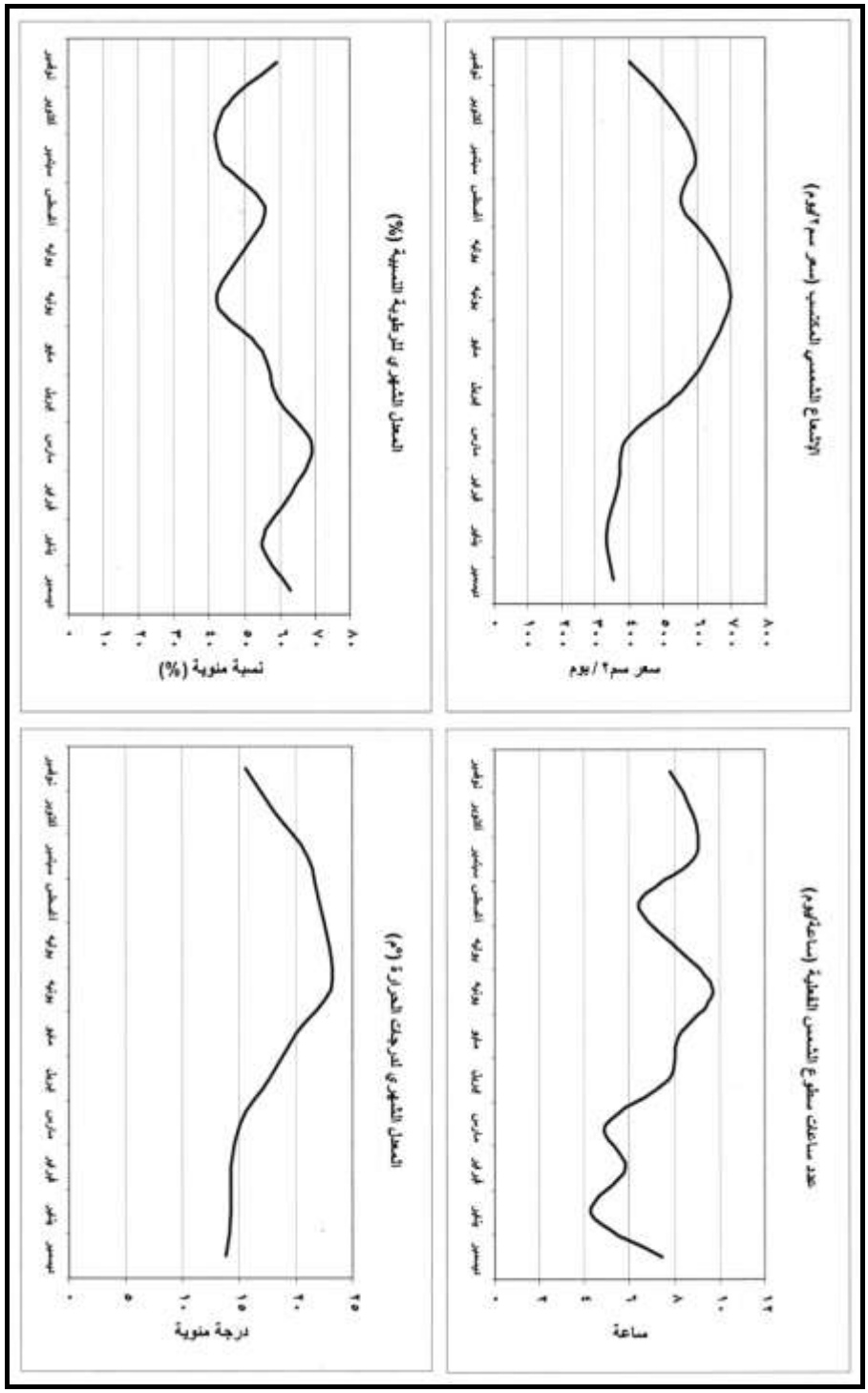
الجدول من عمل الباحث اعتماداً على البيانات المناخية الصادرة عن وزارة الزراعة والمياه، إدارة تنمية موارد المياه . قسم الهيدرولوجيا، المملكة العربية السعودية.

2. تتشابه الأحوال الجوية السائدة في شهر فبراير مع ظروف المناخ خلال شهر يناير، وبالتالي فإن معدلات التبخر لم تختلف كثيراً عنها في شهر يناير، حيث كانت درجة الحرارة 14.2°م ويعود انخفاضها إلى ارتفاع منطقة الدراسة عن سطح البحر وتعرضها أيضاً للرياح الشمالية الشرقية الأقل حرارة والتي تنخفض على إثرها درجات الحرارة. وبالتالي أثر هذا على انخفاض معدلات التبخر خلال هذا الشهر حيث وصلت إلى (110.2مم).
3. تبدأ درجات الحرارة في الارتفاع مع بداية فصل الربيع، ففي شهر مارس أخذت درجات الحرارة في الارتفاع التدريجي (15.2°م) وفي نفس الوقت أخذت الرطوبة الجوية في الارتفاع حيث وصلت خلال هذا الشهر (69%) وذلك نتيجة لبداية هطول الأمطار الموسمية، إلا أننا نجد أن كمية الإشعاع الشمسي المكتسب خلال هذا الشهر ارتفعت ووصلت إلى (389 سعر سم2/يوم) مما أدى إلى زيادة معدلات التبخر عما كانت عليه خلال الشهرين السابقين حيث وصلت إلى (132.6مم) بزيادة قدرها (22.4مم) عن شهر فبراير وبنسبة قدرها 20.3%.



شكل (2) : المتوسطات الشهرية لقراءات حوض التبخر "أ" (مم).

4. تواصل معدلات درجات الحرارة في شهر إبريل ارتفاعها النسبي (17.7°م) إلا أن معدلات الرطوبة النسبية تنخفض وتصل إلى 59% مع زيادة في عدد ساعات سطوع الشمس (7.7 ساعة/يوم) وبالتالي زيادة كمية الأشعة الشمسية المكتسبة (551 سعر سم2/يوم) كل هذا أدى إلى تزايد في كمية التبخر حيث وصل المتوسط الشهري لقراءات حوض التبخر «أ» إلى (145.1مم) بزيادة قدرها (12.6مم) عن الشهر السابق وبنسبة (9.5%).
5. تتزايد معدلات التبخر خلال شهر مايو فتصل إلى (159.5مم) بزيادة وقدرها (14.4مم) عن شهر إبريل وبنسبة قدرها (9.9%)، وذلك تبعاً لارتفاع المعدل الشهري لدرجة الحرارة في هذا الشهر (20°م) وكذلك انخفاض المعدل الشهري للرطوبة النسبية إلى (55%) مع زيادة عدد ساعات سطوع الشمس إلى (8.2 ساعة/يوم) وبالتالي زيادة كمية الإشعاع الشمسي المكتسب إلى (644 سعر سم2/يوم).
6. تصل المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة بمنطقة أبها أقصى حد لها خلال شهر يونية (23.1°م)، كما ينخفض المعدل الشهري للرطوبة النسبية إلى أدني حد له (42%)، أيضاً نجد أن عدد ساعات سطوع الشمس وصل إلى قمته خلال هذا الشهر (9.7 ساعة/يوم)، مما أدى إلى زيادة كمية الإشعاع الشمسي المكتسب إلى (699 سعر سم2/يوم)، كل هذه العوامل أدت إلى أن يصل المعدل الشهري للتبخر لأعلى معدلاته (202.6مم) بزيادة قدرها (43.1مم) بنسبة (27.1%) عن شهر مايو.
7. تتضح الخصائص المناخية لفصل الصيف خلال شهر يوليه بوضوح أكثر من حيث استقرار درجة الحرارة (22.9°م)، إلا أننا نلاحظ ارتفاعاً ملحوظاً في معدلات الرطوبة الشهرية (49%) مع انخفاض ملحوظ أيضاً في عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية (8.1 ساعة/يوم)، وبالتالي تناقص معدل الإشعاع الشمسي المكتسب (647 سعر سم2/يوم)، إلا إننا نجد أن المتوسطات الشهرية لقراءات حوض التبخر «أ» تأخذ في الانخفاض (177.1مم)، وذلك يعود أيضاً إلى ضعف الرياح الشمالية والشمالية الشرقية الجافة إلى جانب عامل الارتفاع والذي يصل إلى 2200 متر كما سبق الذكر.
8. يتغير نمط التوزيع الشهري لمعدلات التبخر تبعاً لتغير الخصائص المناخية خلال شهر أغسطس قياساً مع شهر يوليه، حيث أن شهر أغسطس يوافق الظروف الانتقالية بين فصلي الصيف والخريف، لذلك تنخفض فيه درجات الحرارة بمنطقة الدراسة (22°م)، وكذلك كمية الإشعاع الشمسي المكتسب (550 سعر سم2/يوم)، بينما نجد أن الرطوبة النسبية تأخذ في التزايد مع انخفاض درجة الحرارة (56%) وعليه فإن هذه العوامل تؤثر بدورها على نشاط التبخر في منطقة الدراسة، وإن كانت قراءات حوض التبخر «أ» خلال هذا الشهر لم تختلف كثيراً عن شهر يوليه حيث بلغت (166.7مم) بتناقص قدره (10.4مم) وبنسبة قدرها (5.9%).



شكل (3) : بعض المتغيرات المناخية المؤثرة فى عملية التبخر فى منطقة أبها.

9. ترتفع معدلات التبخر نسبياً خلال شهر سبتمبر عما كانت عليه خلال شهري أغسطس ويوليه (180.1مم)، ويعود ذلك إلى ارتفاع معدلات عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية (8.8 ساعة/ يوم) ويعود ذلك لحركة الشمس الظاهرية التي تنتقل خلال هذه الفترة من مدار السرطان الواقع شمال منطقة الدارسة بنحو خمس درجات عرضية في طريقها إلى الدائرة الاستوائية، وبالتالي زيادة معدل الإشعاع الشمسي المكتسب (593 سعر سم2/يوم)، أيضاً انخفاض المعدل الشهري للرطوبة النسبية إلى (43%) هذا بالإضافة إلى عامل الارتفاع بمنطقة الدراسة.
10. تنخفض معدلات التبخر بشكل ملحوظ خلال شهر أكتوبر، ويعود ذلك إلى عاملي التضاريس والارتفاع عن سطح البحر، فاتضح أن المتوسط الشهري لقراءة حوض التبخر «أ» خلال هذا الشهر وصلت إلى (152.4مم) وهي تقل عن شهر سبتمبر بمقدار (27.7مم) وبنسبة قدرها (15.4%).
11. معدلات التبخر في شهر نوفمبر أخذت في التناقص أكثر مما كانت عليه خلال شهر أكتوبر حيث وصلت إلى (115مم) منخفضة بمقدار (37.4مم) وبنسبة مقدارها (24.5%)، ويعود هذا أيضاً إلى عاملي التضاريس والارتفاع وأيضاً الانخفاض في درجة الحرارة والتي بلغت (15.6°م) وبالتالي عدد ساعات سطوع الشمس (7.8 ساعة/يوم) وأيضاً كمية الإشعاع الشمسي المكتسب (401 سعر سم2/يوم).
12. تنخفض المعدلات الشهرية لدرجة الحرارة خلال شهر ديسمبر بداية فصل الشتاء، وذلك بسبب هبوب الرياح الشمالية الشرقية والشمالية الغربية، والتي تمتاز بشدة البرودة، إضافة إلى سقوط الأمطار التي تحملها الرياح الشمالية الغربية وتتسبب في زيادة معدل الرطوبة النسبية (63%)، كما تهب رياح جنوبية غربية على منطقة الدراسة إلا أنها رياح جافة وحرارتها مرتفعة نسبياً، فوجد أن معدل درجة الحرارة خلال شهر ديسمبر (13.8°م)، أيضاً تقل في هذا الشهر عدد ساعات سطوع الشمس (7.4 ساعة/يوم)، وكذلك معدلات الإشعاع الشمسي المكتسب (353 سعر سم2/يوم)، كل هذه العوامل السابق ذكرها تقلل بطبيعة الحال من معدلات التبخر في شهر ديسمبر فكان المتوسط الشهري لقراءات حوض التبخر «أ» خلال هذا الشهر (102.2مم) بانخفاض مقداره (12.8مم) بنسبة قدرها (11.1%).

ثانياً: التوزيع الشهري والفصلي للتبخر المحسوب بالمعادلات الرياضية:

(1) التوزيع الشهري والفصلي للتبخر حسب معادلة بنمان:

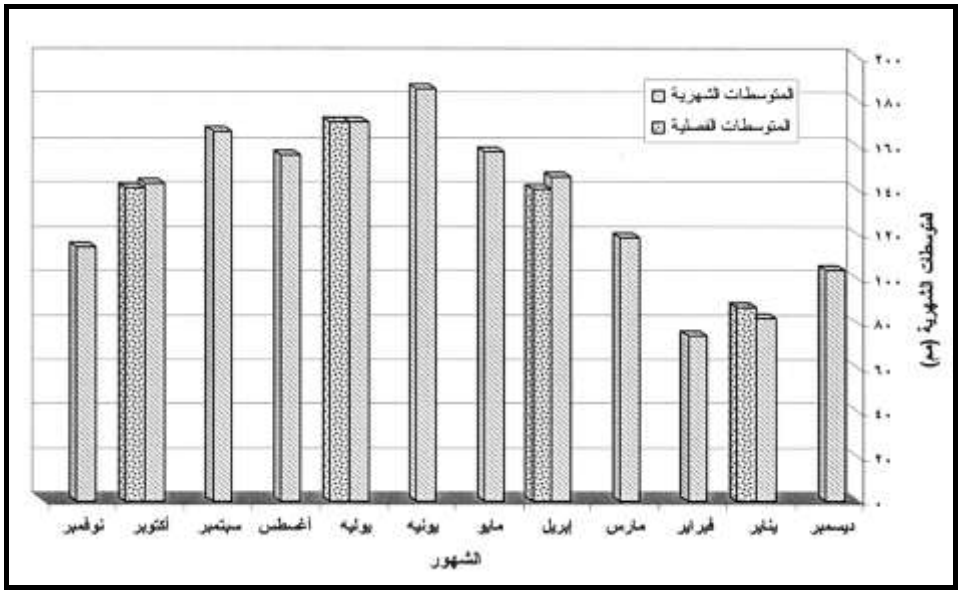
تعتبر معادلة بنمان من أكثر المعادلات شيوعاً في تقدير التبخر من المسطحات المائية، وهي طريقة جمعية، أي أنها تعتمد على الجمع بين أسلوب توازن الطاقة من جهة وأسلوب ديناميكية الهواء من جهة أخرى (نعمان شحادة، 1983، ص101).

ويوضح الجدول رقم (2) نتائج تطبيق معادلة بنمان للتبخر الشهري والفصلي بمحطة أبها (ملحق 1)، وكذلك الشكل رقم (4) ومنهما يتضح الآتي:

جدول (2) : نتائج تطبيق معادلة بنمان للتبخر الشهري والفصلي بمحطة أبها.

الشهور / المتوسطات	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	المعدل السنوي
المتوسطات الشهرية	103.73	82.35	74.15	118.79	145.89	157.06	185.52	170.85	156.18	166.62	143.52	114.27	134.91
المتوسط الفصلي		86.74			140.58			170.85			141.47		134.91

الجدول من عمل الباحث اعتماداً على البيانات المناخية لمحطة أبها وتطبيق معادلات بنمان المأخوذة عن (نعمان شحادة، 1983، ص ص 101 – 113)، ملحق رقم (1).



شكل (4) : التبخر الشهري والفصلي طبقا لمعادلة بنمان بمنطقة أبها.

1. أقل كمية للتبخر تكون في فصل الشتاء(86.74مم)، وأعلى المعدلات في فصل الصيف (170.85مم)، فنجد أن معدلات التبخر تزداد بدءً من شهر مارس حتى تصل أعلى معدلاتها خلال شهر يونيه (185.52مم) ثم تعود لتنخفض مرة أخرى حتى تصل أدنى معدلاتها خلال شهر فبراير (74.15مم).
2. يسود الطقس البارد أجواء منطقة أبها في فصل الشتاء وخلال شهر يناير قلب فصل الشتاء، حيث تنخفض قيم معدلات العناصر المناخية المؤثرة في عملية التبخر، كالحرارة، الإشعاع الشمسي، عدد ساعات سطوع الشمس (جدول رقم 1)، وتبعاً لذلك تنخفض قيم معدلات تبخر بنمان حيث كانت (82.35مم)، إلا أن قيم معدلات فصل الشتاء طبقاً لتبخر بنمان تختلف من شهر إلى آخر، حيث

بلغت أقل قيمة من قيم التبخر لبنمان خلال شهر فبراير (74.15مم)، بينما سجل شهر ديسمبر أعلى قيمة من تبخر بنمان (103.73مم)، أما المعدل الفصلي لتبخر بنمان بمنطقة أبها وطبقاً للجدول رقم (2) والشكل رقم (4) فنجد أنه أقل معدل خلال السنة حيث بلغ (86.74مم) ويقل عن معدل فصل الخريف بمقدار (54.73مم) بنسبة تصل إلى (38.7%) ويقل أيضاً عن المعدل السنوي طبقاً لمعادلة بنمان بقدار (48.17مم) بنسبة تصل إلى (35.7%).

3. ترتفع معدلات تبخر بنمان خلال شهر إبريل (فصل الربيع) عما كانت عليه في شهر يناير وخلال فصل الشتاء، والارتفاع خلال هذه الفترة تدريجي في معظمه، فنجد أن معدل التبخر في شهر إبريل وصل إلى (145.89مم)، ونجد أيضاً أن أقل الشهور خلال فصل الربيع من حيث قيمة تبخر بنمان هو شهر مارس بداية فصل الربيع حيث بلغت قيمته (118.79مم)، أما أعلى معدلات تبخر بنمان خلال فصل الربيع فكان خلال شهر مايو (157.06مم)، أما المعدل الفصلي لفصل الربيع فقد ارتفع عن معدل فصل الشتاء بزيادة قدرها (53.84مم) وبنسبة قدرها (62.1%) حيث كان معدل تبخر بنمان خلال فصل الشتاء (86.74مم) وارتفع خلال فصل الربيع إلى (140.58مم)، كما نجد أن معدل فصل الربيع يزيد عن المعدل السنوي بمقدار (5.7مم) وبنسبة تصل إلى (4.2%) زيادة عن المعدل السنوي لتبخر بنمان.
4. تختلف الخصائص المناخية في فصل الصيف والذي يمثله شهر يوليه عما كانت عليه في الشتاء والربيع، فيسود طقس حار على منطقة الدراسة، وترتفع فيه معدلات تبخر بنمان حيث تتراوح بين (185.52مم) خلال شهر يونيه، (156.18مم) خلال شهر أغسطس، وهنا نجد أن شهر يونيه يعتبر أعلى شهور السنة تبخراً طبقاً لمعادلات بنمان، فتبخر بنمان يبدأ منخفضاً اعتباراً من شهر يناير ويأخذ في الارتفاع تدريجياً حتى يصل إلى أقصى حد له خلال شهر يونيه، ثم يعود في الانخفاض مرة أخرى حتى يصل إلى أدنى حد له خلال شهر ديسمبر، أما المعدل الفصلي لتبخر بنمان خلال فصل الصيف فقد وصل إلى أعلى معدلاته حيث بلغ (170.85مم) بزيادة مقدارها (30.27مم) عن فصل الربيع وبنسبة قدرها (21.5%)، أيضاً نجد أن معدل فصل الصيف يزيد عن المعدل السنوي بمقدار (35.94مم) وبنسبة تصل إلى (26.6%) زيادة عن المعدل السنوي لتبخر بنمان.
5. تنخفض معدلات تبخر بنمان خلال فصل الخريف انخفاضاً تدريجياً وبدءً من نهاية فصل الصيف، فقد بلغ أعلى معدل للتبخر خلال شهر سبتمبر بداية فصل الخريف طبقاً لبنمان (166.62مم)، ثم تأخذ قيم التبخر في الانخفاض التدريجي بقية أشهر الخريف حيث وصلت إلى (143.52مم)، (114.27مم) خلال شهري أكتوبر ونوفمبر على التوالي، أما المعدل الفصلي خلال فصل الخريف فنجد أنه كان (141.47مم) وهو يقل عن معدل فصل الصيف بمقدار (29.38مم) بنسبة (-17.2%) حيث كان معدل تبخر بنمان خلال فصل الصيف (170.85مم). إلا أننا نجد أن معدل فصل الخريف ظل مرتفعاً بالنسبة للمعدل السنوي حيث زاد عليه بمقدار (6.56مم) وبنسبة قدرها (4.9%) زيادة عن المعدل السنوي لتبخر بنمان.

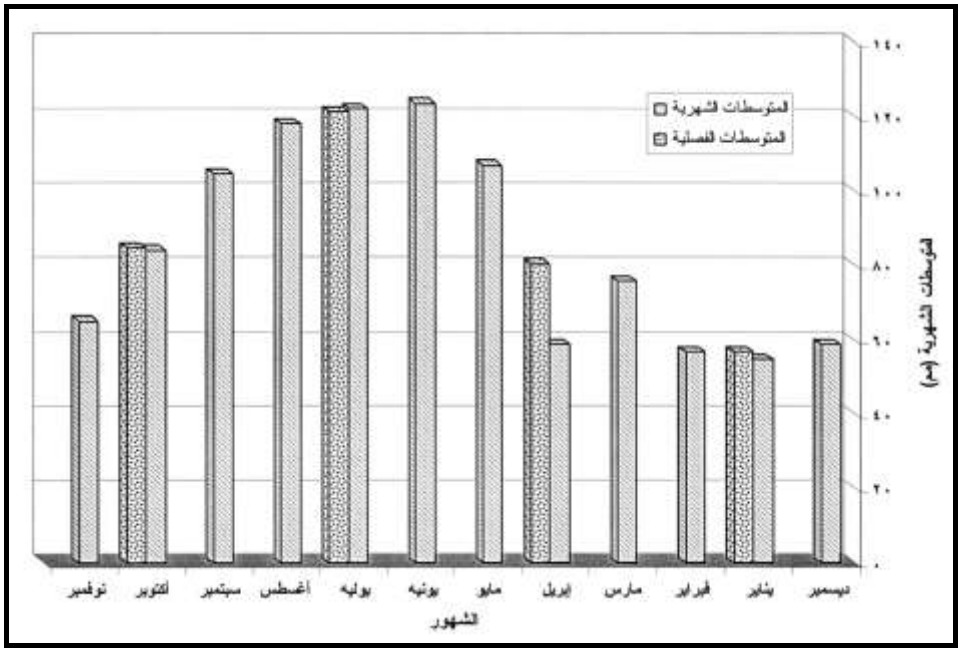
(2) التوزيع الشهري والفصلي للتبخر حسب معادلة ثورنثويت :

اعتمد التوزيع الفصلي للتبخر في منطقة أبها حسب معادلة ثورنثويت (1948) على نتائج تطبيق هذه المعادلة على بيانات محطة منطقة الدراسة (نعمان شحادة، 1983، ص ص 114 ـ 120) (ملحق 6)، ونتج عنها الجدول رقم (3) والذي يوضح متوسط كميات التبخر الشهرية وفقاً لمعادلة ثورنثويت ومن خلال قراءة هذا الجدول وكذلك الشكل رقم (5) يتضح لنا الآتي:

جدول (3) : متوسط كميات التبخر الشهرية وفقاً لمعادلة ثورنثويت.

الشهور / المتوسطات	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	المعدل السنوي
المتوسطات الشهرية	58.94	54.73	56.73	76.00	58.70	106.90	123.53	122.27	118.10	104.76	84.18	65.17	85.83
المتوسط الفصلي		56.80			80.53			121.30			84.70		85.83

الجدول من عمل الباحث اعتماداً على البيانات المناخية لمحطة أبها و معادلة ثورنثويت (1948) والمأخوذة عن (نعمان شحادة، 1983، ص ص 114 ـ 120)، ملحق رقم (6).



شكل (5) : كميات التبخر الشهرية والفصلية طبقا لمعادلة ثورنثويت بمنطقة أبها.

1. تتراوح قيم التبخر نتح تبعاً لتبخر ثورنثويت في منطقة الدراسة خلال فصل الشتاء بين (54.73مم، 58.94مم)، وبصفة عامة يقل تبخر ثورنثويت خلال هذا الفصل ويعود هذا إلى عامل الارتفاع، فنلاحظ أن معدل التبخر خلال شهر ديسمبر بداية فصل الشتاء كانت (58.94مم) وهي تزيد عن المعدل الفصلي بمقدار (2.14مم) فقط، إلا أن هذا المعدل ينخفض خلال شهر يناير قلب فصل الشتاء بمقدار (4.21مم) حيث كان معدل التبخر خلال هذا الشهر (54.73مم) وهو منخفض عن المعدل الفصلي بمقدار (2.07مم)، ولكن تعود معدلات التبخر خلال شهر فبراير إلى الارتفاع مرة أخرى حيث كانت (56.73مم) وهي مساوية تقريباً للمعدل الفصلي للتبخر طبقاً لثورنثويت. إلا أننا نجد أن معدل فصل الشتاء ينخفض عن المعدل السنوي للتبخر وذلك بمقدار (29.03مم) وبنسبة قدرها (14.17%) عن المعدل السنوي لتبخر ثورنثويت، وبصفة عامة نلاحظ أن التذبذب في تبخر ثورنثويت كان محدوداً ومنخفضاً خلال فصل الشتاء بمنطقة الدراسة.
2. تختلف معدلات تبخر ثورنثويت خلال فصل الربيع عن فصل الشتاء حيث تبدأ معدلاته في الزيادة التدريجية بدءً من شهر مارس وتصل أقصى ارتفاع لها خلال شهر مايو، فتتراوح معدلات التبخر خلال هذا الفصل بين (58.7مم، 106.9مم)، إلا أنه ومن خلال قراءة الجدول (رقم 3) يلاحظ أن شهر مارس بداية فصل الربيع ترتفع فيه معدلات التبخر عن الشهر السابق له (فبراير)، وذلك بمقدار (19.27مم) حيث كانت خلال شهر فبراير (56.73مم) ثم ارتفعت إلى (76مم)، إلا أن هذا المعدل وبالرغم من ارتفاعه إلا أنه كان أقل من المعدل الفصلي لفصل الربيع حيث انخفض عنه بمقدار (4.53مم)، أما شهر إبريل فتعاود معدلات التبخر انخفاضها حيث انخفضت خلال هذا الشهر عن شهر مارس بمقدار (17.3مم) ويعود هذا إلى ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية خلال هذا الشهر نسبياً وكذلك لارتفاع منطقة الدراسة وبالتالي انخفاض معدل التبخر خلال هذا الشهر عن المعدل الفصلي لفصل الربيع بمقدار (21.83مم)، إلا أنه يلاحظ ارتفاع معدلات التبخر خلال شهر مايو ارتفاعاً ملحوظاً وواضحاً حيث وصلت إلى (106.9مم) بزيادة قدرها (48.2مم) عن شهر إبريل ويعود هذا إلى ارتفاع الإشعاع الشمسي المكتسب والذي وصل خلال هذا الشهر إلى (644 سعر سم2/يوم) وكذلك لارتفاع معدل درجة الحرارة والذي وصل إلى 20°م، كما ترتفع معدلات التبخر خلال هذا الشهر عن المعدل الفصلي بمقدار (26.37مم)، كما اتضح أن المعدل الفصلي لتبخر ثورنثويت خلال فصل الربيع ارتفع إلى (80.53مم) عنه في فصل الشتاء والذي بلغ (56.8مم) بزيادة قدرها (23.73مم) وبنسبة تصل إلى (29.5%)، كما يلاحظ أن معدل فصل الربيع ينخفض عن المعدل السنوي بمقدار (5.3مم) وبنسبة قدرها (6.2%).
3. ترتفع معدلات تبخر ثورنثويت في فصل الصيف حيث تتراوح بين (118.1مم، 123.53مم)، ففي شهر يونيه بداية فصل الصيف ترتفع معدلات التبخر عن شهر مايو السابق له وذلك بمقدار (16.63مم)، وأيضاً ترتفع عن المعدل الفصلي وإن كان هذا الارتفاع ضئيلاً حيث يبلغ (2.23مم)، ويعد شهر يونية أكثر الشهور تبخراً طبقاً لمعادلات ثورنثويت حيث تبدأ بعده معدلات التبخر في الانحدار التدريجي مرة أخرى، فانخفضت معدلات التبخر خلال شهر يوليه عن شهر يونيه انخفاضاً ضئيلاً بلغ (1.26مم)، إلا أنها بقيت مرتفعة عن معدل فصل الصيف ارتفاعاً ضئيلاً

أيضاً لا يتعدى (0.97مم)، أما شهر أغسطس وهو أدنى شهور فصل الصيف من حيث كميات التبخر طبقاً لثورنثويت حيث يبلغ (118.1مم) منخفضاً بذلك عن شهر يوليه بمقدار (4.17مم) ومنخفضاً أيضاً عن المعدل الفصلي بمقدار (3.2مم)، كذلك نلاحظ أن معدل تبخر ثورنثويت خلال فصل الصيف هو أكبر المعدلات حيث يصل إلى (121.3مم) مرتفعاً عن معدل الربيع بمقدار (40.77مم) وبنسبة قدرها (50.6%)، كذلك يزيد عن معدل فصل الخريف بمقدار (36.3مم) وبنسبة تصل إلى (43.2%)، كما يلاحظ أن معدل فصل الصيف يزيد عن المعدل السنوي بمقدار (35.47مم) وبنسبة قدرها (41.3%).

4. تنخفض معدلات تبخر ثورنثويت خلال فصل الخريف، ويبدأ هذا الانخفاض بدءً من شهر سبتمبر بداية فصل الخريف والذي انخفضت فيه معدلات التبخر عن شهر أغسطس السابق له بمقدار (13.34مم) إلا أنه خلال شهر سبتمبر يظل معدل التبخر أعلى من المعدل الفصلي بمقدار (20.06مم) وبنسبة تصل إلى (23.7%)، ويأتي شهر أكتوبر حيث تنخفض معدلات التبخر انخفاضاً ملحوظاً خلال هذا الشهر عن شهر سبتمبر ووصل هذا الانخفاض إلى (20.58مم) إلا أن معدل شهر أكتوبر يكاد يتطابق مع المعدل الفصلي حيث كان معدل شهر أكتوبر (84.18مم) والمعدل الفصلي (84.7مم)، أما شهر نوفمبر فهو أقل شهور الخريف من حيث معدلات التبخر والتي وصلت إلى (65.17مم) بانخفاض ملحوظ وقدره (19.01مم) عن الشهر السابق له، كما ينخفض معدل شهر نوفمبر عن المعدل الفصلي بمقدار (19.53مم)، وأيضاً ينخفض معدل فصل الخريف عن المعدل السنوي انخفاضاً طفيفاً يصل إلى (1.13مم) وبنسبة قدرها (1.3%) فحسب.

5. لا تزيد معدلات تبخر ثورنثويت بصفة عامة زيادات كبيرة في أي فصل من فصول السنة وإن حدث زيادة فتكون هذه الزيادة قليلة، كذلك لوحظ ارتفاع معدلات التبخر طبقاً لثورنثويت بمنطقة الدراسة خلال الفترة من شهر مايو إلى شهر سبتمبر، ويعزى ذلك إلى الأمطار الموسمية والتي تسقط خلال تلك الفترة بالإضافة إلى ارتفاع معدلات عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية وبالتالي كمية الإشعاع الشمسي المكتسب، وأيضاً درجات الحرارة، مع انخفاض ملحوظ في معدلات الرطوبة النسبية (جدول رقم 1).

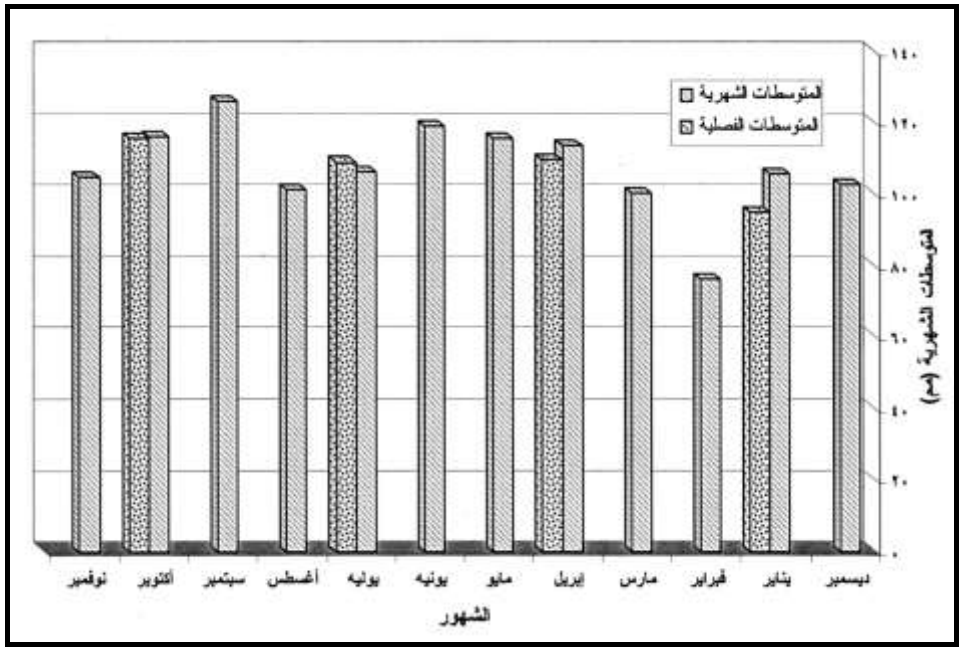
(3) التوزيع الشهري والفصلي للتبخر حسب معادلة بليني وكريدل:

من خلال تطبيق معادلة بليني وكريدل يدل للتبخر (نعمان شحادة، 1983، ص ص 121 ـ 122) على محطة أبها المناخية (ملحق 9) نتج الجدول رقم (4) والشكل رقم (6) ومن خلال تحليلهما يتضح الآتي:

جدول (4) : متوسط كميات التبخر الشهرية حسب معادلة بليني وكريدل.

الشهور / المتوسطات	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونيه	يوليه	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	المعدل السنوي
المتوسطات الشهرية	102.85	105.74	75.97	100.37	113.78	115.42	119.14	106.31	101.28	126.05	115.92	104.75	107.30
المتوسط الفصلي		94.85			109.86			108.91			115.57		107.30

الجدول من عمل الباحث اعتماداً على البيانات المناخية لمحطة أبها ومعادلة بليني وكريدل، ملحق رقم (9).



شكل (6) : كميات التبخر الشهرية والفصلية طبقا لمعادلة بلينى وكريدل بمنطقة أبها.

1. تحدث أدنى معدلات تبخر بليني وكريدل في فصل الشتاء، فاتضح أن أقل معدل للتبخر كان خلال شهر فبراير (75.97مم) يليه في ذلك شهر ديسمبر (102.85مم) ثم شهر يناير (105.74مم)، كما اتضح أن معدل فصل الشتاء أقل معدل فصلي حيث بلغ (94.85مم)، أيضاً وجد أن معدل فصل الشتاء ينخفض عن المعدل السنوي بمقدار (12.45مم) وبنسبة تصل إلى (11.6%).
2. تأخذ معدلات تبخر بليني وكريدل في التزايد التدريجي ابتداءً من شهر مارس أول أشهر فصل الربيع، حيث بلغت (100.37مم) ثم ازدادت إلى (113.78مم، 115.42مم) خلال شهري

إبريل ومايو على التوالي، أيضاً وجد أن معدل فصل الربيع أخذ في التزايد حيث زاد عن معدل فصل الشتاء بمقدار (15.01مم) وبنسبة تصل إلى 15.8%)، كذلك فقد ارتفع معدل تبخر بليني وكريدل الفصلي خلال فصل الربيع عن المعدل السنوي بمقدار (2.56مم) وبنسبة تصل إلى (2.4%).

3. تستمر معدلات بليني وكريدل للتبخر في الارتفاع خلال شهر يونيه (بداية فصل الصيف) حيث وصلت إلى (119.14مم)، إلا أنها عادت وانخفضت مرة أخرى إلى (106.31مم، 101.28مم) خلال شهري يوليه وأغسطس على الترتيب، أيضاً يلاحظ ثبات المعدل الفصلي مثلما كان عليه في فصل الربيع حيث وصل إلى (108.91مم).
4. يتضح أيضاً من خلال قراءة الجدول رقم (4) والشكل رقم (6) أنه مع بداية فصل الخريف يرتفع معدل تبخر بليني وكريدل عن جميع الأشهر السابقة وكذلك عن الأشهر اللاحقة أي أن شهر سبتمبر يمثل أقصى معدل شهري خلال العام لتبخر بليني وكريدل حيث وصل إلى (126.05مم) بزيادة قدرها (24.77مم) وبنسبة قدرها (24.45%) ويعود هذا إلى حركة الشمس الظاهرية وكذلك لانخفاض معدل الرطوبة النسبية والتي كانت أقل ما يمكن خلال هذا الشهر (43%)، إلا أن هذا المعدل أخذ في الانخفاض تدريجياً خلال بقية شهور فصل الخريف حيث كان (115.92مم، 104.75مم) خلال شهري أكتوبر ونوفمبر على التوالي. وفي نفس الوقت نجد أن المعدل الفصلي لفصل الخريف يبلغ أقصى معدل فصلي طبقاً لتبخر بليني وكريدل حيث وصل إلى (115.57مم) بزيادة قدرها (6.66مم) وبنسبة تصل إلى (6.1%) عن فصل الصيف، كما أن معدل فصل الخريف يزيد عن المعدل السنوي بمقدار (8.27مم) وبنسبة قدرها (7.7%) ويعود هذا إلى انخفاض معدلات الرطوبة النسبية خلال أشهر فصل الخريف وأيضاً ارتفاع عدد ساعات سطوع الشمس خلال هذا الفصل (جدول رقم 1).

مقارنة بين تبخر الحوض «أ» والتبخر المحسوب رياضياً:

مما تقدم ومن خلال قراءة الجدول رقم (5) والذي يوضح قيم التبخر المقاسة والمحسوبة رياضياً والشكلين (7، 8) يتضح لنا الآتي:

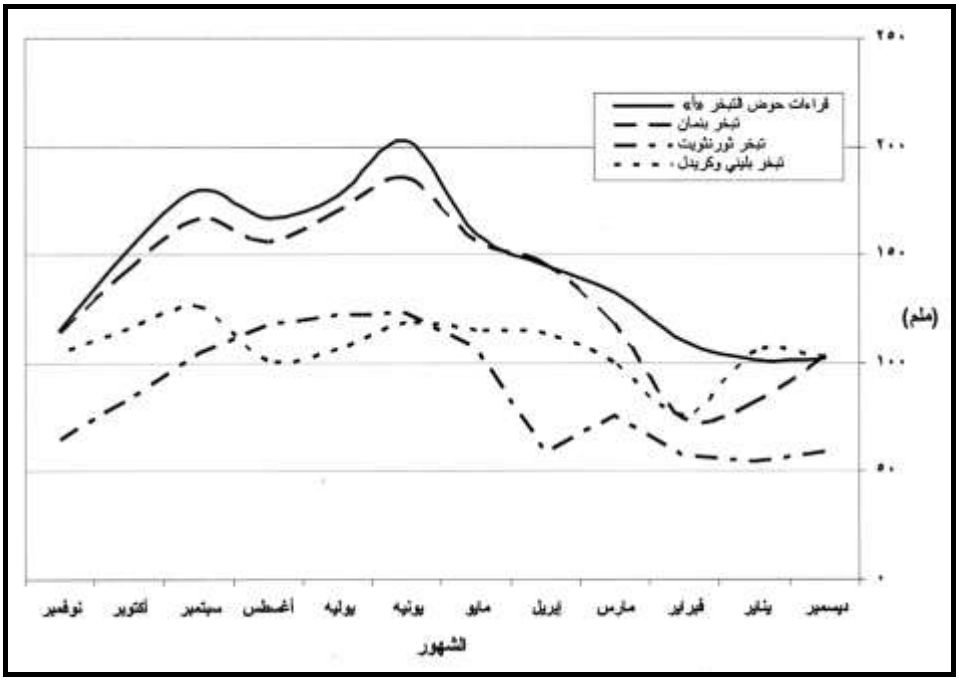
جدول (5) : قيم التبخر المقاسة والمحسوبة رياضياً في أبها (مم).

التبخر / قراءات حوض التبخر	تبخر بنمان	تبخر ثورنثويت	تبخر بليني وكريدل

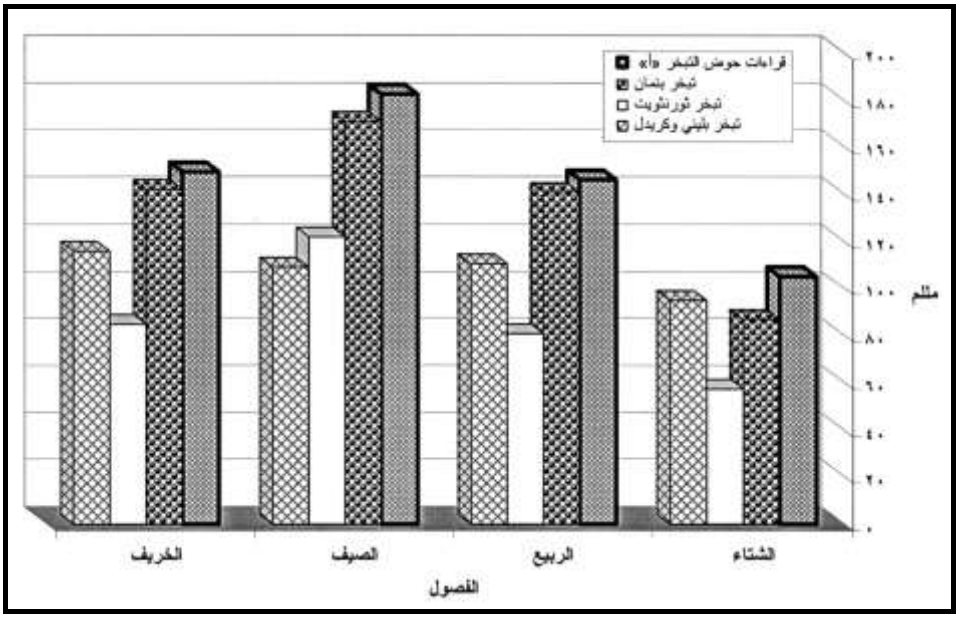
الشهور		«أ»							
		المتوسطات الشهرية	المتوسط الفصلي	الشهري	الفصلي	الشهري	الفصلي	الشهري	الفصلي
ديسمبر		102.2		103.73		58.94		102.85	
يناير	الشتاء	101.2	104.5	82.35	86.74	54.73	56.8	105.74	94.85
فبراير		110.2		74.15		56.73		75.97	
مارس		132.6		118.79		76.0		100.37	
إبريل	الربيع	145.1	145.7	145.89	140.58	58.7	80.53	113.78	109.86
مايو		159.5		157.06		106.9		115.42	
يونيه		202.6		185.52		123.53		119.14	
يوليه	الصيف	177.1	182.1	170.85	170.85	122.27	121.3	106.31	108.91
أغسطس		166.7		156.18		118.1		101.28	
سبتمبر		180.1		166.62		104.76		126.05	
أكتوبر	الخريف	152.4	149.2	143.52	141.47	84.18	84.7	115.92	115.57
نوفمبر		115.0		114.27		65.17		104.75	
المتوسط السنوي		145.39	145.39	134.91	134.91	85.83	85.83	107.3	107.3

من عمل الباحث اعتماداً على البيانات المناخية ومعادلات كل من بنمان، وثورنثويت، و بليني وكريدل (ملاحق رقم 1، 6، 9).

1. تختلف معدلات التبخر باختلاف الطريقة التي تم بها قياس أو حساب التبخر.
2. زيادة معدلات التبخر المقاس (تبخر الحوض «أ») معدلات التبخر المحسوب بالمعادلات الرياضية.
3. يختلف نمط توزيع التبخر للحوض «أ» عن التبخر المحسوب رياضياً، حيث نجد أن نمط التوزيع المقاس نمط منتظم ويتغير بتدرج من شهر إلى آخر، أما التبخر المحسوب وخاصة تبخر ثورنثويت فهو غير منتظم فلكل شهر نمط توزيعي يختلف عن الآخر.
4. توزيع معدلات تبخر بليني وكريدل يختلف تماماً عن نمط توزيع التبخر المقاس وعن نمط توزيع تبخر ثورنثويت وهو يبدو متشابه في كل الفصول تقريباً مع اختلاف طفيف من فصل إلى آخر وينحصر الاختلاف تقريباً في كميات التبخر التي ترتفع صيفاً وتنخفض شتاءً سواء بالنسبة للتبخر المقاس بواسطة جوض التبخر «أ» أو التبخر المحسوب بالمعادلات الرياضية الأخرى (بنمان وثورنثويت).



شكل (7) : مقرنة بين المتوسطات الشهرية لتبخر الحوض "أ" والتبخر المحسوب رياضياً بمنطقة أبها.



شكل (8) : مقرنة بين المتوسطات الفصلية لتبخر الحوض "أ" والتبخر المحسوب رياضياً بمنطقة أبها.

5. أعلى معدل تبخر سجله تبخر الحوض «أ» كان خلال شهر يونيه ووصل إلى (202.6مم) وهذا أيضاً ما سجله أعلى معدل تبخر محسوب لكل من ثورنثويت وبنمان حيث كان معدل التبخر خلال نفس الشهر (يونيه) 123.53مم، 185.52مم على الترتيب،بينما بلغ أعلى معدل تبخر سجله بليني وكريدل خلال شهر سبتمبر حيث بلغ 126.05مم، بينما بلغ أدنى معدل للتبخر سجل من خلال تبخر الحوض «أ» في شهر يناير وكان (101.2مم) واتفق مع تبخر الحوض «أ» من التبخر المحسوب تبخر ثورنثويت خلال نفس الشهر وكان (54.73مم) بينما كان أدنى تبخر محسوب لكل من بنمان وبليني وكريدل خلال شهر فبراير ووصل إلى (74.15مم، 75.97مم) على التوالي.
6. تتقارب معدلات تبخر ثورنثويت و بليني وكريدل وتنخفض معدلاتها عن تبخر بنمان والذي يقترب في معدلاته كثيراً من تبخر الحوض «أ» بل تتساوى معها تقريباً في ثلاثة أشهر هي (إبريل، نوفمبر، ديسمبر).
7. ترتفع قيم التبخر تدريجياً في فصل الربيع إلى أن تصل إلى أعلى معدلاتها خلال فصل الصيف، ينخفض بعدها في فصل الخريف حتى يصل إلى أدنى معدلاته خلال فصل الشتاء.
8. يعود انخفاض معدلات التبخر بصفة عامة في أبها إلى ارتفاعها (2200متر) مما يساعد على انخفاض درجات الحرارة والتي تعمل على انخفاض معدلات التبخر.
9. معظم معدلات التبخر المقاس والمحسوب تتوافق في أعلى معدلاتها خلال شهر يونيه فيما عدا تبخر بليني وكريدل والذي يظهر أعلى معدل له خلال شهر سبتمبر ويعود هذا لارتفاع عدد ساعات سطوع الشمس (8.8 ساعة/يوم)، وكمية الإشعاع الشمسي المكتسب (593سعر سم2/يوم) في هذا الشهر دور فعال في ارتفاع تبخر بليني وكريدل حيث تدخل هذه المتغيرات ضمن حساب معادلات تبخره.

العلاقة الارتباطية بين تبخر الحوض «أ» المقاس والتبخر المحسوب:

لمعرفة درجة الارتباط الإحصائية بين متوسطات تبخر الحوض «أ» ومتوسطات التبخر المحسوبة رياضياً «تبخر ثورنثويت، تبخر بنمان، تبخر بليني وكريدل» أثناء فصول السنة، وباستخدام معامل ارتباط بيرسون Person Corrlation Coefficint وتطبيقه على محطة أبها المناخية، ومن خلاله نتج الجدول رقم (6) والذي يوضح ناتج معامل الارتباط بين تبخر الحوض «أ» والتبخر المحسوب رياضياً أثناء فصول السنة المختلفة، كذلك معامل الارتباط بين التبخر المحسوب بعضه البعض أثناء فصول السنة المختلفة، ومن خلال قراءة الجدول يتضح لنا الآتي:

جدول (6) : معامل الارتباط بين تبخر الحوض «أ» والتبخر المحسوب

«تبخر ثورنثويت وتبخر بنمان وتبخر بليني وكريدل»

الفصول	تبخر الحوض «أ» / تبخر ثورنثويت	تبخر الحوض «أ» / تبخر بليني وكريدل	تبخر الحوض «أ» / تبخر بنمان	تبخر ثورنثويت/ تبخر بليني وكريدل	تبخر ثورنثويت/ تبخر بنمان	تبخر بليني وكريدل/ تبخر بنمان
الشتاء	0.58	1.00	0.83	0.59	0.72	0.84
الربيع	0.66	0.92	0.95	0.68	0.67	0.99
الصيف	0.95	1.00	1.00	0.95	0.26	0.79
الخريف	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00
السنوي	0.91	0.68	0.95	0.67	0.92	0.80

الجدول من عمل الباحث اعتماداً على معادلة ارتباط بيرسون (نعمات شحادة، 1997، ص 339) والجداول من (1 . 5).

1. هناك علاقة موجبة ودرجة ارتباط عالية وقوية بين تبخر الحوض «أ» وكلاً من تبخر ثورنثويت وتبخر بنمان، حيث كان معامل الارتباط (+ 0.91، + 0.95) على التوالي، بينما كانت العلاقة بين حوض التبخر «أ» وتبخر بليني وكريدل موجبة ولكن درجة الارتباط بينهما متوسطة حيث كان معامل الارتباط (+ 0.68).
2. معامل الارتباط السنوي بين التبخر المحسوب بعضه البعض، كانت درجة الارتباط بين كل من تبخر ثورنثويت وتبخر بنمان وكذلك بين تبخر بنمان وتبخر بليني وكريدل عالية وقوية حيث كان معامل الارتباط (+ 0.92، + 0.80) على الترتيب، كذلك كان هناك علاقة موجبة ولكن درجة الارتباط متوسطة بين كل من تبخر ثورنثويت وتبخر بليني وكريدل حيث كان معامل الارتباط (+ 0.67).
3. هناك علاقة موجبة بين تبخر الحوض «أ» والتبخر المحسوب في جميع أشهر السنة غير أنها تختلف باختلاف المتغيرات وباختلاف الفصول، حيث تبدو هذه العلاقة متوسطة في بعض الأحيان كما هو الحال في فصلي الشتاء والربيع في العلاقة الارتباطية بين تبخر الحوض «أ» وتبخر ثورنثويت، حيث كانت العلاقة موجبة ولكن درجة الارتباط بينهما متوسطة فقد كان معامل الارتباط (+ 0.58، + 0.66) على الترتيب. بينما تبدو العلاقة الارتباطية قوية وعالية وموجبة في أحيان أخرى، حيث كان معامل الارتباط ذات درجة عالية وقوية وموجبة بين كل من تبخر الحوض «أ» وتبخر كل من بليني وكريدل وبنمان في جميع فصول السنة حيث تراوحت قيمة معامل الارتباط خلالها بين (+ 0.83، + 1.00).
4. أيضاً ومن خلال قراءة الجدول رقم (6) نجد أن معامل الارتباط بين التبخر المحسوب رياضياً بعضه البعض موجب إلا أن درجة الارتباط تكون أحياناً منخفضة وضعيفة كما هو الحال في معامل الارتباط بين تبخر ثورنثويت وتبخر بليني وكريدل خلال فصلي الشتاء والربيع حيث كان

الارتباط متوسطاً (+ 0.59،+ 0.68) على التوالي، كذلك الحال في العلاقة الارتباطية بين تبخر ثورنثويت وتبخر بنمان خلال فصل الربيع حيث كانت درجة الارتباط متوسطة (+ 0.67)، إلا أننا نجد أنها كانت علاقة منخفضة وضعيفة خلال فصل الصيف (+ 0.26). وأحياناً أخرى تكون العلاقة بين التبخر المحسوب رياضياً علاقة قوية وعالية الارتباط مثلما هو الحال في العلاقة الارتباطية خلال جميع فصول السنة بين تبخر بليني وكريدل وتبخر بنمان حيث كانت درجة الارتباط تتراوح بين (+ 0.79، + 1.00).

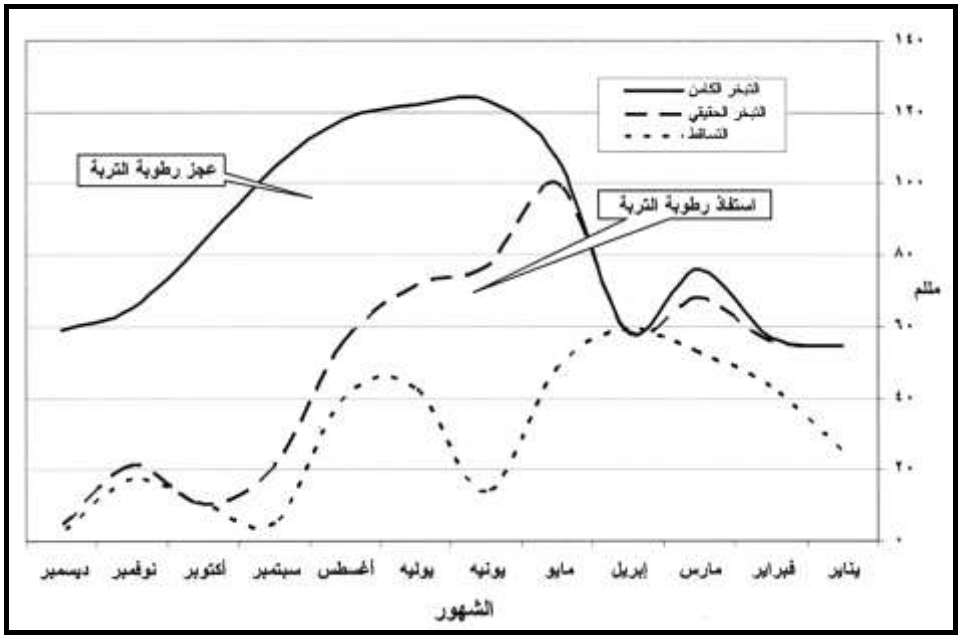
5. نخلص من هذا أن العلاقة الارتباطية بين تبخر الحوض «أ» وتبخر ثورنثويت خلال فصلي الشتاء والربيع علاقة متوسطة الارتباط، كذلك الحال في العلاقة الارتباطية بين تبخر ثورنثويت وتبخر بليني وكريدل خلال نفس الفصلين، كما اتضح أن العلاقة الارتباطية بين تبخر ثورنثويت وتبخر بنمان خلال فصل الصيف كانت درجة الارتباط ضعيفة ومنخفضة، أما بقية شهور السنة فهي ذات درجة ارتباط موجبة عالية وقوية.

الميزانية المائية بمنطقة أبها :

تم في هذا البحث تطبيق الأسلوب المعدل لحساب الميزانية المائية والذي اقترحه وليام ثورنثويت عام 1957 على محطة أبها المناخية، ومن المعروف أن منطقة أبها (المرتفعات الجنوبية الغربية) تتميز بتربة غرينية (Loamy Sands) والتي تقدر سعتها الحقلية بنحو 200مم تقريباً (John. R. Mather, 1977, P. 40) . وعلى أساس السعة الحقلية لنوعية التربة حددت رطوبة التربة المتاحة Available Moisture لأشهر السنة المختلفة من الجداول الخاصة التي أعدها ثورنثويت (1957) لحساب متغيرات الميزانية المائية، ونتج عن ذلك الجدول رقم (7) والذي يوضح المتغيرات الأساسية للميزانية المائية على المستوى الشهري لمحطة أبها وكذلك الشكل رقم (9) والذي يمثل المتوسطات الشهرية للأمطار والتبخر الكامن والتبخر الحقيقي (الفعلي) ويتضح من خلال تحليل هذا الجدول وكذلك الشكل رقم (9) الآتي:

1. العجز المائي على مدى أشهر السنة مما يؤدي بطبيعة الحال إلى تدهور الرطوبة المتاحة في التربة إلى الحد الأدنى والذي ينعكس سلباً على الإمكانيات الزراعية والنمو النباتي في منطقة الدراسة.
2. ارتفاع معدلات التبخر الحقيقي خلال الفترة من يناير وحتى أغسطس ويعزى ذلك إلى ارتفاع كميات التساقط خلال تلك الفترة، بينما تنخفض خلال الفترة من سبتمبر وحتى ديسمبر ويعود ذلك لانخفاض كمية التساقط خلال تلك الفترة.
3. يتناقص العجز المائي وتزداد رطوبة التربة حتى تصل إلى مرحلة التشبع في شهر إبريل، وتصبح هناك نسبة ضئيلة جداً (0.7مم) من الفائض المائي، ويصل العجز المائي أقصاه في شهر سبتمبر (83.36مم) يليه شهر أكتوبر (73.88مم).

4. تبدأ معدلات الأمطار تقل ومعها يزداد التبخر الفعلي والكامن وتبدأ رطوبة التربة في التناقص ويبدأ معدل العجز المائي في الارتفاع ابتداءً من شهر مايو ويستمر حتى شهر ديسمبر حيث يصل أقصاه خلال شهر سبتمبر (83.36مم).
5. يتناقص العجز المائي خلال الفترة من يناير وحتى مارس نظراً لارتفاع معدلات التساقط وما يصاحبها من ارتفاع في التبخر الحقيقي، كذلك يلاحظ ارتفاع رطوبة التربة خلال هذه الفترة.



شكل (9) : الميزانية المائية (مللم) بمنطقة أبها.

الخلاصة :

على ضوء التحليل المناخي والإحصائي والبياني، يتضح من خلال دراسة التبخر والموازنة المائية بمنطقة أبها بالمملكة العربية السعودية الآتي:

1. ترتفع معدلات التبخر المقاس والمحسوب بصفة عامة في منطقة الدراسة وذلك نتيجة لارتفاع درجات الحرارة وزيادة معدلات الإشعاع الشمسي بالإضافة إلى انخفاض معدلات الأمطار ومعدلات الرطوبة الجوية.
2. التبخر المقاس (حوض التبخر «أ») يزيد عن التبخر المحسوب بصفة عامة وإن اختلفت هذه الزيادة من شهر إلى آخر ومن فصل إلى آخر.

3. معدلات التبخر المحسوب تتأثر بفعالية العناصر المناخية والبيئية التي تدخل في معادلات حساب التبخر خاصة معادلة ثورنثويت والتي تعتمد أساساً على العنصر الحراري وغيره من العناصر المناخية.
4. تعتبر نتائج معادلة بنمان أكثر النتائج قرباً من تبخر الحوض «أ»، بينما تعتبر نتائج معادلتي ثورنثويت وبليني وكريدل أقل من تبخر الحوض «أ» على وجه العموم.
5. كميات العجز المائي كبيرة خاصة في فصلي الصيف والخريف حيث يبدأ من شهر مايو ويستمر حتى شهر ديسمبر، كما أن كميات التساقط قليلة بصفة عامة خاصة خلال فصل الخريف مما يؤكد أن الحاجة إلى المياه تستمر طوال العام تقريباً، وهذا يتطلب المحافظة على الماء وترشيد استهلاكه وذلك من خلال استخدام طرق ووسائل تتناسب وإمكانيات منطقة أبها من الموارد المائية.
6. من خلال تطبيق المعادلات الرياضية والجداول والأشكال البيانية المرفقة والسابقة الذكر يتضح أنه لا يمكن الاعتماد على الأمطار وحدها في منطقة أبها لأغراض الزراعة لقلة الكميات المتساقطة وعدم كفايتها.

ملحق (1) : معادلة بنمان لحساب البخر من المسطح المائي.

اقترح بنمان معادلة تجريبية لحساب التبخر من المسطحات المائية المكشوفة معتمداً على توازن الطاقة من جهة وعلى حركة الهواء كقوة تبخيرية من جهة أخرى، ويمكن توضيح هذه المعادلة على النحو التالي:

$$ت = \frac{(أ / ب) \times هـ + ص}{1 + (أ / ب)}$$ «نعمان شحادة، 1983، ص 101»

حيث تمثل:

ت = التبخر من المسطح المائي

أ = درجة انحدار منحنى ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الحرارة المطلوبة.

هـ = الموازنة الحرارية للمسطح المائي.

ص = متغير يعتمد على سرعة الرياح والفرق في ضغط بخار الماء.

ب = ثابت معادلة السيكرومتر وهو يساوي 0.65 .

هذا وقد قدرت قيمة (أ / ب) من خلال ملحق رقم (2)، أما قيمة «هـ» في معادلة بنمان والتي تمثل الموازنة الحرارية للمسطح المائي فيمكن تقديرها وفقاً للمعادلة التالية «نعمان شحادة، 1983، ص101».

هـ = ش [(1 . س) (0.18 + 0.55) ع / ن] – ث ت 4 (0.56 ـ 0.1 × ص (أ) × (0.1 + 0.9 × ع / ن)

حيث تمثل:

هـ = الموازنة الحرارية للمسطح المائي.

ش = الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجوداً.
ملحق رقم (3) «نعمان شحادة، 1983، ص 59».

س = معامل انعكاس الأشعة [يساوي (0.05) في الأسطح المائية]

ع = عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية.

ن = عدد ساعات سطوع الشمس نظرياً «طول النهار» ملحق رقم (4) «نعمان شحادة، 1983، ص 60».

ث = ثابت ستيفن ـ بولتزمان.

ت4 = درجة حرارة الهواء المطلقة.

ض(أ) = ضغط بخار الماء الجوي (مم)

أما (ص) والتي تمثل ديناميكية الهواء في معادلة بنمان فإنه يمكن تقديرها وفقاً للمعادلة التالية «نعمان شحادة، 1983، ص102».

ص = 0.35 [ض(س) - ض(أ)] × [0.5 + س (2) / 100].

ض(أ) = ضغط بخار الماء الجوي (مم)

حيث تمثل:

ص = سرعة الرياح والفرق في ضغط بخار الماء.

ض(س) = ضغط بخار الماء الإشباعي «مم/ يوم» (ملحق 5).

ض(أ) = ضغط بخار الماء الجوي (مم/ يوم)

س(2) = حركة الرياح «كم / يوم».

وبناء على ما تقدم يتضح أنه عند تطبيق معادلة بنمان لحساب التبخر في أبها بالمملكة العربية السعودية نحتاج إلى المعلومات التالية التي يتم قياسها في محطة الرصد الجوي وهي:

معدل درجة الحرارة اليومي.

جريان الرياح اليومي Wind Run

معدل ضغط بخار الماء Vapor Pressure

عدد ساعات سطوع الشمس الفعلية Actual Sun Shine Hours

الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض Solar Radiation

وتحول كمية الإشعاع الشمسي (سعر سم/ يوم) إلى ما يقابلها من بخار الماء وذلك بقسمتها على 58.8 ثم ضربها في 0.95 وذلك لحساب التبخر من المسطح المائي وذلك على أساس أن معامل انعكاس الأشعة من المسطح المائي هو 0.5 .

كما أن استخدام معادلة بنمان يحتاج إلى حساب المعلومات التالية:

1) درجة انحدار منحنى ضغط بخار الماء (أ) [ملحق رقم 2].
2) ثابت معادلة السيكرومتر (ب) [ملحق رقم 2].
3) ضغط بخار الماء الإشباعي ض (س).
4) الإشعاع الشمسي الذي يصل سطح الأرض لو لم يكن الغلاف الجوي موجوداً (ش). [ملحق 3].
5) عدد ساعات سطوع الشمس النظري (ن) [ملحق رقم 4].
6) الإشعاع الأرضي (معادلة بنمان).

ملحق (2)

ملحق (3)

ملحق (4)

ملحق (5) : ضغط بخار الماء الإشباعي (ملليبار).

درجة الحرارة	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	6	7	7	8	8	9	19	11	11	11
10	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22
20	23	25	26	28	30	32	34	36	38	40
30	42	45	48	50	53	56	59	63	66	70
40	74	78	82	86	91	96	101	106	112	117

ملحق (6) : معادلة ثورنثويت.

معادلة ثورنثويت تقوم على حساب التبخر عن طريق استخدام درجة الحرارة فقط، إلا أنها تضع شروطاً معينة لصحتها بالنسبة للرطوبة وسرعة الرياح والمعادلة الرئيسية لثورنثويت هي:

ت = 1.6 (10ح/ق)أ

حيث :

ت = معدل التبخر الشهري (مم).

ح = معدل درجة الحرارة الشهرية (°م).

ق = قرينة سنوية للحرارة وتتكون من مجموع اثنتي عشرة قرينة شهرية.

ويمكن حساب قرينة الحرارة الشهرية (ق) وفق المعادلة التالية:

ق = (ح / 5) 1.541 (جدول رقم 5 ملاحق)

حيث:

ح = المعدل الشهري لدرجة الحرارة.

أما (أ) في معادلة ثورنثويت الرئيسية فإنها تمثل دالة للقرينة الحرارية وتحسب وفقاً للمعادلة التالية:

أ = 0.000000675 ق3 – 0.000071 ق2 + 0.01792 ق + 0.49239

وبعد حساب التبخر الشهري وفقاً لمعادلة ثورنثويت، يجري تعديل النتائج وفقاً لطول الشهر وطول الأيام، إذ أن التبخر يُحسب أصلاً لشهر طوله 30 يوم ويبلغ طول النهار في كل يوم فيه 12 ساعة. (جدول رقم 6 ملاحق) «نعمان شحادة، 1983، ص ص 113 ـ 117».

ملحق (7) : قرائن الحرارة الشهرية (ق0) التي تقابل درجات حرارة مختلفة.

درجة الحرارة (م)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0.09	0.25	0.46	0.71	1.00	1.32	1.66	3.04	2.44
10	2.86	3.30	3.76	4.25	4.75	5.28	5.82	6.38	6.95	7.55
20	8.16	8.78	9.42	10.08	10.75	11.44	12.13	12.85	13.58	14.32
30	15.07	15.84	16.62	17.41	18.22	19.03	19.86	20.70	21.56	22.42

* نعمان شحادة، 1983، ص 116

ملحق (8) : القيم التي تستعمل في تعديل معدلات التبخر الشهرية في معادلة ثورنثويت.

درجة العرض	يناير	فبراير	مارس	إبريل	مايو	يونية	يولية	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
0	1.04	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01	1.04
5 شمالاً	1.02	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
10	1.00	0.91	1.03	1.03	1.06	1.08	1.07	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.00	0.94
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.70	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.02	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	0.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.19	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.19	1.20	1.14	1.03	0.98	0.88	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.20	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86
34	0.88	0.85	1.03	1.09	1.20	1.20	1.22	1.16	1.03	0.97	0.87	0.86
35	0.87	0.85	1.02	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85

* نعمان شحادة، 1983، ص 117.

ملحق (9) : معادلة بليني وكريدل.

تعتمد معادلة بليني وكريدل على حساب التبخر باستخدام درجة الحرارة فقط، ومعامل خاص لاستهلاك الماء يختلف من نبات لآخر، ويمكن توضيح تفاصيل المعادلة على النحو التالي:

ت = ك × ح × ع «نعمان شحادة، 1983، ص 122»

حيث أن:

ت = التبخر الشهري (بوصة).

ك = معامل استهلاك النبات للماء.

ح = المعدل الشهري لدرجة الحرارة (ف).

ع = النسبة الشهرية لعدد ساعات سطوع الشمس بالنسبة للسنة كلها (جدول رقم 7 ملاحق)، «نعمان شحادة، 1983، ص 121»

ويلاحظ أن قيمة (ك) تختلف من نبات لآخر ويوضح ذلك (جدول رقم 8 ملاحق) «نعمان شحادة، 1983، ص 122». ولقد اعتمدت الدراسة الحالية في تطبيقها معادلة بليني وكريدل على القيمة (0.75) للمعامل (ك) والذي قد يمثل إلى حد ما الحشائش الصحراوية والتي تتميز بها منطقة الدراسة.

ملحق (10) : النسبة الشهرية لعدد ساعات سطوع الشمس بالنسبة للسنة كلها.

درجة العرض	24	32	40	48	50
يناير	7.58	7.20	6.76	6.17	5.98
فبراير	7.17	6.97	6.73	6.46	6.32
مارس	8.40	6.37	8.33	8.27	8.25
إبريل	8.60	8.75	8.95	9.18	9.25
مايو	9.30	9.63	10.02	10.53	10.69
يونية	9.20	9.60	10.08	10.72	10.93
يولية	9.41	9.77	10.22	10.80	10.99
أغسطس	9.05	9.28	9.54	9.89	10.00
سبتمبر	8.31	8.34	8.38	8.44	8.44
أكتوبر	8.09	7.93	7.75	7.51	8.43
نوفمبر	7.43	7.11	6.72	6.22	6.07
ديسمبر	7.46	7.05	6.52	5.86	5.65

* نعمان شحادة، 1983، ص 121.

ملحق (11) : معامل استهلاك بعض المزروعات للمياه (ك).

النبات	طول فصل النمو	معامل استهلاك الماء
الحلفا	خالٍ من الصقيع	0.85
الفاصوليا	3 شهور	0.65
الذرة	4 شهور	0.75
القطن	7 شهور	0.62
الحمضيات	7 شهور	0.55
بساتين نفضية	خالٍ من الصقيع	0.65
حشائش	خالٍ من الصقيع	0.75
البطاطا	3 شهور	0.70
الأرز	3 ـ 4 شهور	10.0
الحبوب	3 شهور	0.75
الشمندر	0.5 شهر	0.70

* نعمان شحادة، 1983، ص 122.

المراجـع

أولاً : المراجع العربية:

1. المنظمة العربية للتنمية الزراعية (1977): المناخ الزراعي في الوطن العربي (السعودية)، الخرطوم.
2. عبدالرحمن صادق الشريف (2002): جغرافية المملكة العربية السعودية، الجزء الأول، الطبعة السادسة، العبيكان.
3. عبدالرحمن صادق الشريف (1976): مناخ إقليم جنوب غرب المملكة، مجلة الدارة، العدد الأول، السنة الثانية، ص ص 128 ـ 153.
4. عبدالله عبدالعزيز المغامس (1409): التقسيمات الإقليمية لخصائص الأمطار في جنوب غربي المملكة العربية السعودية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة الملك سعود، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
5. محمد عبدالله الجراش (1988): الميزان المائي المناخي في المملكة العربية السعودية، مجلة جامعة الملك عبدالعزيز، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جدة، المجلد الأول، ص ص 1 ـ 62.
6. محمد فوزي أحمد عطا (2001): التبخر والموازنة المائية في الأحساء بالمملكة العربية السعودية، المجلة الجغرافية العربية، الجمعية الجغرافية المصرية، العدد 38، الجزء الثاني، ص ص 269 ـ 294.
7. نعمان شحادة (1983): المناخ العملي، مطبعة النور النموذجية، الأردن.
8. نعمان شحادة (1997): الأساليب الكمية في الجغرافيا باستخدام الحاسوب، دار صفاء النشر والتوزيع، عَمان.
9. وزارة الزراعة والمياه (1988): قسم المياه، أطلس مناخ المملكة العربية السعودية.
10. وزارة الزراعة والمياه (2000): البيانات المناخية عن الفترة من 1966 وحتى 2000، إدارة تنمية موارد المياه ـ قسم الهيدرولوجيا، المملكة العربية السعودية.

ثانياً : المراجع الأجنبية:

11. Al-Taher, Abdulla Ahmed, (1992): Estimation of Potential Evapotranspiration in Al-Hassa Oasis, Saudi Arabia, An International Journal of Physical, Biological, Social, and Economic Geography and Applications in Environmental Planning and Ecology, Kluwer Academic Publishers- Dordrecht, Boston, London.
12. John. R. Mather, (1977): Work Book in Applied Climatology, v. xxx.
13. Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., (1957): Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and The Water balance Publications in Climatology, V. 10, No. 3.
14. Thornthwaite, C.W., (1948): An approach Towards A Rational Classification and Climate Geographical Rev. 38 p.p. 55-96.

* * *

التنمية العمرانية لبرزخ خليج السويس