حوليات آداب عين شمس المجلد ٤٨ (عدد يوليو – سبتمبر ٢٠٢٠)
http://www.aafu.journals.ekb.eg
(دورية علمية محكمة)
جامعة عين شمس
كلية الآداب

تحليل معايرة التبخر نتح الكامن اليومي الكامن بواسطة قياسات حوض التبخر نوع "أ" بمناطق المملكة العربية السعودية

فهدة فلاح بن حشر

المستخلص

تناولت هذه الدراسة معايرة تقديرات نماذج تورنثوايت Thornthwaite و بلاني-كريدل Blaney-Criddle و ماكينك Makkink و جنسن-هايس Jensen-Haise وإيفانوف Ivanov و تورك Turc بواسطة قياس التبخر- نتح الكامن لحوض التبخر نوع "أ" بست محطات مناخية هي محطة تبوك بشمال غربي المملكة ومحطتا مطار الملك خالد بالرياض و حائل والقيصومة بوسطها ومحطة خميس مشيط بجنوب غربها ومحطة الظهران بالساحل الشرقي وجدة بالساحل الغربي.

ولقد أوضحت نتائج هذا البحث وجود تباينات مكانية لكميات حوض التبخر نوع "أ" بين المحطات المدروسة وبين المحطات على مستوى تقديرات النماذج المطبقة من جهة وبين تقديرات النماذج على مستوى المحطة الواحدة خلال مختلف فصول السنة. وللمفاضلة بين أداء النماذج المذكورة تم تطبيق معايير إحصائية هي معدل الخطأ المطلق (MAE) وجذر معدل مربع الخطأ (RMSE) والنسبة المئوية للخطأ (PE) ومعامل المصداقية (RC). ولقد تبين أن نموذج بلاني- كريدل هو أفضل النماذج بمحطتي مطار الملك خالد بالرياض وتبوك وأن نموذج ماكينك هو أفضل نموذج بمحطة خميس مشيط وأن نموذج إيفانوف هو أفضل النماذج بمحطتي القيصومة والظهران ونموذج تورك هو أفضل النماذج بمحطة جدة لتقدير المتوسط الشهري للتبخر- نتح وأن نموذج إيفانوف وتورك هما أفضل النماذج بمحطة حائل.

الكلمات المفتاحية :

التبخر- نتح الكامن، حوض التبخر نوع "أ"، نموذج تورنثويت، نموذج بلاني-كريدل، ماكينك، نموذج جنسن-هايس، تورك، نموذج إيفانوف، المملكة العربية السعودية.

© جميع حقوق الطبع والنشر محفوظة لحولية كلية الآداب - جامعة عين شمس ٢٠٢٠.

١- المقدمة

تعتبر عملية الفقد المائي بواسطة عملية التبخر- نتح من أكثر العمليات التي تهتم بها الدراسات المناخية والزراعية والهيدرولوجية لما لها من تأثير على الميزانية المائية للتربة وعلى الموارد المائية السطحية. ولقد نالت ظاهرة التبخر محل اهتمام الباحثين في المجال الزراعي والبيئي قبل حوالي قرنين بأوروبا وأمريكا نظراً لتأثيراتها على نمو النباتات الزراعية. وقد تطور بعد ذلك هذا الاهتمام ليشمل عناصر المناخ الأخرى من إشعاع شمسي ورطوبة جوية وأمطار وحرارة ورياح.

ويرجع الفضل في استخدام مصطلح التبخر- نتح Evapotranspiration إلى العالم تورنثوايت Thornthwaite في عام ١٩٤٨ لتوضيح مدى احتياجات النباتات للماء. ومنذ ذلك الحين نال هذا المصطلح شيوعاً كبيراً في الدراسات المناخية والزراعية والهيدرولوجية وحتى البيئية في وقتنا الحاضر لأنه يعتبر مؤشراً دقيقاً يمثل الفاقد المائي بواسطة عملية التبخر Evapotranspiration من التربة والفاقد المائي بواسطة عملية النتح Transpiration وهي كمية المياه التي تستهلكها النباتات لبناء أنسجتها خلال مختلف مراحل نموها. وفي هذا الصدد توصل تورنثوايت إلى تحديد نوعين من التبخر نتح هما ، التبخر نتح الكامن Potential Evapotranspiration وهو الحد الأعلى المحتمل لفقدان الماء والرطوبة من سطح الأرض والتربة تحت تأثير الحرارة والإشعاع الشمسي والذي يمكن أن يحدث في ظروف طبيعية وجوية عادية حتى لو لم تتوفر الرطوبة والماء. أما عند توفر هذين العنصرين فإن التبخر نتح الكامن يصبح مساوياً للتبخر الفعلي أو الحقيقي Actual Evapotranspiration.

ويتم قياس التبخر الفعلي بطريقة القياس المباشر للتبخر الذي يستخدم نوعين من القياسات، قياس التبخر بواسطة أحواض التبخر وهي تتنوع وأشهرها حوض التبخر نوع "أ" Class "A" Pan وحوض التبخر BPI Pan (Bureau Plant Industry) و خزان التبخر (Tank ٢٠$m^{٢}$). بالإضافة إلى هذه الطرق هناك أيضاً قياس التبخر مباشرة بواسطة جهاز الليزيمتر Lysimeter وهي من أكثر الطرق دقة في القياس المباشر للتبخر الفعلي من التربة. وهناك العديد من أنواع جهاز الليزيمتر أهمها الليزيمتر الوزني Weighted Lysimeter والليزيمتر الهيدروليكي Hydraulic Lysimeter والليزيمتر الحجمي Volumetric Lysimeter.

ونظراً لتعذر إجراء قياسات مباشرة للتبخر الفعلي بالكثير من مناطق العالم لأسباب مختلفة، فإنه تم استخلاص الكثير من النماذج الرياضية التجريبية بالاضافة إلى صور الأقمار الصناعية لتقدير التبخر نتح الكامن بالاعتماد على عناصر الطقس اليومية، وأشهرها :

١- نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن بواسطة درجة الحرارة وأكثرها استخداماً نماذج (تورنثوايت، ١٩٤٨ Thornthwaite) و (بلاني - كريدل، ١٩٥٠ Blaney - Criddle) و نموذج (هولدريدج، ١٩٥٩ Holdridge).

٢- نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن بواسطة الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة وأكثرها استخداماً نماذج (ماكينك، ١٩٥٧ Makkink) و (جنسن - هايس، ١٩٧٣ Jensen- Haise) و(هارقريفز وسامني ١٩٨٢ Hargrevaves - Samni) و (قارسيا و لوبز، ١٩٧٠ Garcia - Lopez).

٣- نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن اعتماداً على الاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وأكثرها استخداماً نماذج (إيفانوف، ١٩٥٤ Ivanov).

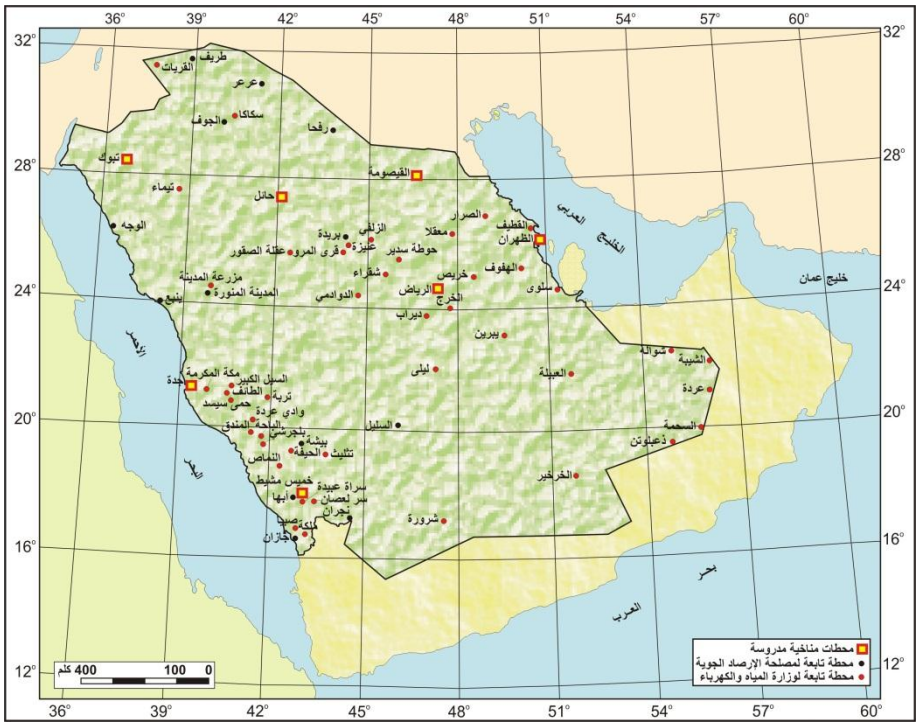
٤- نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن بواسطة الاشعاع الشمسي وعناصرالطقس وأكثرها استخداماً نموذجي (بنمان، ١٩٤٨ Penman) و (تورك، ١٩٦١ Turc).

٢- منطقة الدراسة والبيانات المناخية

تتناول هذه الدراسة تقدير التبخر- نتح الكامن بأربع محطات مناخية هي تبوك شمالاً و خميس مشيط بالجنوب الغربي والرياض وحائل بوسط المملكة العربية السعودية (الشكل ١ والجدول ١).

الجدول ١ : إحداثيات مواقع المحطات المناخية المدروسة

كود المحطة	اسم المحطة	الاحداثيات		الارتفاع عن سطح البحر (متر)
		دائرة العرض N	خط الطول E	
٤٠٤٣٧	مطار الملك خالد (الرياض)	٢٤°٥٥'٣١"	٤٦°٤٣'١٩"	٦١٣.٩
٤٠٣٩٤	مطار حائل الاقليمي	٢٧°٢٦'٠٤"	٤١°٤١'٢٨"	١٠٠١.٥
٤١١١٢	خميس مشيط	١٨°١٧'٥٨"	٤٢°٤٨'٢٣"	٢٠٥٥.٩
٤٠٣٧٥	تبوك	٢٨°٢٢'٣٥"	٣٦°٣٦'٢٥"	٧٦٨.١
٤٠٣٧٣	القيصومة	٢٨°١٩'٠٨"	٤٦°٠٧'٤٩"	٣٥٧.٩
٤٠٤١٦	الظهران	٢٦°١٥'٣٤"	٥٠°٠٩'٣٩"	١٦.٨
٤١٠٢٤	جدة	٢١°٤٢'٣٧"	٣٩°١١'١٢"	١٦.٩



الشكل ١ : موقع محطات الارصاد الجوية الواردة في الدراسة

الجدول ٢ : المتوسطات الشهرية للبيانات المناخية المستخدمة في تقدير التبخر- نتح الكامن بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

اسم المحطة	عناصر المناخ	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
مطار الملك خالد (الرياض)	T (°C)	١٣.٦	١٦.٤	٢٠.٦	٢٩.٦	٣٢.١	٣٤.٧	٣٥.٩	٣٥.٨	٣٢.٥	٢٧.٥	٢٠.١	١٥.٢
	Rh (%)	٤٨.٠	٣٧.٣	٣٣.٠	٢٩.٦	١٨.١	١٠.٧	١٠.٧	١٢.٨	١٤.٧	٢١.٦	٤٢.٧	٤٨.٥
	Rs (MJ/m^2/day)	٢٣.٠	٢٥.٥	٢٨.٥	٣٢.٨	٣٦.٨	٣٨.٧	٣٧.٩	٣٤.٤	٢٩.٩	٢٦.٥	٢٣.٣	٢٣.٠
	P (mb)	٩٤٨.٨	٩٤٦.٨	٩٤٤.٨	٩٤٢.٨	٩٤٠.٣	٩٣٦.٥	٩٣٤.١	٩٣٥.٣	٩٣٩.٨	٩٤٤.٦	٩٤٧.٣	٩٤٩.١
	ETP Pan (mm)	٦١.٦	٧٧.٤	١١٨.٣	١٤٢.١	١٦٩.٧	٢١٢.٧	٢١٨.٢	٢٠٦.٣	١٦٦.٠	١٢٩.٨	٨٠.٩	٦٠.٥
مطار حائل الاقليمي	T (°C)	١٤.٧	١٦.٦	١٨.١	٢٠.٢	٢٢.٨	٢٤.٧	٢٤.٤	٢٤.١	٢٣.٥	٢٠.١	١٧.١	١٥.١
	Rh (%)	٦٥.٢	٥٩.٦	٥٧.٤	٥٤.٥	٤٨.٢	٣٩.٩	٤٥.٦	٤٩.٩	٣٨.٢	٤٠.٧	٥٨.٢	٦٤.٤
	Rs (MJ/m^2/day)	٢١.٧	٢٥.٠	٢٨.٢	٣٢.٧	٣٦.٨	٣٨.٨	٣٨.٠	٣٤.٣	٢٩.٧	٢٦.٠	٢٢.٦	٢١.٦
	P (mb)	٩٢.١	١١٦.٥	١٧٣.٠	٢٠٣.٨	٢٩٩.٨	٣٤٧.٦	٣٤٧.٩	٣٢٠.٣	٢٧٣.٨	٢٠٣.٢	١١٨.٤	٩٧.٨
	ETP Pan (mm)	١٤.٧	١٦.٦	١٨.١	٢٠.٢	٢٢.٨	٢٤.٧	٢٤.٤	٢٤.١	٢٣.٥	٢٠.١	١٧.١	١٥.١
خميس مشيط	T (°C)	١١.٦	١٤.١	١٧.٥	٢٢.٩	٢٨.٢	٣٢.١	٣٣.٤	٣٣.٩	٣٠.٨	٢٥.١	١٧.١	١٢.٦
	Rh (%)	٥١.٩	٤٠.٧	٣٦.٢	٣٠.١	٢٢.٥	١٥.٣	١٥.٤	١٦.٣	١٧.٩	٢٦.١	٤٧.١	٥١.٨
	Rs (MJ/m^2/day)	٢٥.٦	٢٧.٣	٢٩.٤	٣٢.٢	٣٥.٢	٣٦.٧	٣٦.٠	٣٣.٤	٣٠.٤	٢٨.١	٢٦.١	٢٥.٧
	P (mb)	١٠١.٢	١١٠.٢	١٣٢.٦	١٤٥.١	١٥٩.٥	٢٠٢.٦	١٧٧.١	١٦٦.٧	١٨٠.١	١٥٢.٤	١١٥.٠	١٠٢.٢
	ETP Pan (mm)	١١.٦	١٤.١	١٧.٥	٢٢.٩	٢٨.٢	٣٢.١	٣٣.٤	٣٣.٩	٣٠.٨	٢٥.١	١٧.١	١٢.٦
تبوك	T (°C)	١١.١	١٤.٩	١٧.٣	٢٢.٦	٢٦.٨	٣٠.٠	٣١.٦	٣١.٧	٢٩.٠	٢٤.٢	١٧.٥	١٢.٤
	Rh (%)	٤٩.٩	٣٦.٣	٣٤.١	٢٦.٦	٢٣.١	٢١.٣	٢١.٩	٢٣.٧	٢٦.٨	٣٢.٩	٤٢.٨	٤٩.٤
	Rs (MJ/m^2/day)	٢١.٤	٢٤.٨	٢٨.١	٣٢.٦	٣٦.٨	٣٨.٨	٣٨.٠	٣٤.٣	٢٩.٦	٢٥.٩	٢٢.٣	٢١.٣
	P (mb)	٩٢٩.٦	٩٢٦.٣	٩٢٦.٧	٩٢٥.٠	٩٢٤.٧	٩٢٢.٩	٩٢١.١	٩٢١.٧	٩٢٤.٥	٩٢٧.٣	٩٢٨.٩	٩٣٠.٠
	ETP Pan (mm)	٩١.٢	١٠٨.٠	١٦١.٦	٢١٤.٢	٢٣٦.٨	٢٨٣.٠	٣٠٤.٩	٢٧١.٥	٢٢٥.٥	١٦٩.٧	١٠٩.٠	٧٩.٣

تابع الجدول ٢ : المتوسطات الشهرية للبيانات المناخية المستخدمة في تقدير التبخر- نتح الكامن بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

اسم المحطة	عناصر المناخ	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
جدة	T (^oC)	٢٢.٧	٢٣.٤	٢٥.٢	٢٨.٠	٣٠.٠	٣١.٢	٣٢.٧	٣٢.٧	٣١.٤	٢٩.٧	٢٧.٣	٢٤.٧
	Rh (%)	٦٠.٦	٦٠.٢	٥٩.٠	٥٦.٥	٥٥.٥	٥٥.٩	٥٣.٠	٥٨.٤	٦٦.١	٦٦.٢	٦٣.١	٦١.٤
	Rs ($MJ/m^2/day$)	٢٣.٣	٢٦.١	٢٨.٨	٣٢.٩	٣٦.٧	٣٨.٦	٣٧.٨	٣٤.٥	٣٠.١	٢٧.٠	٢٤.١	٢٣.٣
	P (mb)	١٠١٠.٠	١٠١٠.٩	١٠٠٩.٢	١٠٠٦.٨	١٠٠٣.٠	١٠٠١.١	١٠٠١.٥	١٠٠١.٩	١٠٠٤.٠	١٠٠٧.٩	١٠١٠.٢	١٠١١.٢
	ETP Pan (mm)	١٧٩.٢	١٨٥.٢	٢٠٠.٥	٢٢٩.٤	٢٥٠.٨	٢٦٠.٤	٢٨٥.٦	٢٦٤.٨	٢٢٧.٣	٢١٣.٨	٢٠٤.٣	١٩٠.٦
الظهران	T (^oC)	١٥.١	١٧.٠	٢٠.٦	٢٦.٠	٣١.٥	٣٤.٧	٣٦.٠	٣٥.٣	٣٢.٥	٢٨.٥	٢٢.٧	١٧.٤
	Rh (%)	٦٩.٠	٦٤.٧	٥٧.١	٤٧.٤	٣٧.٦	٣١.٤	٣٦.٢	٤٥.٢	٥١.٣	٥٩.٤	٦٣.٧	٦٧.٨
	Rs ($MJ/m^2/day$)	٢٢.٠	٢٥.٢	٢٨.٤	٣٢.٧	٣٦.٨	٣٨.٨	٣٨.٠	٣٤.٤	٢٩.٨	٢٦.٢	٢٢.٩	٢١.٤
	P (mb)	١٠١٣.٨	١٠١٣.٧	١٠٢٧.٠	١٠٠٧.٨	٩٩٩.٩	٩٩٥.٧	٩٩٤.٩	٩٩٦.٧	١٠٠٢.٧	١٠٠٩.٢	١٠١٣.٥	١٠١٥.٣
	ETP Pan (mm)	١٢١.٤	١٣٨.١	١٧٤.٧	٢٤٢.٩	٣٣٩.٦	٤١٦.٠	٤٠٦.٩	٣٥٠.٢	٢٩٠.٧	٢٢٤.٩	١٧١.٥	١٣٤.٠
القيصومة	T (^oC)	١١.٧	١٤.٣	١٩.٠	٢٥.٤	٣١.٥	٣٥.١	٣٦.٨	٣٦.٥	٣٣.٣	٢٧.٥	١٩.٠	١٣.٢
	Rh (%)	٥٩.١	٤٧.٦	٣٩.١	٣١.٠	٢٠.١	١٣.١	١٢.٠	١٣.٥	١٦.١	٢٥.٤	٤٤.٣	٥٦.٥
	Rs ($MJ/m^2/day$)	٢١.٤	٢٤.٨	٢٨.١	٣٢.٦	٣٦.٨	٣٨.٨	٣٨.٠	٣٤.٣	٢٩.٦	٢٥.٩	٢٠.٦	٢١.٣
	P (mb)	٩٧٥.١	٩٨٣.٤	٩٧١.٩	٩٦٩.٨	٩٦٥.٩	٩٦٢.١	٩٦٠.١	٩٦١.٦	٩٦٦.٣	٩٧١.٦	٩٧٥.٢	٩٧٦.٢
	ETP Pan (mm)	١٢٣.٣	١٥٩.٠	٢١٢.٣	٢٩٩.٢	٤٣٤.٥	٥٤٣.٨	٥٨٩.١	٥٦٩.٦	٤٩٠.٥	٣٤٨.٧	١٩٧.٢	١٣٥.٠

وتعتمد هذه الدراسة على قياسات حوض التبخر نوع "أ" و البيانات اليومية للحرارة $T(^oC)$ و الرطوبة النسبية Rh(%) والاشعاع الشمسي $Rs(MJ/m^2/day)$ و الضغط الجوي عند المحطة P(mb) خلال الفترة من يناير ١٩٨٥ إلى ديسمبر ٢٠١٥م التي تم استخدامها في حساب متوسطات العناصر المناخية المستخدمة في نماذج تقدير التبخر نتح التي تم تطبيقها (الجدول ٢).

٣- مشكلة البحث وأهميته

يطرح غياب قياس التبخر بمحطات الارصاد الجوي بالمملكة العربية السعودية مشكلة للباحثين وللمستخدمين للبيانات المناخية. كما أن الباحثين في مجال المناخ والمهتمين بالدراسات المناخية كثيراً ما يقومون بتقديرات لعنصر التبخر نتح دون فحصها إحصائياً مما يجعل من الاستفادة منها يتضمن جانباً من عدم الثقة في إختيار أفضل نموذج لاعتماده في التطبيقات المناخية المطلوبة. ولذا فإن لأهمية هذا البحث تكمن في كونه يقم منهجية علمية لتقدير التبخر نتح الكامن بسبع محطات للارصاد الجوي بتطبيق ستة نماذج ومعايرتها بقياسات حوض التبخر نوع "أ" ثم فحص حسن مطابقة للنتائج وللمفاضلة بين أداء النماذج المذكورة بتطبيق أربعة معايير إحصائية هي معدل الخطأ المطلق (MAE) وجذر معدل مربع الخطأ (RMSE) والنسبة المئوية للخطأ (PE) ومعامل المصداقية (RC).

٤- منهجية البحث

تعتمد هذه الدراسة على تقدير المتوسط الشهري للتبخر- نتح الكامن بتطبيق النماذج التالية:

٤-١- نماذج تقدير التبخر- نتح باستخدام درجة الحرارة

٤-١-١- نموذج (تورنثوايت، ١٩٤٨ Thornthwaite)

يتم حساب التبخر- نتح الكامن بنموذج تورنثوايت بتطبيق سلسلة من المعادلات باتباع الخطوات المنهجية التالية :

١- حساب المؤشر الحراري الشهري Monthly Thermal Index :

وفيه Tj المتوسط الشهري لدرجة الحرارة (C^o).

٢- حساب الثابت Constant a :

$$a = ٦.٧٥ \cdot ١٠^{-٧}\, i_j^{٣} + ٧.٧١ \cdot ١٠^{-٥}\, i_j^{٢} + ١.٧٩ \cdot ١٠^{-٢}\, i_j + ٠.٤٩٢$$

وفيه i_j المؤشر الحراري الشهري.

٣- حساب المعامل المخفض Reduction Factor

$$b = y_o + (X - X_o)\frac{(y_١ - y_o)}{(X_١ - X_o)}$$

وفيه :

X : درجة عرض موقع المكان.

$X_١, X_o$: درجتا العرض العشرية لدائرتي الشمالية والجنوبية لموقع المحطة.

$Y_١, Y_o$: قيمة المعامل الشهري المخفض المناسب لدائرتي العرض الشمالية والجنوبية لموقع المحطة وهي تستخرج من جدول خاص (الجدول ٣).

٤- حساب المتوسط الشهري التبخر- نتح الكامن :

$$ETP\ (cm) = ١.٦\ b \left[\frac{١٠\ T_j}{i_j}\right]^{٠.٥١١٤}$$

الجدول ٣ : قيم المعامل الشهري المخفض لدوائر العرض الشمالية

الشهر	المعامل Y	المعامل X					
		٠° N	١٠° N	٢٠° N	٣٠° N	٤٠° N	٥٠° N
يناير	المعامل المخفض Y	١.٠٤	١.٠٠	٠.٩٥	٠.٩٠	٠.٨٤	١.٠٤
فبراير		٠.٩٤	٠.٩١	٠.٩٠	٠.٨٧	٠.٨٣	٠.٩٤
مارس		١.٠٤	١.٠٣	١.٠٣	١.٠٣	١.٠٣	١.٠٤
أبريل		١.٠١	١.٠٣	١.٠٥	١.٠٨	١.١١	١.٠١
مايو		١.٠٤	١.٠٨	١.١٣	١.١٨	١.٢٤	١.٠٤
يونيو		١.٠١	١.٠٦	١.١١	١.١٧	١.٢٥	١.٠١
يوليو		١.٤٠	١.٠٨	١.١٤	١.٢٠	١.٢٧	١.٤٠
أغسطس		١.٠٤	١.٠٧	١.١١	١.١٤	١.١٨	١.٠٤
سبتمبر		١.٠١	١.٠٢	١.٠٢	١.٠٣	١.٠٤	١.٠١
أكتوبر		١.٠٤	١.٠٢	١.٠٠	٠.٩٨	٠.٩٦	١.٠٤
نوفمبر		١.٠١	٠.٩٨	٠.٩٣	٠.٨٩	٠.٨٣	١.٠١
ديسمبر		١.٠٤	٠.٩٩	٠.٩٤	٠.٨٨	٠.٨١	١.٠٤

٤-١-٢- نموذج (بلاني – كريدل، ١٩٥٠ Blaney – Criddle)

يتم حساب التبخر- نتح الكامن بنموذج بلاني - كريدل بتطبيق المعادلة التالية :

$$E_T\ (mm) = k*p\ (٠.٤٦\ T_a + ٨.١٣)$$

وفيه :

E_T (mm) : التبخر- نتح الكامن لنوع المحصول الزراعي خلال الفترة المدروسة.

k : معامل يرتبط بنوع النبات وموقع المكان وفصل النمو الزراعي (مارس- سبتمبر)، وهو يساوي ٠.٨٥ لشهور الفترة (أبريل- سبتمبر) و ٠.٤٥ لشهور الفترة (أكتوبر- مارس).

p : % لعدد ساعات الشهر إلى إجمالي عدد ساعات السنة.

T_a : المتوسط الشهري لدرجات الحرارة (م^o).

٤-٢- نماذج تقدير التبخر- نتح اعتماداً على الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة

٤-٢-١- نموذج (ماكينك، ١٩٥٧ Makkink)

يتم حساب التبخر- نتح الكامن بنموذج ماكينك بتطبيق المعادلة التالية :

$$ET\ (mm.day^{-١}) = ٠.٦١\ \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma\,\lambda}\right]\left[\frac{R_s}{\lambda}\right] - ٠.١٢$$

وفيه :

ET ($mm.day^{-١}$) : التبخر- نتح الكامن اليومي (mm).

R_s : إجمالي الاشعاع الشمسي ($MJm^{-٢}day^{-١}$).

Δ : انحدار منحنى ضغط بخار الماء وهو يساوي :

$$\Delta = \left[\frac{٢٥٠٤\ \exp\left[\frac{١٧.٢٧\ T_a}{T_a + ٢٣٧.٣}\right]}{(T_a + ٢٣٧.٣)^{٢}}\right]$$

وفيه :

Δ : انحدار منحنى ضغط بخار الماء (kPa/^{o}C).

T_a : درجة الحرارة اليومية (^{o}C).

γ : الثابت السيكومتري (kPa/^{o}C) وهو يساوي :

$$\gamma = ٠.٠٠١٦٣\left[\frac{P}{\lambda}\right]$$

بحيث يمثل P الضغط الجوي اليومي (kPa) و λ الحرارة الكامنة للتبخير وهي تساوي :

$$\lambda\ (MJ/kg) = ٢.٥٠١ - (٢.٣٦١ * ١٠^{-٣})\ T_a$$

٤-٢-٢- نموذج (جنسن - هايس، ١٩٧٣ Jensen-Haise) :

يستخدم هذا النموذج لتقدير التبخر- نتح الكامن اليومي بتطبيق المعادلة التالية :

$$E_{tp}\ (Langley/day) = C_t\ (T' + T_x)\ R_s$$

وفيه يمثل Etp كمية التبخر- نتح الكامن اليومي (لانجلي/يوم) و Rs إجمالي الاشعاع الشمسي (لانجلي/يوم) و C_t معامل يتم حسابه بتطبيق المعادلة التالية :

$$C_t = ١/\ C_١ + C_٢ + CH$$

وفيه $C_١ = ٣٨ - (٢EL)/(٣٠٥)$، بحيث يمثل EL ارتفاع المحطة عن سطح البحر (متر).

و $C_2 = -10.6\ C^o$

$CH = (50\ mb)/(e_2 - e_1)$، بحيث يمثل e_1 ضغط بخار الماء المشبع (mb) عند درجة الحرارة الدنيا (C^o) و هو يحسب بواسطة المعادلة التالية : (Musy, 2004)

$$e_1(kPa) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.67\ T_{mean}(C^o)}{T_{mean}(C^o) + 237.3}\right]$$

و e_2 ضغط بخار الماء الفعلي (mb) عند درجة الحرارة القصوى (C^o) وهو يساوي :

$$e_2(mb) = e_1(mb)\left[\frac{R_h}{100}\right]$$

وفيه R_h متوسط الرطوبة النسبية الشهري.

e_2 ضغط بخار الماء الفعلي عند درجة الحرارة القصوى (C^o).

و $T_x = -2.5 - (0.14\ (e_2 - e_1))$.

ويتم تحويل التبخر اليومي المحسوب بوحدة (لانجلي/يوم) إلى تبخر يومي (ملم/يوم) بتطبيق المعادلة التالية :

$$E_{tp}\ (mm/day) = E_{tp}\ (Langley/day)\ .\ (1/y)$$

وفيه $y = 595.9 - (0.55\ T')$، بحيث يمثل T' المتوسط الشهري لدرجة الحرارة (C^o).

٤-٣- نماذج تقدير التبخر- نتح الاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية

٤-٣-١- نموذج (إيفانوف، ١٩٥٤ Ivanov) :

يستخدم هذا النموذج لتقدير المتوسط الشهري للتبخر- نتح الكامن بتطبيق المعادلة التالية :

$$E = 0.0018\ (25 + t)^2\ (100 - f)$$

وفيه يمثل E المتوسط الشهري للتبخر- نتح الكامن (ملم) و t المتوسط الشهري لدرجات الحرارة (C^o) و f المتوسط الشهري للرطوبة النسبية (%).

٤-٣-٢- نموذج (تورك، ١٩٦١ Turc) :

يتم حساب التبخر بنموذج تورك بتطبيق المعادلة التالية : (Diouf et al., ٢٠١٦ : ١١٧)

$$ET_o\left(\frac{mm}{day}\right) = a * C * (R_g + b) * \left[\frac{T}{T + 15}\right]$$

وفيه ET_o متوسط التبخر- نتح الكامن اليومي (ملم) و T متوسط درجة الحرارة اليومية (^oC) و R_g إجمالي الاشعاع الشمسي ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) و a ثابت قدره (0.31 $m^2.MJ^{-1}.mm^{-1}$) و b ثابت قدره ($2.094\ MJ.m^{-2}.day^{-1}$) و C معامل حراري يساوي :

بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تقل أو تساوي ٥٠%.

$$C = 1 + \left[\frac{50 - RH}{70}\right]$$

بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تقل عن ٥٠% (RH< ٥٠٪).

و C = ١ بالنسبة لشهور السنة التي تتسم برطوبة نسبية تساوي أو تزيد عن RH ≥ ٥٠% (٥٠٪).

ولغرض تقييم أداء كل نموذج تم فحص نتائج تقدير كل نموذج بتطبيق المعايير الاحصائية التالية :

١- معدل الخطأ المطلق Mean Absolute Error (MAE)

$$MAE = \frac{\sum_{i:1}^{n} |O_i - E_i|}{n}$$

٢- جذر معدل مربع الخطأ Root of Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i:1}^{n} (O_i - E_i)^2}{n}\right]^{0.5}$$

٣- النسبة المئوية للخطأ Percent Error (PE)

$$PE = \left[\frac{O_i - E_i}{E_i}\right] \times 100$$

٤- معامل المصداقية Reliability Coefficient (RC)

$$RC = 1 - \frac{\sum_{i:1}^{n} [O_i - E_i]^2}{\sum_{i:1}^{n} [|E_{i-} O'_i| + |O_i - O'_i|]^2}$$

وفيها :

O_i : القيمة الفعلية.

E_i : القيمة المحسوبة.

n : عدد القياسات.

٥- الدراسات السابقة

تعتبر دراسة التبخر- نتح الكامن بصفة عامة قليلة في المملكة العربية السعودية مثلها مثل قياسات التبخر الفعلي في حد ذاته، بحيث إنها لم تنل قسطاً وافراً من الدراسات العلمية بالرغم من أهمية هذه الظاهرة وما لها من تأثيرات بيئية.

ومن الدراسات التي أهتمت بتقدير وتحليل التبخر- نتح الكامن في المملكة دراسة (الجراش، ١٩٩٢) التي شملت ثماني محطات مناخية تتوفر بياناتها المناخية على الرطوبة النسبية والحرارة وقياسات التبخر بواسطة حوض التبخر الأمريكي نوع "أ" وهي دراسة مقارنة لأداء نموذجي (Penman, ١٩٥٤) و (Ivanov, ١٩٥٤). وقد أظهرت هذه الدراسة قصور نموذج بنمان في تقدير المتوسط الشهري للتبخر- نتح بجميع المحطات المدروسة وصلاحية نموذج إيفانوف في محطات تبوك و حائل و المدينة المنورة و السليل و بيشة.

وقام كذلك (الطاهر، ١٩٩٨) بدراسة لظاهرة التبخر- نتح الكامن إنتهت إلى صياغة نموذج لتقدير المتوسط الشهري للتبخر بواسطة العلاقة بين أربعة عناصر مناخية هي الحرارة والاشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح من جهة وكمية التبخر بواسطة حوض التبخر نوع "أ" من جهة ثانية. وقدم (بوروبه، ٢٠٠٧) دراسة تناولت معايرة قيم نماذج حساب التبخر-نتح بواسطة حوض التبخر نوع "أ" بمنطقة عسير الجبلية اعتمدت على تطبيق إثني عشرة نموذج في ست محطات هي أبها وبيشة وتثليث و سر لعصان و سراة عبيدة و النماص. وقد أظهرت هذه الدراسة أن تقدير نموذجي (Jensn-Haise, ١٩٧٣) و (Ivanov, ١٩٥٤) هو الأقرب بالنقصان إلى المعدل السنوي الفعلي

للتبخر وأن تقدير نموذجي (Dalton, ١٩٠٤) و (Garnier, ١٩٦٤) هو الأقرب بالزيادة من المعدل السنوي الفعلي للتبخر بمنطقة عسير الجبلية.

,في عام ٢٠٠٧ قدمت بن حشر دراسة عن تأثير خصائص الأمطار والتبخر على تقدير الميزانية المائية بشمالي المملكة العربية السعودية اعتمدت فيها على البيانات المناخية لإحدى عشر محطة تم خلالها دراسة الخصائص التوزيعية لمتوسطات التبخر السنوية والفصلية ودرجة تذبذبها اعتماداً على معامل الاختلاف لمحطات الدراسة كما تم تطبيق معادلة (تورنثوايت Thornthwaite, ١٩٤٨) لعمل الميزانية المائية، أيضاً تم تطبيق معادلات كوبن Koppen, ١٩٣١) و (دي مارتون، De Martonne, ١٩٥٧) و (لانج وتورنثوايت Lang & Thornthwaite, ١٩٤٨) في تحديد القيمة الفعلية لأمطار منطقة الدراسة.

وقد قدم العديد من الباحثين دراسات لتحديد الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية بواسطة تقدير كمية التبخر- نتح بتطبيق نماذج رياضية مختلفة في مناطق متباينة من حيث الخصائص المناخية والجغرافية دون معايرة لنتائج هذه النماذج المبنية على معادلات تجريبية كدراسات (Al Saaran, ١٩٩٩) و (العمري، ١٩٩٤) و (الغشيان، ١٩٩٠) و (Sorman and Abdulrazzak, ١٩٩٥).

وهناك العديد من الدراسات العربية التي تناولت ظاهرة التبخر- نتح الكامن ومدى تأثيراتها على النشاط الزراعي في ظل قلة الأمطار أو ندرتها أهمها الدراسات التي قام بها عدة باحثين لتحديد القيمة الفعلية للأمطار أو الاحتياجات المائية أو الموازنة المائية أو مقارنة نتائج نماذج تقدير التبخر-نتح مع قياسات حوض التبخر نوع "أ". ومن الدراسات التي اعتمدت على القيمة الفعلية للأمطار تلك التي تمت في العراق، كدراسة (الشلش، ١٩٧٦) التي أظهرت أن كمية الأمطار الفعلية التي تؤثر في نمو المحاصيل الزراعية بالعراق ترتبط بكمية التبخر- نتح الذي يتحكم في كمية ما تختزنه منها التربة ودراسة (القصاب، ١٩٨٥) التي تناولت تحديد القيمة الفعلية للأمطار اعتماداً على كمية التبخر- نتح.

كما أظهر (الشلش، ١٩٧٩) في دراسة أخرى بمجموع إحدى وثلاثين محطة مناخية تتوزع بمناطق مختلفة من العراق وجود تباين مكاني في الموازنة المائية يرتبط بتباين كميات الأمطار الشهرية والسنوية التي تتحكم بشكل مباشر في كميات العجز والفائض المائي عن طريق عملية التبخر. وتوصلت دراسة (البياني، ١٩٨٥) إلى تحديد العلاقة القائمة بين كميتي الأمطار التبخر- نتح الكامن. وقد أجرى (الجبوري، ٢٠٠٢) دراسة أخرى طبق فيها ستة نماذج لتقدير التبخر- نتح الكامن بالعراق. وفي إطار تحديد الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء (مصر)، قام (السمني، ٢٠١٣) بإجراء دراسة باستخدام نموذج تورنثويت Thornthwaite في تسع محطات إرصاد جوية تتوفر على بيانات مناخية للفترة ١٩٨٠-٢٠٠٠ بهدف تحديد العجز المائي الفصلي والسنوي. كما قام أيضاً (زيتون، ٢٠١٦) بتحليل الموازنة المائية للتربة في شمال الأردن خلال الفترة ١٩٧٠-٢٠٠٩، توصل من خلاله إلى معرفة فترات الفائض والعجز المائي ومدى إمكانية الاستفادة منها في النشاط الزراعي بأربع مناطق مثلتها المحطات المناخية لرأس منيف والباقورة وإربد والمفرق. وقد اعتمدت هذه الدراسة على المتوسطات الشهرية والسنوية لكميات الأمطار ودرجات الحرارة في تطبيق نموذج تورنثويت المعدل في عام ١٩٥٥ لتقدير التبخر- نتح وحساب الموازنة المائية.

ونشر أيضاً (الموسوي وآخرون، ٢٠١٦) بحثاً تناولا فيه تقدير الاحتياجات المائية لمشروع الجربوعية في محافظة بابل إعتمدا فيه على تقدير التبخر- نتح الكامن في حساب الاستهلاك والاحتياج المائي للمحاصيل الزراعية التي شملها هذا المشروع. وهناك محاولات أخرى لتقدير التبخر- نتح بواسطة حوض التبخر نوع "أ" منها دراسة (كنجو وآخرين، ٢٠١٦) لتقدير التبخر- نتح الكامن وبعض النماذج المبسطة في منطقة اللاذقية بسوريا ودراسة (جاسم وحمدون، ٢٠١٤) لمقارنة نتائج تقدير نموذج بنمان - مونتيث Penman-Monteith وقياسات حوض التبخر نوع "أ" في مناطق مختلفة من العراق.

٦- النتائج والمناقشة

أظهرت هذه الدراسة جملة من النتائج تتلخص في :

١- وجود تباين مكاني لقياسات حوض التبخر نوع "أ".

٢- وجود تباينات في أداء نماذج تقدير التبخر- نتح.

وسوف يتم تناول تحليل هذه التباينات بالتفصيل.

٦-١- تحليل التباين المكاني لقياسات حوض التبخر نوع "أ"

تعكس بيانات الجدول ٤ التباينات المكانية بين كميات التبخر- نتح الكامن الشهرية والفصلية بالمحطات المدروسة. وتتباين كميات التبخر- نتح الكامن من محطة لأخرى ومن فصل لأخر بالمحطة نفسها، بحيث تبدأ كميات التبخر- نتح الكامن في الانخفاض التدريجي من شهر يوليو (منتصف فصل الصيف) بمحطات القيصومة وجدة وتبوك ومطار الملك خالد وحائل ومن شهر يونيو بمحطتي خميس مشيط والظهران حتى تصل أدناها خلال شهر ديسمبر (بداية فصل الشتاء) بمحطتي تبوك ومطار الملك خالد وشهر يناير بمحطات حائل وخميس مشيط والقيصومة و جدة والظهران.

وتبلغ نسبة المجموع الفصلي للتبخر- نتح الكامن إلى المجموع السنوي نسباً تتباين كذلك من فصل لآخر في نفس المحطة وبين المحطات خلال الفصل نفسه، بحيث يبلغ التبخر- نتح الكامن أقصاه خلال فصل الصيف بنسب تتراوح بين ٣٠.١% بمحطة الظهران و ٤١.٠% بمحطة القيصومة ويليه فصل الربيع بنسب تتراوح بين ٢٣.١% بمحطة القيصومة و ٢٧.٢% بمحطة تبوك. ويلي فصل الربيع فصلُ الخريف بنسب تتراوح بين ٢٢.٤% بمحطة تبوك و ٢٥.٦% بمحطة خميس مشيط، في حين ينخفض التبخر- نتح الكامن الفصلي إلى أدناه خلال فصل الشتاء بنسب تتراوح بين ١٠.٢% بمحطة القيصومة و ٢٠.٦% بمحطة جدة.

أما على مستوى التغيرات الفصلية فيلاحظ أن نسبة التبخر- نتح الكامن لفصل الشتاء بالنسبة للمجموع السنوي تزيد عن ١٧.٠% بمحطتي خميس مشيط وجدة وتقل عن هذه النسبة بجميع المحطات الأخرى. كما يقل التبخر- نتح الكامن لفصل الشتاء بمحطة تبوك عن مثيله بمحطتي حائل وخميس مشيط بنسبة تبلغ على التوالي ٩% و ١١% ويزيد عن نظيره بمحطة مطار الملك خالد بنسبة تبلغ ٤٠%. ويزيد التبخر- نتح الكامن لهذا الفصل بمحطة حائل نظيره بمحطة مطار الملك خالد بنسبة تبلغ ٥٤% ويقل عن نظيره بمحطة خميس مشيط بنسبة لا تتعدى ٢%، في حين يقل التبخر- نتح الكامن الشتوي لمحطة مطار الملك خالد عن نظيره بمحطة خميس مشيط بنسبة تصل إلى ٣٦%. ويرتفع تدريجياً مجموع التبخر- نتح الكامن خلال فصل الربيع بتباينات واضحة، بحيث وجد أن نسبة التبخر- نتح الكامن لفصل الربيع بالنسبة للمجموع السنوي تزيد عن ٢٦.٠% بمحطات حائل ومطار الملك خالد وتبوك وتقل عن هذه النسبة بباقي المحطات الأخرى. كما يقل التبخر- نتح الكامن لفصل الربيع بمحطة تبوك عن مثيله بمحطة حائل بنسبة تبلغ ٩% ويفوق في الوقت نفسه مثيله بمحطتي مطار الملك خالد وخميس مشيط بنسبة تبلغ على

التوالي ٤٢% و ٤٠%، بينما يفوق التبخر- نتح الكامن لمحطة حائل مثيله بمحطتي مطار الملك خالد وخميس مشيط بنسبة

الجدول ٤ : التباينات الفصلية والشهرية لكميات حوض التبخر (ملم) نوع "أ" بالمحطات المدروسة

الفصل	الشهر	تبوك	حائل	مطار الملك خالد (الرياض)	خميس مشيط	جدة	الظهران	القيصومة
الشتاء	**ديسمبر**	٧٩.٣	٩٧.٨	٦٠.٥	١٠٢.٢	١٩٠.٦	١٣٤.٠	١٣٥.٠
	يناير	٩١.٢	٩٢.١	٦١.٦	١٠١.٢	١٧٩.٢	١٢١.٤	١٢٣.٣
	فبراير	١٠٨.٠	١١٦.٥	٧٧.٤	١١٠.٢	١٨٥.٢	١٣٨.١	١٥٩.٠
	المجموع	**٢٧٨.٥**	**٣٠٦.٤**	**١٩٩.٥**	**٣١٣.٦**	**٥٥٥.٠**	**٣٩٣.٥**	**٤١٧.٢**
	%	**١٢.٤**	**١١.٨**	**١٢.١**	**١٨.٠**	**٢٠.٦**	**١٣.١**	**١٠.٢**
الربيع	**مارس**	١٦١.٦	١٧٣.٠	١١٨.٣	١٣٢.٦	٢٠٠.٥	١٧٤.٧	٢١٢.٣
	أبريل	٢١٤.٢	٢٠٣.٨	١٤٢.١	١٤٥.١	٢٢٩.٤	٢٤٢.٩	٢٩٩.٢
	مايو	٢٣٦.٨	٢٩٩.٨	١٦٩.٧	١٥٩.٥	٢٥٠.٨	٣٣٩.٦	٤٣٤.٥
	المجموع	**٦١٢.٦**	**٦٧٦.٦**	**٤٣٠.١**	**٤٣٧.٢**	**٦٨٠.٦**	**٧٥٧.٣**	**٩٤٦.٠**
	%	**٢٧.٢**	**٢٦.١**	**٢٦.٢**	**٢٥.١**	**٢٥.٣**	**٢٥.٢**	**٢٣.١**
الصيف	**يونيو**	٢٨٣.٠	٣٤٧.٦	٢١٢.٧	٢٠٢.٦	٢٦٠.٤	٤١٦.٠	٥٤٣.٨
	يوليو	٣٠٤.٩	٣٤٧.٩	٢١٨.٢	١٧٧.١	٢٨٥.٦	٤٠٦.٩	٥٨٩.١
	أغسطس	٢٧١.٥	٣٢٠.٣	٢٠٦.٣	١٦٦.٧	٢٦٤.٨	٣٥٠.٢	٥٦٩.٦
	المجموع	**٨٥٩.٤**	**١٠١٥.٨**	**٦٣٧.٢**	**٥٤٦.٤**	**٨١٠.٨**	**١١٧٣.١**	**١٧٠٢.٥**
	%	**٣٨.١**	**٣٩.٢**	**٣٨.٨**	**٣١.٣**	**٣٠.١**	**٣٠.١**	**٤١.٠**
الخريف	**سبتمبر**	٢٢٥.٥	٢٧٣.٨	١٦٦.٠	١٨٠.١	٢٢٧.٣	٢٩٠.٧	٤٩٠.٥
	أكتوبر	١٦٩.٧	٢٠٣.٢	١٢٩.٨	١٥٢.٤	٢١٣.٨	٢٢٤.٩	٣٤٨.٧
	نوفمبر	١٠٩.٠	١١٨.٤	٨٠.٩	١١٥.٠	٢٠٤.٣	١٧١.٥	١٩٧.٢
	المجموع	**٥٠٤.٢**	**٥٩٥.٤**	**٣٧٦.٧**	**٤٤٧.٥**	**٦٤٥.٤**	**٦٨٧.٠**	**١٠٣٦.٤**
	%	**٢٢.٤**	**٢٣.٠**	**٢٢.٩**	**٢٥.٦**	**٢٤.٠**	**٢٢.٨**	**٢٥.٣**
السنة		**٢٢٥٤.٧**	**٢٥٩٤.٢**	**١٦٤٣.٥**	**١٧٤٤.٧**	**٢٦٩١.٨**	**٣٠١٠.٩**	**٤١٠٢.١**

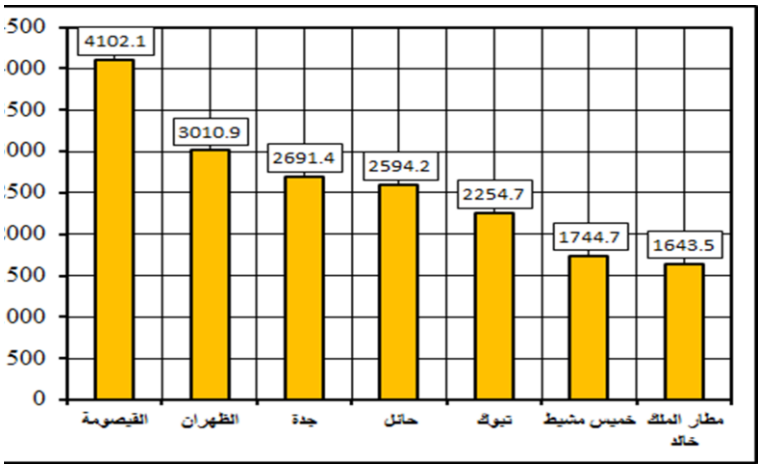
تبلغ على التوالي ٥٧% و ٥٥. في حين يقل التبخر- نتح الكامن لمحطة مطار الملك خالد عن نظيره بمحطة خميس مشيط بنسبة لا تتعدى ٢%.

ويصل المجموع الفصلي التبخر- نتح الكامن أقصاه خلال فصل الصيف بجميع المحطات، بحيث لوحظ أن نسبة التبخر- نتح الكامن لفصل الصيف بالنسبة للمجموع السنوي تفوق ٣٨.٠% بمحطات تبوك ومطار الملك خالد وحائل والقيصومة وتقل عن هذه النسبة بباقي المحطات الأخرى. كما يقل التبخر- نتح الكامن لفصل الصيف بمحطة تبوك عن مثيله بمحطة حائل بنسبة تبلغ ١٥%، ويزيد عن مثيله بمحطتي مطار الملك خالد وخميس مشيط بنسبة تبلغ على التوالي ٣٥% و ٥٧%، بينما يزيد التبخر- نتح الكامن بمحطة حائل عن نظيره بمحطتي مطار الملك خالد وخميس مشيط بنسبة تبلغ على التوالي

٥٩% و ٨٦%. كما يزيد التبخر- نتح الكامن بمحطة مطار الملك خالد عن نظيره بمحطة خميس مشيط بنسبة تصل إلى ١٧%.

و يبدأ التبخر في الانخفاض التدريجي مع حلول فصل الخريف بتباينات مكانية واضحة، بحيث وجد أن نسبة التبخر لفصل الخريف بالنسبة للمجموع السنوي تفوق ٢٣.٠% بمحطات جدة والقيصومة وخميس مشيط ويقل عن هذه النسبة بباقي المحطات الأخرى. كما يقل تبخر فصل الصيف بمحطة تبوك عن نظيره بمحطة حائل بنسبة تبلغ ١٥% ويفوق مثيله بمحطتي مطار الملك خالد وخميس مشيط بنسبة تبلغ على التوالي ٣٤% و ١٣%، بينما يفوق التبخر بمحطة حائل مثيله بمحطتي مطار الملك خالد و خميس مشيط بنسبة تبلغ على التوالي ٥٨% و ٣٣%. في حين يقل التبخر- نتح الكامن بمحطة مطار الملك خالد عن نظيره بمحطة خميس مشيط بنسبة تبلغ ١٦%.

ومن ما تقدم لوحظ أن المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن يصل أقصاه بما يعادل ٤١٠٢.١ ملم بمحطة القيصومة و أدناه بما يعادل ١٦٤٣.٥ ملم بمحطة مطار الملك خالد، أي بفارق قدره ٥٩.٩% بين المحطتين. كما يزيد المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بمحطة الظهران بالساحل الشرقي نظيره بمحطة جدة في الساحل الغربي بنسبة تعادل ١٠.٦%، في حين يزيد المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بمحطة القيصومة عن نظيره بمحطة الظهران بنسبة تعادل ٢٦.٦%. كما نجد أن المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بمحطة تبوك يقل عن مثيله بمحطة حائل بنسبة تبلغ ١٣%، في حين يزيد المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بمحطتي خميس مشيط ومطار الملك خالد بنسبة تبلغ على التوالي ٢٩% و ٣٧%. ويزيد المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بمحطة حائل مثيله بمحطتي خميس مشيط و مطار الملك خالد بنسبة تبلغ على التوالي ٤٩% و ٥٨%، في حين يقل هذا المجموع بمطار الملك خالد عن نظيره بخميس مشيط بنسبة لا تتعدى ٦% (الشكل ٢).



الشكل ٢ : تباينات المجموع السنوي لتبخر حوض "أ" خلال فترة الدراسة

٦-٢- تحليل نتائج نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن

يستحسن تحليل نتائج أداء نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن المدروسة على مستوى كل محطة كما يلي : (الجدول ٥)

الجدول ٥ : المتوسطات الشهرية للتبخر - نتح الكامن (ملم) بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

المحطة	الشهر	Class A Pan	Turc	Ivanov	Jensen-Haise	Makkink	Blaney-Criddle	Thornthwaite
حائل	يناير	٩٢.١	١١٣.١	٩٨.٧	٣٦.٠	٣٨.٨	٥٦.٩	٨٥.٨
	فبراير	١١٦.٥	١٢٣.٥	١٢٥.٨	٣٥.٥	٤٣.٠	٥٤.٤	٨٤.٤
	مارس	١٧٣.٠	١٥٩.٤	١٤٢.٤	٤٥.٠	٥٦.٦	١١٨.٨	٨٤.٤
	أبريل	٢٠٣.٨	١٨٥.٥	١٦٧.٣	٥١.٨	٦٧.٨	١٢١.٧	٨٣.٨
	مايو	٢٩٩.٨	٢٣١.٢	٢١٣.٠	٦٢.١	٨٥.٨	١٣٤.٤	٨٢.٤
	يونيو	٣٤٧.٦	٢٧٠.٨	٢٦٧.٢	٦٤.١	٩٣.٠	١٣٦.٢	٨١.٢
	يوليو	٣٤٧.٩	٢٥٣.٦	٢٣٩.٠	٦٦.٠	٩٣.٠	١٣٩.٧	٨١.٥
	أغسطس	٣٢٠.٣	٢١٦.٢	٢١٧.٤	٦٠.٥	٨٣.٠	١٣٨.٧	٨٠.٠
	سبتمبر	٢٧٣.٨	٢١٠.٩	٢٦١.٧	٤٧.١	٦٧.٨	١٣٢.٣	٧٩.٣
	أكتوبر	٢٠٣.٢	١٧٥.٤	٢١٧.١	٣٩.١	٥٥.٠	٦٦.٤	٨٠.٨
	نوفمبر	١١٨.٤	١٢٢.٤	١٣٣.٤	٣٤.٣	٤٢.٣	٥٩.٢	٨٣.١
	ديسمبر	٩٧.٨	١١٤.١	١٠٣.٠	٣٥.٤	٣٨.٩	٥٧.٦	٨٤.٥
بيشة	يناير	٩١.٢	٢١٢.٨	١١٧.٥	٢٥.٥	٣٥.٤	٥٠.٦	٩٢.٣
	فبراير	١٠٨.٠	١٩٨.٦	١٨٢.٥	٢٦.٣	٤١.٣	٥١.٧	٨٦.٨
	مارس	١٦١.٦	٢٢٨.٦	٢١٢.٢	٣٣.٧	٥٥.٩	١١٦.١	٨٥.٤
	أبريل	٢١٤.٢	٢١٤.٠	٢٩٩.٤	٤٠.٨	٧٣.٧	١٢٩.٤	٨١.٤
	مايو	٢٣٦.٨	٢١٤.٩	٣٧١.٤	٥٠.١	٩٨.٤	١٤٧.٧	٧٨.٩
	يونيو	٢٨٣.٠	٢٠٤.٥	٤٢٨.٥	٥٣.٨	١١١.٥	١٥٣.٢	٧٧.٢
	يوليو	٣٠٤.٩	٢١٩.١	٤٥٠.٤	٥٦.٩	١١٨.٨	١٦٣.٦	٧٦.١
	أغسطس	٢٧١.٥	٢٣١.٥	٤٤١.٥	٥٤.١	١٠٧.٣	١٦٤.٠	٧٤.٤
	سبتمبر	٢٢٥.٥	٢٣٥.٨	٣٨٤.٢	٤٦.١	٨١.٥	١٥٠.٠	٧٥.١
	أكتوبر	١٦٩.٧	٢٥٨.٣	٢٩٢.٤	٤٠.٢	٦٢.٨	٧٣.٦	٧٧.٠
	نوفمبر	١٠٩.٠	٢٤٧.٩	١٨٦.٠	٣٠.٤	٤٢.٥	٥٩.٨	٨٢.٦
	ديسمبر	٧٩.٣	٢٢٥.٩	١٢٧.٤	٢٦.٧	٣٦.٣	٥٢.٩	٨٩.٠

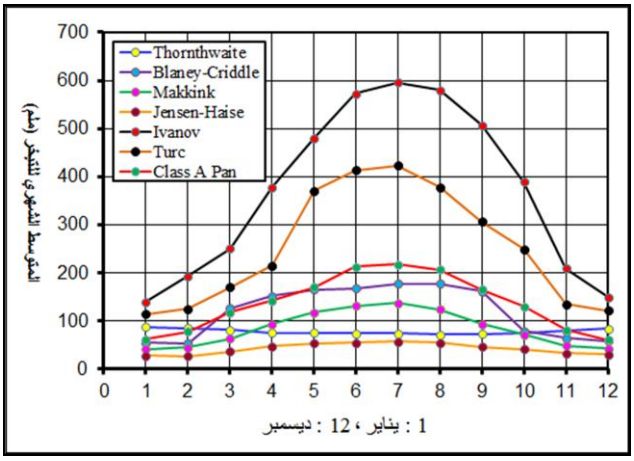
تابع الجدول ٥ : المتوسطات الشهرية للتبخر - نتح الكامن (ملم) بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

المحطة	الشهر	Class A Pan	Turc	Ivanov	Jensen-Haise	Makkink	Blaney-Criddle	Thornthwaite
القيصومة	يناير	١٢٣.٣	٩٩.١	٩٩.٢	٢٢.٣	٣٧.٢	٥١.٦	٩٠.٧
	فبراير	١٥٩.٠	١١٣.٩	١٤٥.٧	٢٢.٩	٤٢.٣	٥٠.٨	٨٧.٥
	مارس	٢١٢.٣	١٦٢.٤	٢١٢.٢	٣٢.٧	٦٠.٣	١٢١.٨	٨٣.٣
	أبريل	٢٩٩.٢	٢٠٣.٠	٣١٥.٥	٤٣.٥	٨٢.٢	١٣٨.٤	٧٩.١
	مايو	٤٣٤.٥	٣٦١.٣	٤٥٩.١	٥٧.٠	١١٦.٦	١٦٣.٣	٧٦.٠
	يونيو	٥٤٣.٨	٤٠٧.١	٥٦٥.٠	٦١.١	١٣٤.٢	١٦٩.٦	٧٤.٤
	يوليو	٥٨٩.١	٤٢٢.٤	٦٠٥.٠	٦٣.٥	١٤٣.٧	١٨٠.٩	٧٣.٥
	أغسطس	٥٦٩.٦	٣٧٦.٩	٥٨٨.٢	٥٧.٣	١٢٨.١	١٧٩.٩	٧١.٩
	سبتمبر	٤٩٠.٥	٣٠١.٦	٥١٣.٣	٤٥.٥	٩٥.٦	١٦٣.٨	٧٢.٥
	أكتوبر	٣٤٨.٧	٢٣٥.١	٣٧٠.١	٣٧.٠	٧١.٢	٧٩.٤	٧٤.٣
	نوفمبر	١٩٧.٢	١١٨.١	١٩٤.١	٢٣.٨	٤١.٩	٦٢.٤	٨٠.٥
	ديسمبر	١٣٥.٠	١٠٥.٢	١١٤.٣	٢٢.٦	٣٨.٤	٥٤.٣	٨٧.١
الرياض	يناير	٦١.٦	١١٤.٨	١٣٩.٥	٢٧.٩	٤١.٥	٥٥.٠	٨٧.٥
	فبراير	٧٧.٤	١٢٥.١	١٩٣.٤	٢٧.٣	٤٤.٩	٥٤.١	٨٤.٦
	مارس	١١٨.٣	١٧٠.٢	٢٥٠.٨	٣٦.٢	٦٣.٠	١٢٧.١	٨١.٥
	أبريل	١٤٢.١	٢١٥.٣	٣٧٧.٨	٤٧.٥	٩٣.٢	١٥١.٩	٧٥.٨
	مايو	١٦٩.٧	٣٧٠.٧	٤٨٠.٦	٥٣.٢	١١٧.٧	١٦٥.٣	٧٥.٣
	يونيو	٢١٢.٧	٤١٣.٨	٥٧٢.٩	٥٤.٥	١٣٠.٩	١٦٨.٣	٧٤.٣
	يوليو	٢١٨.٢	٤٢٣.٧	٥٩٦.٢	٥٦.٨	١٣٧.٩	١٧٧.٩	٧٣.٦
	أغسطس	٢٠٦.٣	٣٧٨.٦	٥٨٠.٢	٥٤.٢	١٢٤.٣	١٧٧.٦	٧٢.١
	سبتمبر	١٦٦.٠	٣٠٦.٢	٥٠٧.٦	٤٦.٣	٩٣.١	١٦١.٢	٧٢.٩
	أكتوبر	١٢٩.٨	٢٤٩.٦	٣٨٩.٠	٤١.٣	٧٢.٠	٧٩.٤	٧٤.٤
	نوفمبر	٨٠.٩	١٣٥.٣	٢٠٩.٨	٣٢.٧	٤٨.٦	٦٤.٣	٧٩.٦
	ديسمبر	٦٠.٥	١٢١.٤	١٤٩.٨	٣٠.٠	٤٣.٢	٥٧.٨	٨٤.٤

تابع الجدول ٥ : المتوسطات الشهرية للتبخر نتح الكامن (ملم) بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

المحطة	الشهر	Class A Pan	Turc	Ivanov	Jensen-Haise	Makkink	Blaney-Criddle	Thornthwaite
جـــــدة	يناير	١٧٩.٢	١٤٧.٠	١٦١.٤	٣٠.٦	٥٦.١	٧١.٠	٧٨.٨
	فبراير	١٨٥.٢	١٤٩.٠	١٦٧.٨	٣١.٤	٥٨.٣	٦٥.٢	٧٨.٤
	مارس	٢٠٠.٥	١٨٦.٣	١٨٦.٠	٤٠.١	٧٥.٦	١٤٢.٤	٧٧.٣
	أبريل	٢٢٩.٤	٢١١.٩	٢١٩.٩	٤٦.٨	٩١.٤	١٤٦.٨	٧٥.٦
	مايو	٢٥٠.٨	٢٢٩.٢	٢٤٢.٣	٥٦.٤	١١٢.٦	١٥٨.٣	٧٤.٥
	يونيو	٢٦٠.٤	٢٣٣.٩	٢٥٠.٧	٥٩.٠	١١٩.٠	١٥٧.١	٧٣.٩
	يوليو	٢٨٥.٦	٢٥١.٨	٢٨١.٧	٦١.١	١٢٦.٦	١٦٧.٣	٧٢.٩
	أغسطس	٢٦٤.٨	٢١١.٩	٢٤٩.٣	٥٦.٩	١١٥.٠	١٦٧.٣	٧٢.٦
	سبتمبر	٢٢٧.٣	١٥٦.٢	١٩٤.١	٤٨.٧	٩٢.٩	١٥٧.٧	٧٣.١
	أكتوبر	٢١٣.٨	١٤٢.٥	١٨٢.٠	٤٣.٤	٥٠.٠	٨٣.٣	٧٣.٨
	نوفمبر	٢٠٤.٣	١٥٧.٥	١٨١.٧	٣٥.٠	٦٤.٨	٧٦.٥	٧٥.٢
	ديسمبر	١٩٠.٦	١٥٢.١	١٧١.٦	٣٢.٥	٥٩.٧	٧٤.٥	٧٦.٩
الظهـــران	يناير	١٢١.٤	١١٦.٣	٨٩.٧	٤٠.١	٤٢.٩	٥٧.٦	٨٥.٧
	فبراير	١٣٨.١	١٢٦.٠	١١٢.١	٣٨.٨	٤٧.١	٥٥.١	٨٤.١
	مارس	١٧٤.٧	١٦٩.٤	١٦٠.٦	٤٨.٠	٦٥.٦	١٢٧.١	٨١.٥
	أبريل	٢٤٢.٩	٢٠٥.٣	٢٤٦.٣	٥٧.٧	٨٥.٥	١٤٠.٤	٧٨.١
	مايو	٣٣٩.٦	٢٩٨.٠	٣٥٨.٦	٧٣.١	١١٨.٢	١٦٣.٣	٧٥.٢
	يونيو	٤١٦.٠	٣٣٥.٨	٤٤٠.١	٧٧.٨	١٣٣.٩	١٦٨.٣	٧٣.٨
	يوليو	٤٠٦.٩	٣٢٥.٤	٤٢٧.٣	٨٢.١	١٤١.٤	١٧٨.٢	٧٣.١
	أغسطس	٣٥٠.٢	٢٦٢.٨	٣٥٨.٧	٧٥.٩	١٢٤.٨	١٧٥.٩	٧٢.١
	سبتمبر	٢٩٠.٧	١٩٩.١	٢٨٩.٨	٦١.٨	٩٥.١	١٦١.٢	٧٢.٨
	أكتوبر	٢٢٤.٩	١٥٤.٥	٢٠٩.٢	٥٤.٠	٧٥.٩	٨١.٢	٧٣.٩
	نوفمبر	١٧١.٥	١٤٠.٢	١٤٨.٧	٤١.٨	٥٣.٤	٦٨.٧	٧٧.٥
	ديسمبر	١٣٤.٠	١٢١.٠	١٠٤.٢	٣٨.٧	٤٤.١	٦١.٧	٨٢.٠
خميس مشيط	يناير	١٠١.٢	١١٥.٩	١١٦.٠	٦٥.٦	٧٦.٤	٥١.٥	٩٠.٩
	فبراير	١١٠.٢	١٤٠.٣	١٦٣.٢	٥٣.٩	٨٠.٩	٥٠.٥	٨١.٢
	مارس	١٣٢.٦	١٩٥.٠	٢٠٧.٤	٦٦.٧	١٠٧.٦	١١٦.٨	٨٧.٧
	أبريل	١٤٥.١	٢٤٧.٤	٢٨٨.٧	٧٨.٠	١٣٢.٥	١٣٠.٤	٨٣.٠
	مايو	١٥٩.٥	٣٢٦.٢	٣٩٤.٨	٩٦.٤	١٦٩.٠	١٥٢.٣	٨٤.٢
	يونيو	٢٠٢.٦	٣٦٧.٥	٤٩٧.١	١٠٢.٣	١٨٣.٣	١٦٠.٠	٧٩.٩
	يوليو	١٧٧.١	٣٧٧.٦	٥١٩.٤	١٠٦.٢	١٩٠.١	١٦٩.٦	٨١.١
	أغسطس	١٦٦.٧	٣٥٠.٤	٥٢٢.٧	٩٩.٨	١٧٧.٥	١٧١.٣	٧٨.٩
	سبتمبر	١٨٠.١	٢٩٦.١	٤٦٠.١	٨٣.٤	١٤٧.٦	١٥٥.٨	٧٤.٨
	أكتوبر	١٥٢.٤	٢٤٤.٠	٣٣٣.٩	٧٢.٩	١٢٥.٥	٧٥.٢	٧٧.٧
	نوفمبر	١١٥.٠	١٤٥.٥	١٦٨.٨	٦٢.٨	٩٠.٩	٥٩.٢	٨٠.٤
	ديسمبر	١٠٢.٢	١٢١.٩	١٢٢.٧	٦٥.٦	٧٩.٦	٥٣.٢	٨٨.٠

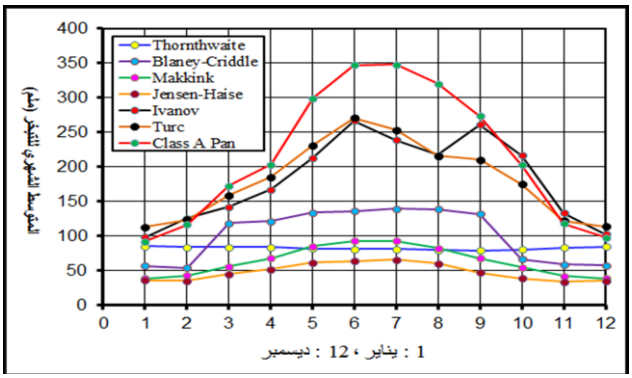
الأخرى للمجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب قدرها ٦٩% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس و ٣٩% بالنسبة لنموذج ماكينك و ١٢% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٤٣% بالنسبة لنموذج تورنثويت. أما بالنسبة للمتوسط الشهري فإن نتائج تقدير جنسن-هايس وماكينك تزيد خلال جميع الشهور عن كميات حوض التبخر وأن تقدير نموذج بلاني-كريدل تقل عن كميات حوض التبخر خلال جميع الشهور عدا شهري مارس وأبريل وأن تقدير نموذج تورنثويت تقل عن كميات حوض التبخر خلال جميع الشهور عدا شهور فصل الشتاء (ديسمبر، يناير، فبراير).



الشكل ٣ : المتوسطات الشهرية للتبخر نتح الكامن بمحطة مطار الملك خالد بالرياض للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٢- محطة مطار حائل الاقليمي

يقل تقدير جميع النماذج للمجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر، بنسب تبلغ ١٦% بالنسبة لنموذجي تورك و إيفانوف و٥٣% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٦٢% بالنسبة لنموذج تورنثويت و ٧١% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٧٨% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس (الشكل ٤). أما بالنسبة للمتوسط الشهري فإن تقدير التبخر- نتح الكامن الشهري لجميع الشهور يقل عن كميات حوض التبخر خلال جميع الشهور بالنسبة لجميع النماذج عدا شهور الفترة الممتدة من نوفمبر إلى فبراير بالنسبة لنموذج تورك وشهور الفترة الممتدة من أكتوبر إلى فبراير بالنسبة لنموذج إيفانوف.



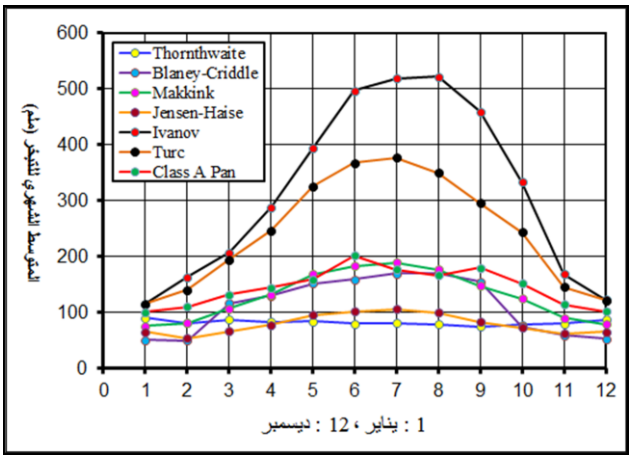
الشكل ٤ : المتوسطات الشهرية للتبخر نتح الكامن (ملم) بمحطة حائل للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

-٣

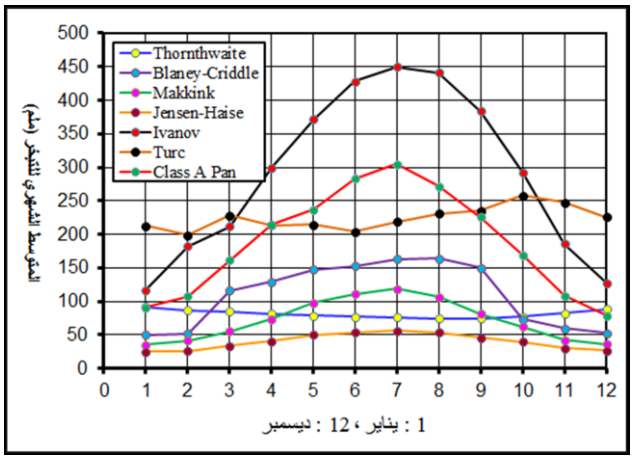
يقل تقدير نماذج جنسن-هايس و ماكينك و بلاني-كريدل وتورنثويت للمجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب تبلغ ١١% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٢٣% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٤٣% بالنسبة لنموذج تورنثويت و ٤٥% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس، في حين أن تقدير نموذجي تورك وإيفانوف للمجموع الشهري والسنوي للتبخر-نتح الكامن يزيد عن كميات حوض التبخر بنسبة تبلغ على التوالي ٦٨% و ١٨% (الشكل ٥). ويقل تقدير متوسط التبخر- نتح الكامن الشهري كذلك لهذه النماذج عن كميات حوض التبخر عدا شهور مايو ويوليو وأغسطس بالنسبة لنموذج ماكينك وشهر أغسطس بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل.

٤- محطة تبوك

يقل تقدير نماذج جنسن-هايس وماكينك وبلاني-كريدل وتورنثويت للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب تبلغ على التوالي ٧٩% و ٦٢% و ٤٢% و ٥٧%، في حين يزيد تقدير نموذج إيفانوف للمجموع الشهري والسنوي للتبخر-نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسبة تبلغ ٥٥% ويزيد تقدير نموذج تورك المجموع السنوي للتبخر- نتح الكامن بنسبة ١٩%، بينما يقل تقدير هذا النموذج لتبخر الفترة الممتدة من أبريل إلى أغسطس (الشكل ٦).



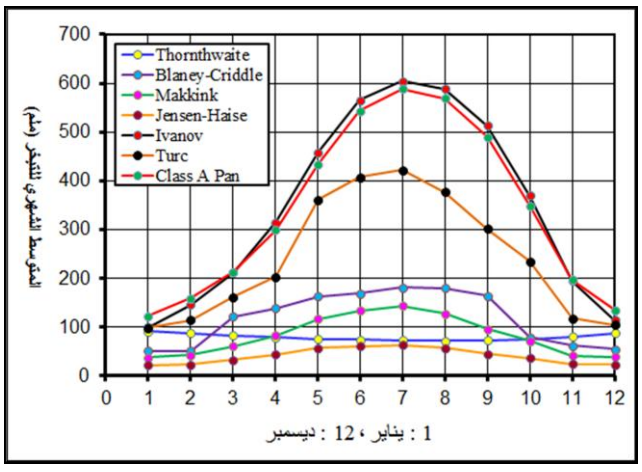
الشكل ٥ : المتوسطات الشهرية للتبخر- نتح الكامن (ملم) نتح بمحطة خميس مشيط للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥



الشكل ٦ : المتوسطات الشهرية للتبخر- نتح الكامن (ملم) بمحطة تبوك للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٥- محطة القيصومة

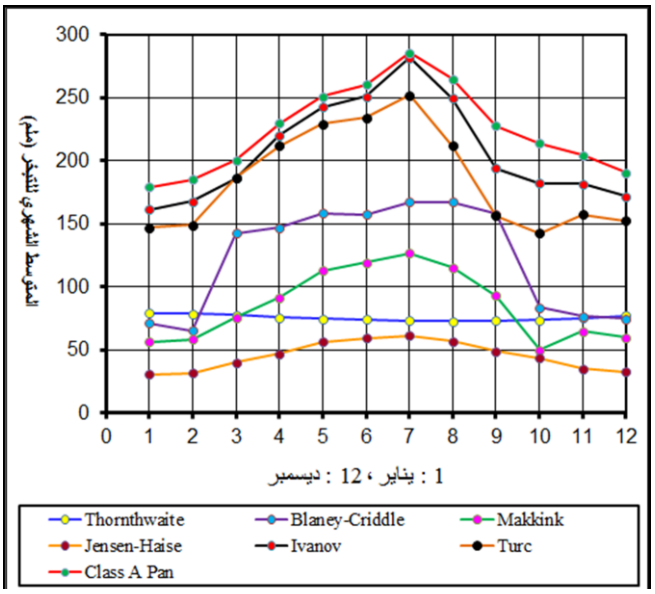
يقل تقدير جميع النماذج للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب تبلغ ٧٦.٨% بالنسبة لنموذج تورنثوايت و ٦٥.٥% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٧٥.٨% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٨٨.١% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس و ٢٩.٢% بالنسبة لنموذج تورك، في حين يتماثل تقدير نموذج إيفانوف للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن مع كميات حوض التبخر بحيث لا يتعدى الفارق بينهما ٢.٠% كما يفوق تقدير نموذج إيفانوف للمجموع الشهري للتبخر- نتح مثيله بحوض التبخر خلال الفترة من أبريل إلى أكتوبر (الشكل ٧).



الشكل ٧ : المتوسطات الشهرية للتبخر- نتح الكامن بمحطة القيصومة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٦- محطة جدة

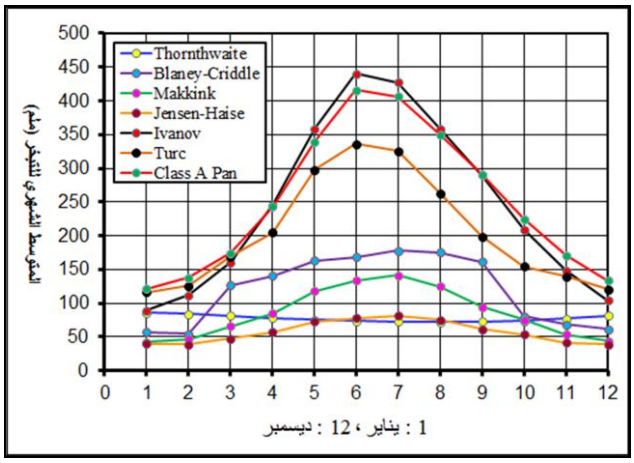
يقل تقدير جميع النماذج للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب تبلغ ٦٦.٤% بالنسبة لنموذج تورنثوايت و ٤٥.٥% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٦٢.٠% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٧٩.٩% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس و ١٧.٢% بالنسبة لنموذج تورك، في حين يقل تقدير نموذج إيفانوف للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن مثيله لحوض التبخر بنسبة لا تتعدى ٧.٦%. وعليه فإن نموذج إيفانوف هو الأقرب لقياس حوض التبخر مقارنة بجميع النماذج الأخرى (الشكل ٨).



الشكل ٨ : المتوسطات الشهرية للتبخر- نتح الكامن بمحطة جدة للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٧- محطة الظهران

يقل تقدير جميع النماذج للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن عن كميات حوض التبخر بنسب تبلغ ٦٩.١% بالنسبة لنموذج تورنثوايت و ٥٢.٢% بالنسبة لنموذج بلاني-كريدل و ٦٥.٩% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٧٧.١% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس و ١٨.٥% بالنسبة لنموذج تورك، في حين يقل تقدير نموذج إيفانوف للمجموع الشهري والسنوي للتبخر- نتح الكامن مثيله لحوض التبخر بنسبة لا تتعدى ٢.٢% . وعليه فإن نموذج إيفانوف هو الأقرب لقياس حوض التبخر مقارنة بجميع النماذج الأخرى (الشكل ٩).



الشكل ٩ : المتوسطات الشهرية للتبخر- نتح الكامن بمحطة الظهران للفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٦-٣- فحص نتائج نماذج تقدير التبخر- نتح

تتلخص نتائج الفحص الاحصائي لنماذج تقدير التبخر- نتح الكامن في ما يلي : (الجدول ٦)

الجدول ٦ : نتائج الفحص الاحصائي لأداء نماذج تقدير التبخر- نتح الكامن بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

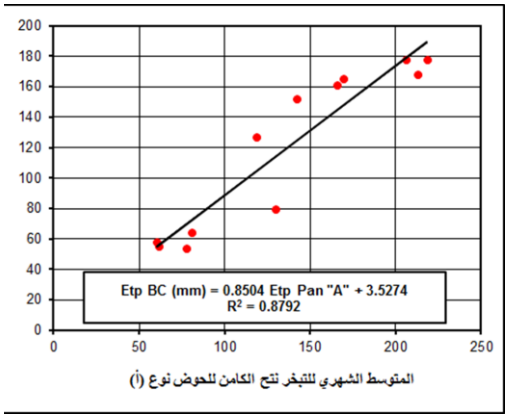
المحطة	النموذج	RMSE	MAE	PE	RC
مطار الملك خالد (الرياض)	Thornthwaite	٢.٧٦	٢.٢٤	-٢٨.٣	٠.٩٤٩
	Blaney-Criddle	٠.٨٥	٠.٦٦	-١٢.٤	٠.٩٨٧
	Makkink	١.٨٨	١.٧٣	-٣٨.٢	٠.٩٧٣
	Jensen-Haise	٣.٤٤	٣.١٠	-٦٦.٤	٠.٩٥٥
	Ivanov	٨.٥١	٧.٦٧	١٦٤.٥	٠.٨٣٦
	Turc	٤.٢٨	٣.٧٧	٨١.٦	٠.٦٧٦
خ مشيط	Thornthwaite	٢.٣٧	٢.٠٧	-٣٩.٩٤	٠.٩٤٥
	Blaney-Criddle	١.٣٧	١.١٣	-٢٦.٠٩	٠.٩٥٩
	Makkink	٠.٧٣	٠.٦٩	-١٢.٣	٠.٩٧٦
	Jensen-Haise	٢.٢٦	٢.١٧	-٤٤.٨٧	٠.٩٥٣
	Ivanov	٦.٨٦	٥.٦٠	١٠٤.٩٢	٠.٨٢٦
	Turc	٣.٨٥	٣.٢٣	٦١.٥٩	٠.٧٨١
حائل	Thornthwaite	٥.٣٨	٤.٣٧	-٥١.٧	٠.٩٥٣
	Blaney-Criddle	٤.٣٠	٣.٧٧	-٥٠.٥	٠.٩٦٤
	Makkink	٥.٥٦	٥.٠٠	-٦٨.٣	٠.٩٥٧
	Jensen-Haise	٦.١٤	٥.٥١	-٧٥.٠	٠.٩٥٤
	Ivanov	١.٨٦	١.٣٨	-٩.٦	٠.٩٨١
	Turc	١.٧٩	١.٤٠	-٩.١	٠.٩٨٢
تبوك	Thornthwaite	٤.٣٧	٣.٤٩	-٤٥.٧	٠.٩٥١
	Blaney-Criddle	٢.٨١	٢.٥٨	-٤١.٩	٠.٩٧١
	Makkink	٤.٠٩	٣.٨٠	-٦١.٤	٠.٩٦٢
	Jensen-Haise	٥.٢٨	٤.٨٤	-٧٧.٠	٠.٩٥٣
	Ivanov	٣.٧٢	٣.٣٩	٥٥.١	٠.١٦٤
	Turc	٢.٨٨	٢.٤٤	٤٥.٧	٠.٣٢٨

تابع الجدول ٦ : نتائج الفحص الاحصائي لأداء نماذج تقدير للتبخر- نتح الكامن بالمحطات المدروسة خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

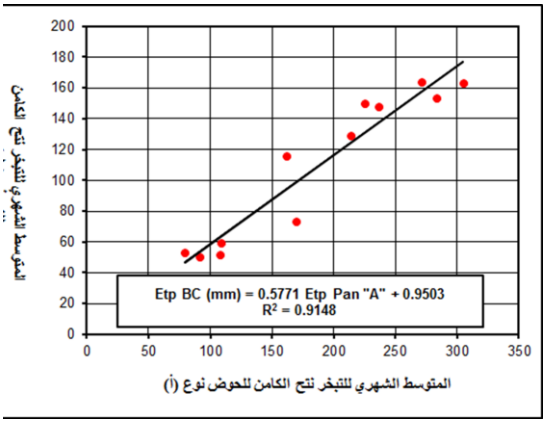
المحطة	النموذج	RMSE	MAE	PE	RC
جدة	Thornthwaite	٥.٠٢	٤.٨٩	-٦٥.٦	٠.٩٣٧
	Blaney-Criddle	٣.٤٤	٣.٣٦	-٤٦.٧	٠.٩٤٥
	Makkink	٤.٥٩	٤.٥٨	-٦٢.٨	٠.٩٤١
	Jensen-Haise	٥.٩٣	٥.٨٩	-٨٠.١	٠.٩٣٦
	Ivanov	١.٤٠	١.٢٧	-١٧.٥	٠.٩٦٤
	Turc	٠.٦٣	٠.٥٧	-٨.٠	٠.٩٨٤
الظهران	Thornthwaite	٦.٦٦	٥.٦٨	-٦٢.٢	٠.٩٥٠
	Blaney-Criddle	٤.٧٥	٤.٣٠	-٥١.٨	٠.٩٦٤
	Makkink	٥.٨٦	٥.٤٢	-٦٥.٨	٠.٩٥٩
	Jensen-Haise	٦.٩٥	٦.٣٥	-٧٥.٦	٠.٩٥٣
	Ivanov	٠.٦٧	٠.٥٩	-٦.٣	٠.٩٦٦
	Turc	١.٨٦	١.٥٢	-١٦.٦	٠.٩٨٦
القيصومة	Thornthwaite	١٠.٣٣	٨.٦٠	-٦٧.٣	٠.٩٥٣
	Blaney-Criddle	٨.٣٨	٧.٣٤	-٦٣.٦	٠.٩٦٤
	Makkink	٩.٥٤	٨.٥٠	-٧٤.٩	٠.٩٥٧
	Jensen-Haise	١١.٠٩	٩.٨٧	-٨٧.٠	٠.٩٥٤
	Ivanov	٠.٦١	٠.٥٥	-١.١	٠.٩٨١
	Turc	٣.٧٧	٣.٢٧	-٢٨.٤	٠.٩٨٢

يتبين من خلال نتائج الفحص الاحصائي بمعدل الخطأ المطلق (MAE) وبجذر معدل مربع الخطأ (RMSE) وبالنسبة المئوية للخطأ (PE) وبمعامل المصداقية (RC) ما يلي:

١- يعتبر تقدير نموذج بلاني-كريدل أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطتي مطار الملك خالد بالرياض بوسط المملكة وتبوك بشمال غربها، بحيث بلغت بها قيم RMSE و MAE و PE و RC على التوالي ٠.٨٥ و ٠.٦٦ و -١٢.٤ و ٠.٩٨٧ بمحطة مطار الملك خالد بالرياض، أي أن متوسط التبخر- نتح الكامن الشهري لتقدير هذا النموذج يقل بنسبة لا تتعدى ١٢.٤% عن قياس حوض التبخر وبمصداقية تصل إلى ٩٨.٧% (الشكل ١٠ و ١١). أما بالنسبة لمحطة تبوك فإن قيم فحص RMSE و MAE و PE و RC بلغت على التوالي ٢.٨١ و ٢.٥٨ و -٤١.٩ و ٠.٩٧١، أي أن متوسط التبخر- نتح الكامن الشهري لتقدير هذا النموذج يقل بنسبة لا تتعدى ٤١.٩% عن قياس حوض التبخر وبمصداقية تصل إلى ٩٧.١%.

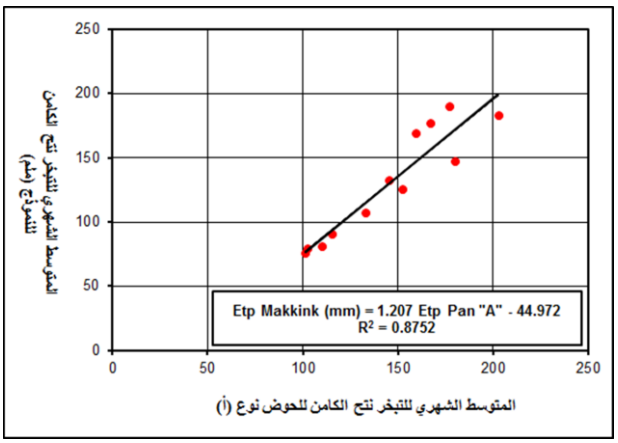


الشكل ١٠ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج بلاني-كريدل للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥



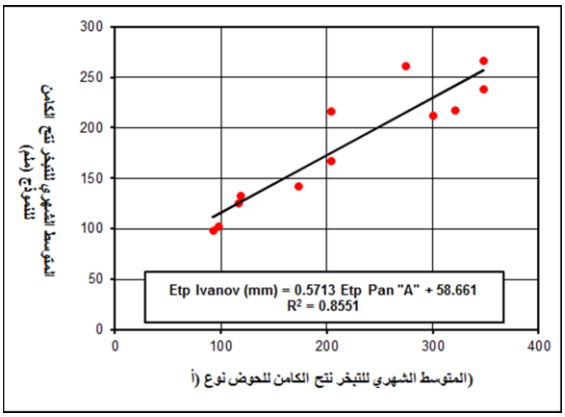
الشكل ١١ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج بلاني-كريدل للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥

٢- يعتبر تقدير نموذج ماكينك أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة خميس مشيط بمرتفعات عسير بجنوب غربي المملكة، بحيث بلغت بها قيم RMSE و MAE و PE و RC على التوالي ٠.٧٣ و ٠.٦٩ و -١٢.٣ و ٠.٩٧٦، أي أن متوسط التبخر- نتح الكامن الشهري لتقدير هذا النموذج يقل بنسبة لا تتعدى ١٢.٣% عن قياس حوض التبخر وبمصداقية تصل إلى ٩٧.٦% (الشكل ١٢).

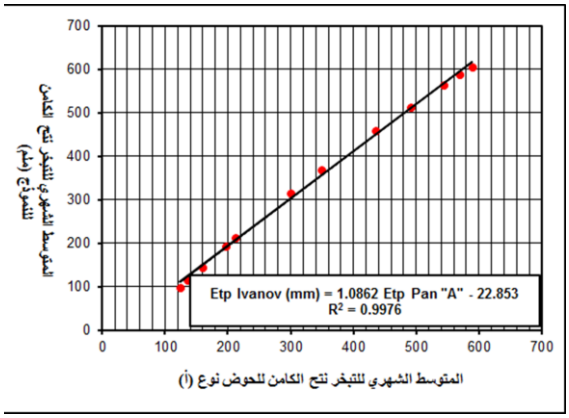


الشكل ١٢ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج إيفانوف للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥ بمحطة خميس مشيط

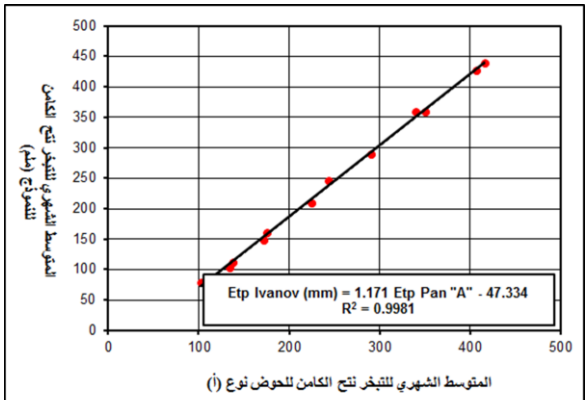
٣- يعتبر تقدير نموذج إيفانوف أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة حائل بشمال وسط المملكة حسب فحص RMSE و MAE، بحيث بلغت قيمتا هذين الفحصين على التوالي ١.٨٦ و ١.٣٨ ونموذج تورك أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بهذه المحطة حسب فحص PE و RC، بحيث بلغت قيمتا هذين الفحصين على التوالي -٩.١ و ٠.٩٨٢، أي أن متوسط التبخر- نتح الكامن الشهري لتقدير هذا النموذج يقل بنسبة لا تتعدى ٩.١% عن قياس حوض التبخر وبمصداقية تصل إلى ٩٨.٢% (الشكل ١٣). كما يعتبر تقدير إيفانوف أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطتي القيصومة والظهران بالساحل الشرقي حسب فحص RMSE و MAE و PE، حيث بلغت قيم هذه الفحوص على التوالي ٠.٦١ و ٠.٥٥ و ١.١- بالمحطة الأولى و ٠.٦٧ و ٠.٥٩ و ٦.٣- على التوالي أيضاً بالمحطة الثانية، أي أن الفرق بين القيم المحسوبة بهذا النموذج وقيم حوض التبخر لا تتعدى نسبة قدرها ١.١% بمحطة القيصومة و ٦.٣% بمحطة الظهران وبمصداقية تبلغ ٩٨.١% و ٩٦.٦% على التوالي بالمحطتين (الشكل ١٤ و الشكل ١٥).



الشكل ١٣ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج إيفانوف للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥ بمحطة حائل

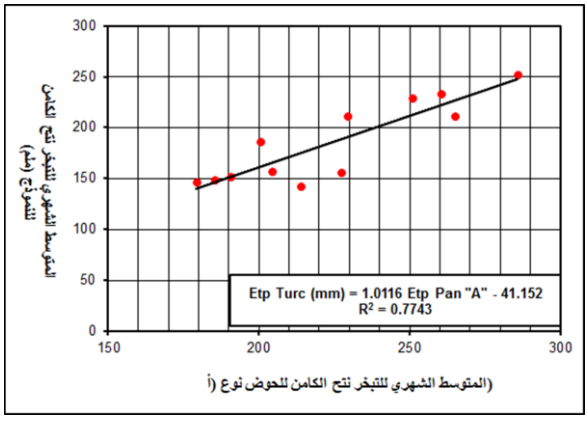


الشكل ١٤ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج إيفانوف للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥ بمحطة القيصومة



الشكل ١٥ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج إيفانوف للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥ بمحطة الظهران

٤- يعتبر تقدير نموذج تورك أقرب تقدير لقياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة جدة بالساحل الغربي حسب فحوص RMSE و MAE و PE و RC، بحيث بلغت قيم هذه الفحوص على التوالي ٠.٦٣ و ٠.٥٧ و ٨.٠- و ٠.٩٨٤، أي أن الفرق بين تقدير التبخر-نتح الكامن بهذا النموذج وقياس حوض التبخر نوع "أ" لا يتعدى نسبة قدرها ٨.٠% وبمصداقية تصل إلى ٩٨.٤% (الشكل ١٦).



الشكل ١٦ : علاقة الارتباط الخطي بين تقدير نموذج بلاني-كريدل للمتوسط الشهري للتبخر-نتح الكامن وقياس التبخر للحوض نوع "أ" خلال الفترة ١٩٨٥-٢٠١٥ بمحطة جدة

الخلاصة

توصلت هذه الدراسة إلى جملة من النتائج أظهرت من خلالها التباينات المكانية والزمنية لقياس التبخر بواسطة حوض التبخر نوع "أ" من جهة وبواسطة تقديرات نماذج تورنثويت وبلاني-كريدل وماكينك وجنسن-هايس وإيفانوف وتورك من جهة ثانية.

فعلى مستوى قياسات حوض التبخر نوع "أ" لوحظ أن محطة القيصومة تتسم بأعلى كمية للتبخر بما يعادل ٤١٠٢.١ ملم/سنة ومحطة مطار الملك خالد بالرياض بأدنى كمية للتبخر بما يعادل ١٦٤٣.٥ ملم/سنة، أي بفارق قدره ٥٩.٥% بين المحطتين.

كما يتسم فصل الصيف بأعلى كمية للتبخر- نتح الكامن مع تباينها من محطة لأخرى، بحيث تصل إلى أقصاها بما يعادل ١٧٠٢.٥ ملم بمحطة القيصومة وأدناها بما يعادل ٥٤٦.٤ ملم بمحطة خميس مشيط، أي بفارق قدره ٦٧.٩% بين المحطتين. في حين يتميز فصل الشتاء بأدنى كمية للتبخر- نتح الكامن مع تباينها من محطة لأخرى، بحيث تتراوح بين ١٩٩.٥ ملم بمحطة مطار الملك خالد بالرياض و ٥٥٥.٠ ملم بمحطة جدة، أي بفارق قدره ٦٤.٠% بين المحطتين.أما على مستوى نتائج تقدير النماذج المدروسة فقد تبين أن :

١- تقدير التبخر- نتح الكامن لجميع النماذج يقل عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بنسب تبلغ ٧.٦% وبين ١٥.٧% بالنسبة لنموذج إيفانوف و بين ٧٩.٩% و ٧٧.٨% و ٧٧.١% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس بمحطات جدة و حائل والظهران على التوالي.

٢- تقدير التبخر- نتح الكامن لنماذج تورنثوايت وبلاني- كريدل و ماكينك و جنسن يقل عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة الرياض بنسب تتراوح بين ١٢.٤% بالنسبة لنموذج بلاني- كريدل و ٦٩.١% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس، في حين يزيد تقدير نموذجي تورك و إيفانوف عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بنسبة تتراوح بين ٨٤.٠% و١٧٠.٩% على التوالي.

٣- تقدير التبخر- نتح الكامن لنماذج تورنثوايت وبلاني- كريدل و ماكينك و جنسن وتورك يقل عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة القيصومة بنسب تتراوح بين ٢٩.٢% بالنسبة لنموذج تورك و ٧٦.٨% بالنسبة لنموذج تورنثوايت، في حين يزيد تقدير نموذج إيفانوف عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بنسبة لا تتعدى ١.٩%.

٤- تقدير التبخر- نتح الكامن لنماذج تورنثوايت وبلاني- كريدل و ماكينك و جنسن يقل عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة خميس مشيط بنسب تتراوح بين ١٠.٥% بالنسبة لنموذج ماكينك و ٤٥.٣% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس، في حين يزيد تقدير نموذجي تورك و إيفانوف عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بنسبة تتراوح بين ٦٧.٨% و١١٧.٥% على التوالي.

٥- تقدير التبخر- نتح الكامن لنماذج تورنثوايت وبلاني- كريدل و ماكينك و جنسن يقل عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بمحطة تبوك بنسب تتراوح بين ٤١.٨% بالنسبة لنموذج بلاني- كريدل و ٧٨.٥% بالنسبة لنموذج جنسن-هايس، في حين يزيد تقدير نموذجي تورك و إيفانوف عن قياس حوض التبخر نوع "أ" بنسبة تتراوح بين ١٩.٤% و٥٤.٩% على التوالي.

ويستنتج من ما تقدم أن نموذج حنسن-هايس أعطى أقل التقديرات، في حين أعطى نموذج إيفانوف أعلى التقديرات وأقربها لقياس حوض التبخر نوع "أ" بجميع المحطات.

ولقد أظهرت نتائج الفحص الاحصائي RMSE و MAE و PE و RC لأداء نماذج التقدير المدروسة أن تقدير نموذج بلاني-كريدل بمحطتي مطار الملك خالد وتبوك وتقدير نموذج ماكينك بمحطة خميس مشيط وتقدير نموذج إيفانوف بمحطات حائل والقيصومة و الظهران وتقدير تورك بمحطة جدة هي الأقرب لقياس حوض التبخر نوع "أ" بهذه المحطات.

Abstract

Comparative Analysis of Calibration of Daily Potential Evapotranspiration using Class "A" Pan Evaporation in Saudi Arabia

By Fahda Falah

This study evaluated the calibration of the Thornthwaite, Blaney-Criddle, Makkink, Jensen-Haise, Ivanov and Turc potential evapotranspiration models by actual evaporation of the Class "A" Pan of four climatic stations, Tabuk station in the Northwest, King Khaled airport station in Riyadh, Qaissoumah and Hail in Central, Khamis Mushayt station in the South-West , Jeddah in the Western coast and Dahran in the Eastern coast of Saudi Arabia.

The results of this study showed some spatial variations of Class A Pan evaporation between the studied stations and in between the models estimation in the same station in different seasons. In order to distinguish between the estimations of these models, four statistical tests were applied ; the Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), the Percentage Error (PE) and the Reliability Coefficient (RC).

The Blaney-Criddle model fits the climatic records of the King Khalid Airport in Riyadh and Tabuk. The Makkink model at Khamis Mushayt climatic station , the Turc model at Jeddah climatic station , the Ivanov model at Qaissoumah and Dahran and the Ivanov with Turc in Hail are the best models for estimating the monthly average of evapotranspiration.

Key-Words :

Potential Evapotranspiration, Class "A" Pan, Thornthwaite model, Blaney-Criddle model, Makkink model, Jensen-Haise model, Ivanov model, Turc model, Saudi Arabia.

المراجع

أ- المراجع العربية

١- الجراش، محمد عبد الله (١٩٩٢) : أنموذج لتقدير المتوسط الشهري لكمية التبخر في المملكة العربية السعودية مقارنة بأنموذجي Penman و Ivanov، مجلة جامعة الملك عبد العزيز، الآداب والعلوم الانسانية، مجلد **(٥)** : ٧٥-١٠١.

٢- الطاهر، عبد الله أحمد سعد (١٩٩٨) : تقدير التبخر الشهري في المملكة العربية السعودية، سلسلة رسائل جغرافية، العدد ٢١٣، الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت.

٣- الغشيان، هيفاء عبد الله حسن (١٩٩٠) : التبخر والميزانية المائية في المملكة العربية السعودية، رسالة ما جستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الملك سعود، الرياض.

٤- بوروبه، محمد فضيل (٢٠٠٧) : معايرة قيم نماذج حساب التبخر- نتح بواسطة حوض التبخر نوع "أ" بمنطقة عسير في المملكة العربية السعودية، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، العدد ١٣٤، مجلس النشر العلمي، جامعة الكويت، ص ص ١٢٧-٢٠٠.

٥- الشلش، علي حسن (١٩٧٦) : القيمة الفعلية للأمطار وأثرها في تحديد الأقاليم النباتية في العراق، مجلة كلية الآداب، العدد ١، جامعة البصرة.

٦- الشلش، علي حسن (١٩٧٩) : التباين المكاني للتوازن المائي وعلاقته بالانتاج الزراعي في العراق، مجلة الخليج العربي، مركز دراسات الخليج العربي بجامعة البصرة، المجلد **(١١)**، العدد ١، جامعة البصرة.
٧- القصاب، نافع ناصر (١٩٨٥) : أقاليم الزراعة المطرية لمحصول الحنطة والشعير في العراق في ظل المعايير المناخية، مجلة الجمعية الجغرافية العراقية، المجلد **(١٦)**، جامعة بغداد.
٨- البياتي، عدنان هزاع (١٩٨٥) : مناخ محافظات العراق الحدودية الشرقية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة بغداد، العراق.
٩- الجبوري، رجاء خليل أحمد (٢٠٠٢) : الموازنة المائية المناخية للمنطقة المتموجة في العراق : دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التربية للبنات، جامعة بغداد، العراق.
١٠- كنجو، علي ؛ إبراهيم، جهاد ؛ زينة، ربيع ؛ حسون، نيفين (٢٠١٦) : دراسة إمكانية استخدام طريقة الحوض نوع "أ" وبعض الصيغ المبسطة في تقدير التبخر- نتح الكامن في منطقة اللاذقية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم البيولوجية، العدد (٦) : ٢١٥-٢٣١.
١١- زيتون، محمد (٢٠١٦) : تحليل الموازنة المائية للتربة في شمال الأردن للفترة ١٩٧٠-٢٠٠٩، مجلة أبحاث العلوم الطبيعية، المجلد **(٣٠)** : ٢٠٥-٢٣٢.
١٢- السمني، محمد عوض السيد (٢٠١٣) : الموازنة المائية وتوزيع الأراضي الزراعية بشبه جزيرة سيناء : دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، مجلة الانسانيات، العدد (٤١) : ٥٠٧-٥٥٢.
١٣- جاسم، وليد أسمر؛ حمدون، هاني محمد (٢٠١٤) : مقارنة بين نموذجي Penman-Monteith وحوض التبخر في تخمين التبخر- نتح المرجعي في مناطق مختلفة من العراق، المجلة الأردنية للفيزياء، المجلد **(٧)**، العدد ١ : ٤٣-٥٢.
١٤- الموسوي، صالح عاتي؛ كتاب، عماد راتب (٢٠١٦): أثر المناخ في تقدير الاحتياجات المائية لمشروع الجربوعية في محافظة بابل، مجلة القادسية للعوم الانسانية، المجلد **(١٩)**، العدد ٢ : ١٧٧-٢١٣.
١٥- بن حشر، فهدة بنت فلاح فيصل (٢٠٠٧): خصائص الأمطار والتبخر وتطبيقاتها على الميزانية المائية والقيمة الفعلية للأمطار في شمالي المملكة العربية السعودي: دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية التربية (الأقسام الأدبية) بالرياض.

ب- المراجع الأجنبية

١- Al Saaran, N. (١٩٩٩) : Temporal and spatial variability of potential evapotranspiration in Saudi Arabia, *Journal of the Gulf and Arabian Peninsula Studies*, Vol. **XXIV**, no. ٩٢ : ٢٢٩-٢٤٥.
٢- Blaney, H.F. and Criddle, W.D. (١٩٥٠) : Determining water requirement in irrigation areas from climatological and irrigation data , Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture , Technical Paper ٩٦, February, ٤٨ pages.
٣- Diouf, O.C. ; Weinhermüller, L. ; Ba, K. ; Faye, S.C. ; Faye, S. and Vereecken, H. (٢٠١٦) : Estimation of Turc reference evapotranspiration with limited data against the Penman-Momteith formula in Senegal, *Journal of Agriculture and Environment for International Development* (JAEID) ١١٠ (١) : ١١٧-١٣٧.
٤- Garcia, J. and Lopez, J. (١٩٧٠) : Formula for evaporation calculation adapted to Tropical zone, *Agronomia Tropical* **(٢٠)** , ٥ : ٣٣٥-٣٤٥.
٥- Hargreaves, G.H. and Samni, Z.A. (١٩٨٢) : Estimation of potential evapotranspiration , *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society Civil Engineers* **(١٠٨)** : ٢٢٣-٢٣٠.
٦- Holdridge, L.R. (١٩٥٩) : Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data, *Science* **(١٣٠)** , ٣٣٧٥ : ٥٧٢.
٧- Ivanov, N.N. (١٩٥٤) : Estimation of the amount of evaporation ability, *P. All-Union Geogr. Society* **(٨٦)** : ١٨٩-١٩٥.
٨- Jensen, M.E. and Haise, H.R. (١٩٧٣) : Estimation of evapotranspiration from solar radiation , *Journal of Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society Civil Engineers* **(٨٩)** : ١٥-٤١.
٩- Musy, A. (٢٠٠٤) : Cours d'Hydrologie et de Climatologie, Chapitre ٤, http://hydram.epfl.ch/e-drologie.

١٠- Penman, H.L. (١٩٥٤) : Evaporation on irrigation sugar beet, *Netherland Journal of Agriculture Sciences* ٤٢(٣): ٢٨٦-٢٩٢.
١١- Sorman, A.U. and Abdulrazzak, M.J. (١٩٩٥) : Estimation of actual evaporation using precipitation and soil moisture records in arid climates , *Hydrological Processes Journal*, Vol. (٩) : ٧٢٩-٧٤١.
١٢- Turc, L. (١٩٦١) : Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, *Annales Agronomiques* ١٢ (١) : ١٣-٥٠.
١٣- Thornthwaite, C.W. (١٩٤٨) : An Approach toward a Rational Classification of Climate, *Geographical Review*, Vol. ٣٨, pp. ٥٥-٩٤.