- - - مجلة علوم الرافدين، المجلد 19، العدد 3، ص 154-173،2008 - - - -

دراسة التبخر – نتح المرجعي في محافظة نينوى باستخدام عده نماذج رياضية

وليد أسمير الرجبو **خضر جاسم** **مخاف شلال**

قسم الفيزياء *قسم الجغرافية*

كلية التربية *كلية التربية*

جامعة الموصل *جامعة الموصل*

(تاريخ الاستلام 2008/1/31 ؛ تاريخ القبول 2008/6/30)

الملخص

تـم مقارنة نتـائج القـيم اليـومـية للتـبخر – نتح المـرجعي من أربعـة نمـاذج ريـاضية (Hargreaves and Samani, Modified Blaney–Criddle, Kharrufa, Pan) مـع نتائـج نموذج(FAO-56 Penman Monteith) لغرض ايجاد دقة كل نموذج وذلك فـي أربعـة مواقـع فـي محافظة نينوى. فـي محطة الموصل أظهر نموذج (Pan) دقـة أكبر من النماذج الأخرى حيـث كـان نسبة الخطأ المطلق لمعدل الانحراف MAE هو (7.2%). فـي ربيعة كان نموذج (Hargreaves and Samani) أفضل مـن النماذج الاخرى اذ كانت قيمـة MAE (7.5%). فـي تلعفـر كـان نمـوذج (Modified Blaney–Criddle) أكثر دقـة مـن النماذج الاخرى بواقع MAE (4.2)%. أمـا فـي البعاج فأفضل النماذج كـان(Hargreaves and Samani) بواقع (9.4%). تـم ايجاد علاقات الارتباط بين نتائج هـذه الموديلات الأربعة مـع نتائج نموذج Penman Monteith. كما تـم إيجـاد علاقـات الارتباط للقيم اليومية لنموذج Penman Monteith مـع مختلف المتغيرات المناخية (التبخـر، سـرعة الرياح، درجات حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، صافي الاشعاع، الاشعاع النسبي).

Study of Reference Evapotranspiration in Ninava Governorate Using Different Mathematical Models

Waleed I.Al-Rijabo **Kider Jasim** **Miklif Shalal**

Department of Physics *Department of Geography*

College of Education *College of Education*

Mosul University *Mosul University*

ABSTRACT

Daily out put from four evapotranspiration models (Hargreaves and samani, modified Blaney–Criddle, Kharrufa and Pan) have been tested against reference evapotranspiration data computed by FAO–56 Penman– Monteith model to asses the

accuracy of each model in four locations in Ninava Governorate. In Mosul station Pan model was the most accurate model with mean absolute error (MAE) of (7.2%). In Rabiha Hargreaves and Samani model performed best with (MAE) of (7.5%). In Talafar modified Blaney–Criddle performed best with (MAE) of (4.2%). Finally in Albaagh Hargreaves and Samani performed best with (MAE) of (9.4%). Correlations were also found between the results of these four models and the results of the Panman Montieth model.

Also correlations were found between daily out put from Penman– Monteith model and different climatic parameters (Evaporation, Wind speed, Air Temperature, Relative Humidity, Net Radiation and Relative Radiation).

المقدمة

عرف التقرير الصادر مـن FAO عام 1977 التبخر–نتح المرجعي بانه معدل التبخر– نتح لسطح تربة مزروعة بغطاء نباتي اخضر مزدهر النمو بارتفاع (8 - 13) سم ولا يعاني مـن شحة المياه. تعـد عملية تحديد مفقودات مياه المطر عـن طريق التبخر – نتح من الامور الاساسية لاعتبارات عديدة وذلك لعلاقتها المباشرة بانتاج المحاصيل الزراعية وتحسين استثمار الموارد المائية بالشكل الامثل مـن خـلال ايجاد عنصر التكامل بين مواسم الفائض المـائي والعجز المائي. الطـرق الرئيسية لحساب التبخر-نـتح المرجعي هي:

- الطـرق الحـراريـة وأهمـها (Thornthwaite–1948, Kharrufa –1985, Blaney – Criddle modified by Jensen eted. 1990)
- الطـريقة الاشعاعية واهمـها (FAO 24–Radiation–1977, Turc–1962, Priestty and Taylor–1972, Hargreaves and Samani–1985)
- الطـريقة المختـلطة (FAO–56–Penman Monteith–1998)

دراسات التبخر – نتح اخذت مداها الواسع في التطبيق في معظم بقاع العالم. الباحث Jeanifer عام 2001 قـام باختبار 14 نموذج رياضي لتخمين التبخر– نتح المرجعي فـي ولاية فلوريـدا وذلـك مـن أجل تحديد أفضل تمثيل فيزياوي لفقد المياه من الاراضي المزروعـة، وايجـاد افضـل اسـتخدام للعناصر المناخية المطلوبة وكذلك لتحديد أعلى دقة لحسابات التبخر– نتح المرجعي. افتخار عبد الجـواد 2006 قامـت ببناء نموذج شبكة عصبية لتقدير التبخر – نتح المرجعي لمنطقة الموصـل فـي حـين استخدم الجبوري وشفيقة 2002 طريقة الفاو Penman– Monteith فـي مناطق محدودة مـن شـمال ووسط وجنوب العـراق وبمجموعة بيانات مناخية كـاملة واستنتجا صلاحية هـذه المعادلـة لجميـع مناطـق العراق فـي حساب التبخر – نتح المرجعي. العديد من الباحثيـن (XU and Singh–2002, Royce–2004) أوصيا باعتماد طريقـة Panman–Monteith كطريقـة قياسية تعمل تحت مختلف الظروف القياسية لحساب التبخر–نتح المرجعي. Crismer وآخـرون 2002

أوضحا بأنه يمكن الاعتماد على قيم التبخر المقاسة من أحواض التبخر على انها قيم تمثل التبخـر–نـتح المرجعي بعد ضربها بقيمة معامل الاناء. دراسة التبخر – نتح المرجعي في عموم محافظـة نينـوى ذو أهمية كبيرة في حسابات الاستهلاك المائي للمحاصيل المزروعة وفي حسابات الموازنة المائيـة وتحديـد فترات الفائض المائي والعجز المائي حيث تم استخدام خمسة نماذج رياضية في هذا البحث فـي أربعـة مناطق في عموم المحافظة.

تحليل البيانات

تـم اختيار اربع محطات رصد رئيسية في عموم محافظة نينوى وهي محطات (الموصل، ربيعة، تلعفر، البعاج) لغرض ايجاد التبخر – نتح المرجعي (ET_o). الشـكل رقـم (1) توضـح مواقـع هـذه المحطات، الجدول رقم (1) يوضح خصائص هذه المحطات.

- تـم ايجاد المعدلات الشهرية للعناصر المناخية التالية (درجات الحرارة العظمى، درجات الحـرارة الصغرى، معدلات درجـات الحرارة، السطوع الشمسي، الرطوبة النسبية، سرعة الرياح، التبخر) وذلك للمحطات كافة. الملحق رقم (1) يوضح قيم هذه المعدلات للمحطات كافة.
- بالاعتماد على المعادلات الرياضية الموضحة في كراس الفـاو (FAO –56 –1998) تـم ايجـاد المعدلات الشهريـة للعناصـر التالية (ساعات السطوع النظرية (N)، الاشعاع الشمسـي خـارج الغلاف الجوي (Ra)، الاشعاع القصير الموجة الوارد (Rs)، الاشعاع قصير المـوجة الوارد فـي حالة كـون السماء صافية (Rso)، صافي الاشعاع (Rn)). الملحق رقم (2) يوضـح قـيم هـذه المتغيرات للمحطات كـافة.
- النماذج الرياضية الخمسة المستخدمة لحساب ET_o هي:

1- penman – Monteith Moded – 1998:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma[\frac{900}{T+273}]U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)} \quad ....(1)$$

حيث أن:

ET_o = التبخر – نتح المرجعي (ملم / يوم).

Δ = ميل منحني ضغط بخار المشبع (كيلو باسكال / درجة مئوية).

R_n = صافي الاشعاع الشمسي (ميكاجول / م^2. يوم).

G = كثافة تدفق حرارة التربة (ميكاجول / م^2. يوم).

γ = ثابت القياس الرطوبي (كيلو باسكال).

T = معدل درجة الحرارة (درجة مئوية).

U_2 = سرعة الرياح على ارتفاع 2 متر بوحدات (م/ثا).

e_s = ضغط بخار الماء المشبع (كيلو باسكال).

e_a = ضغط بخار الماء الفعلي (كيلو باسكال).
تفاصيل هذا النموذج موضحة في كراس الفاو (FAO – 56 - 1998).

2- Kharrufa Model – 1985 (Kh):

$$ET_o = 0.34\ P\ T_a^{1.34} \qquad \text{.........(2)}$$

حيث أن:

P = النسبة المئوية لعدد الساعات المضيئة خلال شهر الى عدد الساعات المضيئة خلال عام.

Ta = معدل درجة حرارة الهخواء (°C).

3- **Hargreaves and Samani Model – 1985 (Hand s):**

$$ET_o = 0.0023\ (T_a+178)(T_{max} - T_{min})^{0.5}\ R_a \qquad \text{.........(3)}$$

حيث أن:

T_{max} = درجة الحرارة العظمى اليومية (°C).

T_{min} = درجة الحرارة الصغرى اليومية (°C).

T_a = المعدل اليومي لدرجة حرارة الهواء (°C).

R_a = الاشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي بوحدات (ميكاجول / م^2. يوم).

4- FAO–56 Pan Evaporation Model (FAO 56 Pan):

$$ET_o = K_p\ E_{\mathbf{pan}} \qquad \text{.........(4)}$$

حيث أن:

K_p = معامل الاناء.

$E_{\mathbf{pan}}$ = التبخر الحاصل من حوض التبخر (ملم).

5- Blaney – Criddle Modified by Jensen et.al. 1990 (MBC):

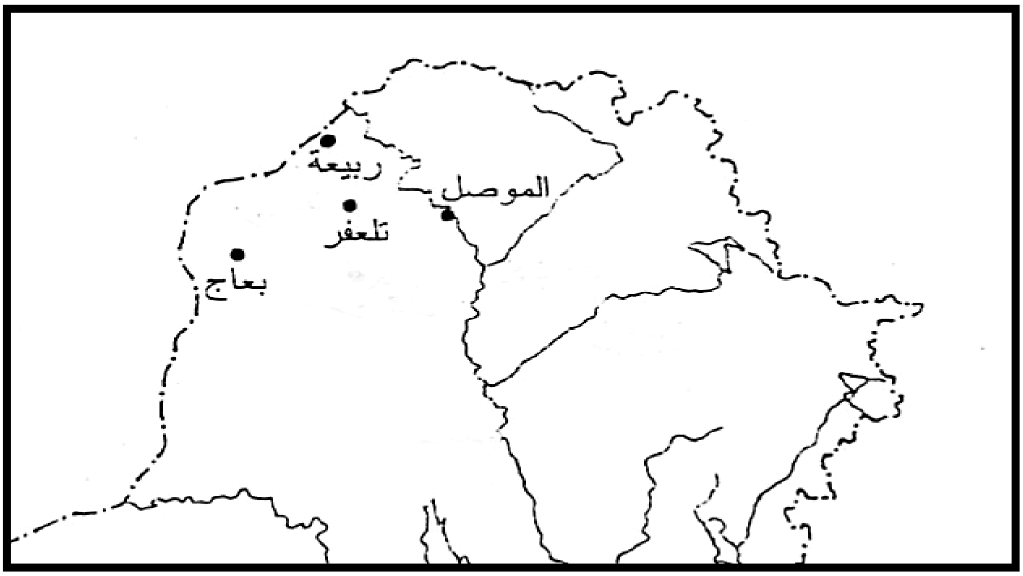
$$ET_o = a + bf \qquad \text{.........(5)}$$

$$f = p\ (0.46T + 8.13) \qquad \text{......... (6)}$$

a and b ثوابت مشتقة من معادلات خاصة (Royce 2004, Jensen *et.al.*1990). نتائج قيم ET_o للنماذج الخمسة وللمحطات كافة موضحة في الملحق رقم (3). تم دراسة علاقات الارتبـاط والخطـأ المطلق لمعدل الانحراف Mean Absolute Error (MAE) المقترح من قبل (Willmott 1982) بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مع نموذج (PM - 1998) ولكافة المحطات.

الجدول 1: مواقع المحطات بالنسبة لدوائر العرض وخطوط الطول والارتفاع وفترة التسجيل.

المحطة	فترة التسجيل	ارتفاع المحطة (م)	دائرة العرض	خط الطول
الموصل	2002-1980	232	36^{o} 19	43^{o} 09
ربيعة	2002-1980	382	36^{o} 48	42^{o} 06
تلعفر	2002-1980	273	36^{o} 22	42^{o} 06
البعاج	2002-1992	321	36^{o} 02	41^{o} 48



الشكل 1: يوضح مواقع المحطات المختارة للدراسة

النتائج والمناقشة

1- **دراسة الفروقات للمعدلات اليومية لقيم ET_0 بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مـع نمـوذج PM وخلال أشهر السنة** .

الجـدول رقـم (2) يوضح الفروقات بـ (ملم،%) بين كـل مـن النماذج الرياضية المختلفة مـع نموذج PM.

يلاحظ بالنسبة لمحطة الموصل:

ان نموذج PAN أظهر اقل نسبة للفروقات مقارنة بالنماذج الاخرى اذ تراوحت نسبة الفروقات لهذا النموذج بين (17–) الـى (12.4) خلال اشهر السنة، يليه نموذج H and S الـذي اظهر نسبة فروقـات عالية نوعاً ما خلال اشهر الشتاء اذ تراوحت بين (20–33.7)، امـا في باقي اشهر السنة فكانـت نسـبة الفروقات اقـل تراوحت بين (2.9–17.7). نموذج KH أعطى نسبة فروقات واطئة نوعاً مـــا خـلال أشهر (كانون الثاني، شباط، آذار) اذ تراوحت بين (6.8-13.9)، هـذه النسبة ازدادت بشكل كبير خـلال

أشهر الصيف والخريف اذ تراوحت بين (32-58.5). نموذج MBC اظهر نسبة فروقـات عاليـة فـي معظم اشهر السنة وبالأخص خلال اشهر الصيف والخريف.

بالنسبة لمحطة ربيعة:

اظهر نموذج H and S اقـل نسبة للفروقات مقارنة بالنماذج الاخرى اذ تراوحت نسبة الفروقـات فيه خـلال اشـهر الشتاء بين (13.2–22.9)، أمـا باقي اشـهر السنة فكانت نسبة الفروقات فيها بيـن (14.2–) و(12.8). يليه نموذج PAN الذي اظهر غالباً قيم أقل مـن PM (under estimate) حيـث تراوحت نسبة الفروقات فيه خـلال اشهر السنة بين (29.8–) و(6.4). نمـوذج KH اظهـر نسـبة فروقـات متباينة تراوحت بين (14.9–) و(30.4). نموذج MBC مثل اكثر النماذج فـي نسبة الفروقات التي تراوحت بين (4.5 –36.2).

بالنسبة لمحطة تلعفر:

اظهر نموذج KH اقـل نسبة للفروقات مقارنة بالنماذج الأخرى اذ تراوحت نسبة الفروقات لـهذا النموذج بين (13.6–) و(7.5) خـلال اشهر السنة، يليه نموذج MBC الـذي أظهر نسبة فروقات واطئة أيضاً تراوحت بين (3.9–) و(15.4). نموذج PAN أظهر فـي الغالب قيماً لـ ET_o أقل من قيم PM إذ تراوحت نسبة الفروقات السالبة خلال اشهر السنة بين (1.1–) و(32.8–). نسبة الفروقات كانت أكبر في نموذج H and S من بقية النمـاذج إذ تراوحت نـسبة الفروقات السـالبة لهذا النـموذج بين (3.11–) و (55.5–).

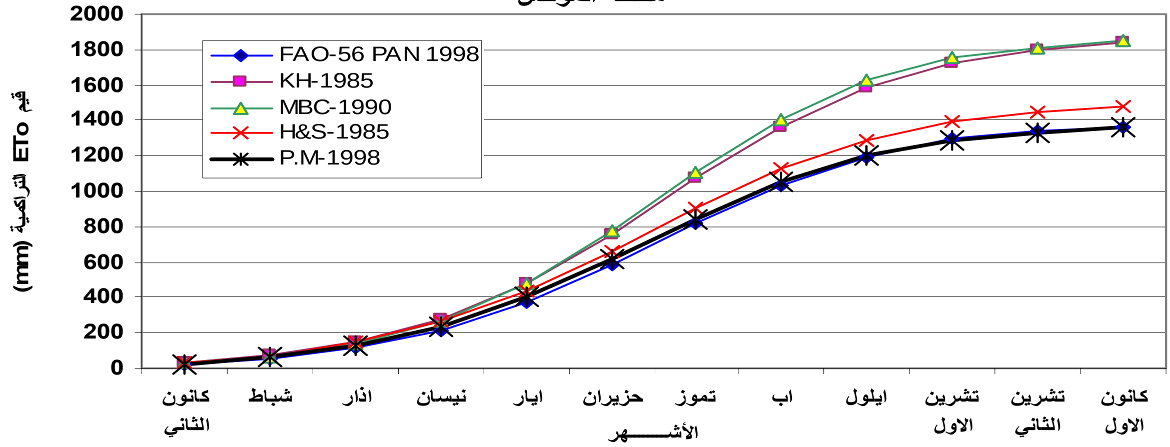
بالنسبة لمحطة البعاج:

أظهر كل من نموذجي H and S وPAN أوطأ النسب للفروقـات عـن PM. حيـث أن هـذين النموذجين أعطيا قيماً لـ ET_o في الغالب أقـل من تلك لنموذج PM اذ تراوحت نسبة الفروقات السالبة خلال اشهر السنة بالنسبة لنموذج H and S بين (3–) و(15–). أمـا بالنسبة لنموذج PAN فكانت نسـبة الفروقات السالبة بين (2–) و(19.8–). نموذجي KH وMBC اظهر نسبة فروقات موجبة عالية نوعاً مـا اذ تراوحت بالنسبة لنموذج KH بين (4.5 – 38.8) ولنموذج MBC بين (5.7 – 48.6).

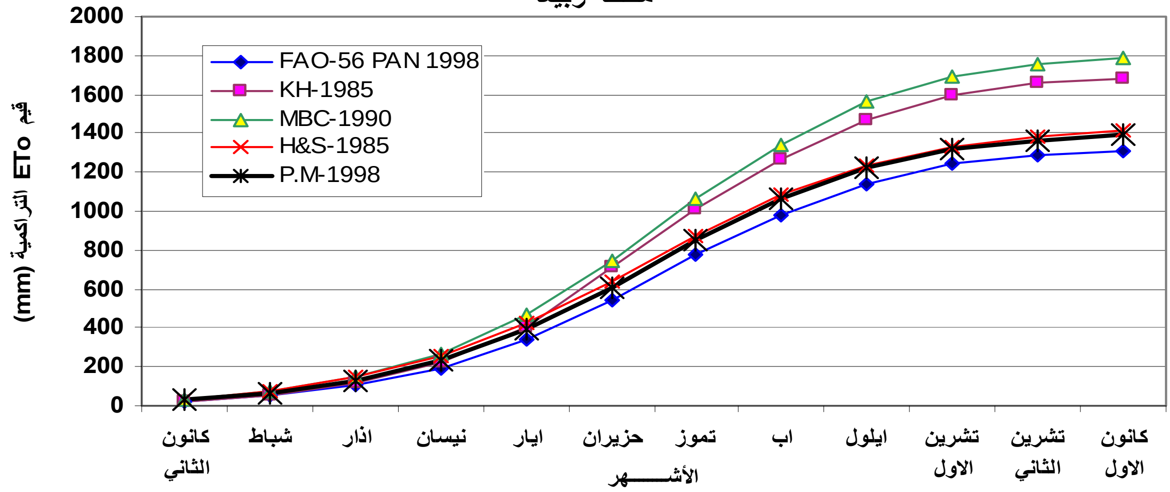
الجدول رقم (3) يوضح فروقات القيم السنوية (ملم،%) بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مـع نموذج PM ولكافة المحطات .

يلاحظ من الجدول: بالنسبة لمحطة الموصل ان نموذج PAN هو أقرب النماذج الى نموذج PM اذ أعطى نسبة فروقات سنوية قدرها (0.1)%، بالنسبة لمحطة ربيعة كان نموذج H and S هـو أقـرب النماذج الى PM إذ أعطى نسبة فروقات سنوية قدرها (1.2)%، وفـي محطة تلعفر كـان نمـوذج KH هـو أقرب النماذج الـى نموذج PM حيث أعطى نسبة فـروقـات سنوية قـدرها (2.8)%، وبالنسـبة لمحطة البعاج كان نموذج H and S وPAN أقـرب النماذج الـى نمـوذج PM حيـث أعطيـا نسـبة فـروقات سنوية قـدرها (9.3 - ,9.5-) % على التوالي.

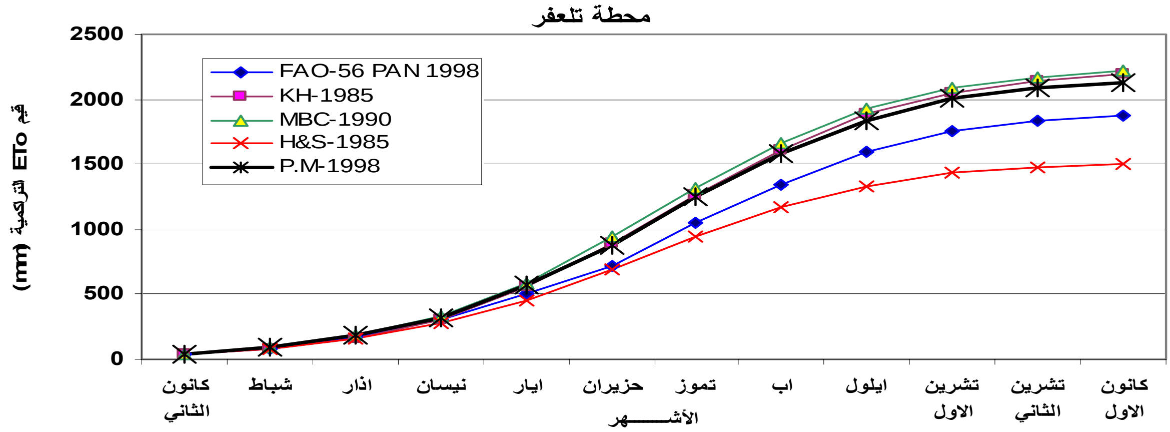
محطة الموصل



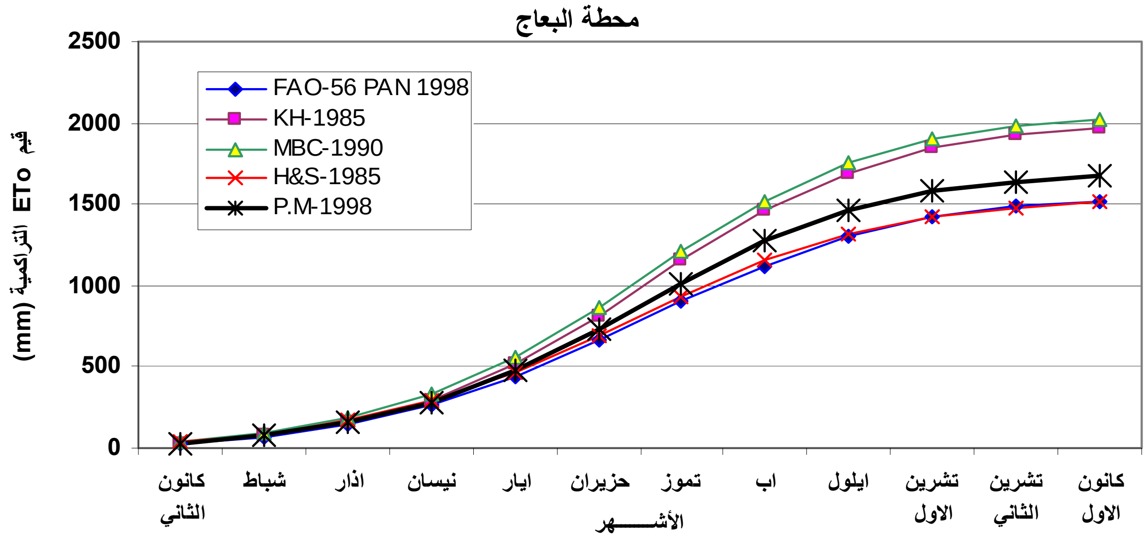
محطة ربيعة



محطة تلعفر



محطة البعاج



شكل 2 : يوضح قيم التبخر نتح المرجعي (ET_0) التراكمية بوحدات (mm) لكافة المحطات

الجدول 2: فروقات المعدلات اليومية للقيم الشهرية بـ (ملم ، %) بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مع نموذج PM-1998 لكافة المحطات وخلال أشهر السنة.

محطة الموصل

الأشهر

النموذج	كانون الثاني		شباط		اذار		نيسان		ايار		حزيران	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	0.12	13.9	0.17	13	0.15	6.8	0.79	22.8	1.06	19.4	2.25	32
MBC	0.14	16.2	0.47	36	0.33	15	0.84	24.4	1.35	24.7	2.96	42.1
H and S	0.29	33.7	0.26	20	0.39	17.7	0.44	12.7	0.16	2.9	0.36	5.1
PAN	-0.15	-17	-0.04	-3	-0.13	-5.9	-0.27	-7.8	-0.36	-6.6	-0.2	-2.8

الأشهر

النموذج	تموز		اب		ايلول		تشرين الاول		تشرين الثاني		كانون الاول	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	2.95	40	2.68	40.1	2.4	49.3	1.57	54.1	0.89	58.5	0.33	36.6
MBC	3.15	42.6	2.86	42.8	2.68	55	1.41	48.6	0.73	48	0.19	21
H and S	0.55	7.4	0.48	7.1	0.52	10.6	0.34	11.7	0.24	15.7	0.23	25.5
PAN	0	0	0.19	2.8	0.55	11.3	0.36	12.4	0.02	1.3	-0.14	-15.5

محطة ربيعة

الأشهر

النموذج	كانون الثاني		شباط		اذار		نيسان		ايار		حزيران	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	-0.13	-14.9	-0.15	-11.7	-0.2	-9.5	0.3	8.8	0.5	9.4	1.31	18.5
MBC	0.04	4.5	0.36	28.1	0.2	9.5	0.7	20.5	1.1	20.7	2.38	33.7
H and S	0.2	22.9	0.17	13.2	0.27	12.8	0.29	8.5	-0.01	-0.1	0.05	0.7
PA`N	-0.26	-29.8	-0.18	-14	-0.3	-14.2	-0.4	-11.7	-0.56	-10.5	- 0.25	-3.5

الأشهر

النموذج	تموز		اب		ايلول		تشرين الاول		تشرين الثاني		كانون الاول	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	1.55	19.8	1.54	22.3	1.32	25.2	0.94	30	0.49	30.4	0.1	11.2
MBC	2.3	29.4	2.1	30.4	1.89	36.2	1.01	32.1	0.53	33	0.12	13.4
H and S	-0.16	-2.1	-0.1	-1.4	-0.22	-4.2	-0.04	-1.2	0.06	3.7	0.17	19.1
PAN	0.5	6.4	-0.1	-1.4	0.08	1.5	0.06	1.9	-0.21	-13	-0.17	-19.1

النموذج	محطة تلعفر الأشهر											
	كانون الثاني		شباط		اذار		نيسان		ايار		حزيران	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	-0.12	-9.3	-0.18	-10.2	-0.4	-13.6	0.1	+2.7	-0.07	-0.8	0.54	5.1
MBC	-0.05	-3.9	0.27	15.4	-0.02	-0.6	0.23	4.7	0.06	0.7	1.3	12.3
Hand S	-0.08	-6.2	-0.14	-8	-0.35	-11.9	-0.94	-19.3	-2.24	-28	-2.96	-28.1
PAN	-0.15	-11.7	0.07	4	-0.14	-4.7	-0.6	-12.3	-1.2	-15	-3.46	-32.8
النموذج	لأشهر											
	تموز		اب		ايلول		تشرين الاول		تشرين الثاني		كانون الاول	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	0.59	5	0.38	3.5	0.34	3.9	0.19	3.5	0.21	7.5	0.09	6.5
MBC	0.47	4	0.14	1.2	0.19	2.2	0.07	1.3	0.05	1.7	-0.04	-2.8
Hand S	-3.45	-30	-3.53	-32.5	-3.11	-36.2	-1.95	-36.7	-1.55	-55.5	-0.18	-13
PAN	-1.73	-14.7	-1.25	11.5	-0.36	-4.1	-0.06	-1.1	-0.07	-2.5	-0.2	-14.5

النموذج	محطة البعاج الأشهر											
	كانون الثاني		شباط		اذار		نيسان		ايار		حزيران	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	0.06	5.8	0.16	10.6	-0.17	-6.4	0.56	13.6	0.92	14.5	0.38	4.5
MBC	0.08	7.8	0.73	48.6	0.26	9.8	0.77	18.7	1.06	16.8	1.92	22.8
Hand S	0.17	16.6	0.13	8.6	0.09	3.4	0	0	-0.58	-9.1	1.09	-12.9
PA`N	0.22	21.5	0.07	4.6	-0.33	-12.5	-0.1	-2.4	-0.43	-6.8	1.18	-14
النموذج	الأشهر											
	تموز		اب		ايلول		تشرين الاول		تشرين الثاني		كانون الاول	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	1.64	17.7	1.4	16.6	1.52	24.4	1.31	34.6	0.77	38.8	0.3	28.3
MBC	1.7	18.4	0.48	5.7	1.52	24.4	1.11	29.3	0.71	35.8	0.11	10.3
Hand S	-1.35	-14.6	-1.26	-15	0.88	-14.1	-0.37	-9.7	-0.06	-3	-0.07	-6.6
PAN	-1.53	-16.5	-1.16	-13.8	-0.24	-3.8	0.1	2.6	-0.04	2	-0.21	-19.8

الجدول رقم 3: فروقات القيم السنوية (ملم، %) بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مع نموذج PM-1998 ولكافة المحطات.

النموذج	محطة الموصل		محطة ربيعة		محطة تلعفر		محطة البعاج	
	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%	الفرق (mm)	%
KH.	475	34.9	293	21	60	2.8	305	18.2
MBC	486	35.7	394	28.2	88	4.1	347	20.7
H and S	117	8.5	18	1.2	-620	-29.1	-156	-9.3
PAN	2	0.1	-87	-6.2	-251	-11.7	-159	-9.5

2 . دراسة عـلاقات الارتباط ونسبة الخطأ المطلق لمعدلات الانحراف (MAE)% بين كـل مـن النمـاذج الرياضية المختلفة مـع نموذج PM:

الجدول رقم (4) يوضح معادلات الانحدار، R^2 وMAE% بين كل من النماذج المختلفة مع نموذج PM ولكافة المحطات.

بالنسبة لمحطة الموصل أفضل وأدق النماذج كان نموذج PAN حيث أظهر أقل القيم للـ ـ MAE إذ بلغت نسبته 7.2% يليه نموذج H and S بواقع 14.1% اما نماذج MBC وKH فتجاوزت نسـبهم 30%.

فـي محطة ربيعة أظهر نموذج H and S أقـل القيم للـ MAE بواقع 7.5% لذا يمكن اعتبـاره أفضل النماذج يليه نموذج PAN، KH وMBC أظهر النسب 10.5، 17.6 و24.3 على التوالي.

في محطة تلعفر كانت نسـب MAE (25.4, 10.7, 5.9, 4.2) للنمـاذج (MBC, PAN, KH, H and S) على التوالي، وهذا يوضح بأن نموذجي (KH, MBC) أظهرا نسب انحراف واطئـة فـي حين أعلى نسبة انحراف كانت لنموذج (H and S).

في محطة البعاج كانت نسب MAE (20.7, 18., 10, 9.4) للنمـاذج (MBC, KH, H and S, PAN) على التوالي، وهذا يوضح بان اول نموذجين أعطيا انحراف مقبول عـن نمـوذج PM، امـا النموذجين (MBC, KH) فأعطيا نسب انحراف عالية.

جميع النماذج في كل المحطات أعطيا ارتباط عالي (R^2) بين هذه النماذج مـع نمـوذج PM اذ تراوحت قيم R^2 بين (0.957) و(0.998).

كما يوضح الجدول معادلات الانحدار التي تم ايجادها بين كل من هذه النماذج مـع نمـوذج PM ولكافة المحطات.

الجدول 4: يوضح نسبة الخطأ المطلق لمعدل الانحراف (MAE%) و(R^2) ومعادلة الانحدار بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مع نموذج PM-1998 ولكافة المحطات

الموصل			
معادلة الانحدار	R^2	%MAE	النموذج
Y = 0.9708X - 0.2364	0.998	32.2	KH
Y = 0.6837X + 0.1988	0.986	34.7	MBC
Y = 0.7106X +0.164	0.980	14.1	H and S
Y = 0.9769X +0.0971	0.989	7.2	PAN
ربيعة			
معادلة الانحدار	R^2	%MAE	النموذج
Y = 1.0455 X – 0.2319	0.997	17.6	KH
Y = 0.7466 X + 1699	0.995	24.3	MBC
Y = 0.8024 X +0.2448	0.990	7.5	H and S
Y = 1.009 X +0.2002	0.994	10.5	PAN
تلعفر			
معادلة الانحدار	R^2	%MAE	النموذج
Y = 1.4637 X – 0.1936	0.997	5.9	KH
Y = 0.943 X + 0.1332	0.994	4.2	MBC
Y = 0.943 X +0.2013	0.997	25.4	H and S
Y = 1.944 X –0.2221	0.957	10.7	PAN
البعاج			
معادلة الانحدار	R^2	%MAE	النموذج
Y = 1.2227 X – 0.4951	0.996	18	KH
Y = 0.8382 X – 0.0688	0.994	20.7	MBC
Y = 0.8439 X +0.017	0.991	9.4	H and S
Y = 1.1636 X –0.2404	0.987	10	PAN

3 – دراسة علاقات الارتباط بين قيم ET_o لنموذج PM مع المتغيرات المناخية المختلفة :

الأشكال (3-a,b,c,d,e,f) توضح علاقات الارتباط بين قيم ET_o لنمـوذج PM مـع المتغيـرات المناخية المختلفة وهذه العلاقات هي :

الشكل 3a: يبين علاقة الارتباط التي تم الحصول عليها بين قيم ET_o لنموذج PM والتبخـر (E) حيـث يلاحظ العلاقة الخطية الطردية بينهما ومعادلة الارتباط التي تم الحصول عليها هي:

$$Y = 0.5981\ X + 0.5229$$

وكانت قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.984).

الشكل 3b: يوضح علاقة الارتباط التي تم الحصول عليها بين قيم PM وسرعة الرياح (W.S) وهي:

$$Y = 0.4555X^4 – 5.035X^3 + 18.197X^2 – 23.007X + 10.94$$

وكانت قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.575).

الشكل 3c: يوضح علاقة الارتباط الخطية الطردية بين قيم PM ومعدل درجة حرارة الهواء (T_a) وهي:

$$Y = 0.2959X – 1.4588$$

قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.887).

الشكل 3d: يوضح علاقة الارتباط العكسية التي تم الحصول عليها بين قيم PM والرطوبة النسبية (RH) وهي :

$$Y = 0.1368X + 11.356$$

قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.822).

الشكل 3e: يوضح علاقة الارتباط بين قيم PM ومحصلة الاشعاع (Rn) وهي:

$$Y = 0.303X^{1.1953}$$

قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.839).

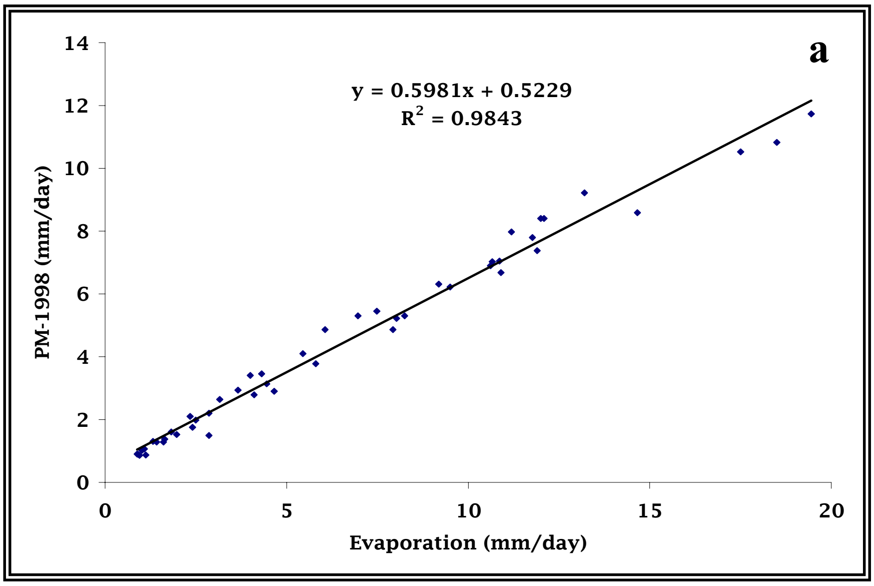
الشكل 3f: يوضح علاقة الارتباط بين قيم PM والاشعاع النسبي (Rs/Rso) وهي:

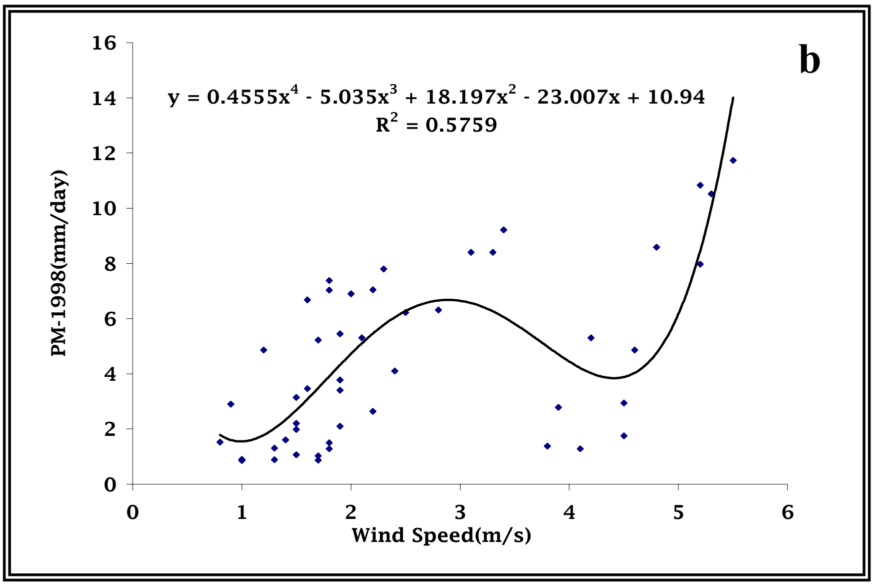
$$Y = – 498.83X^3 + 1185X^2 – 902.49X + 224.14$$

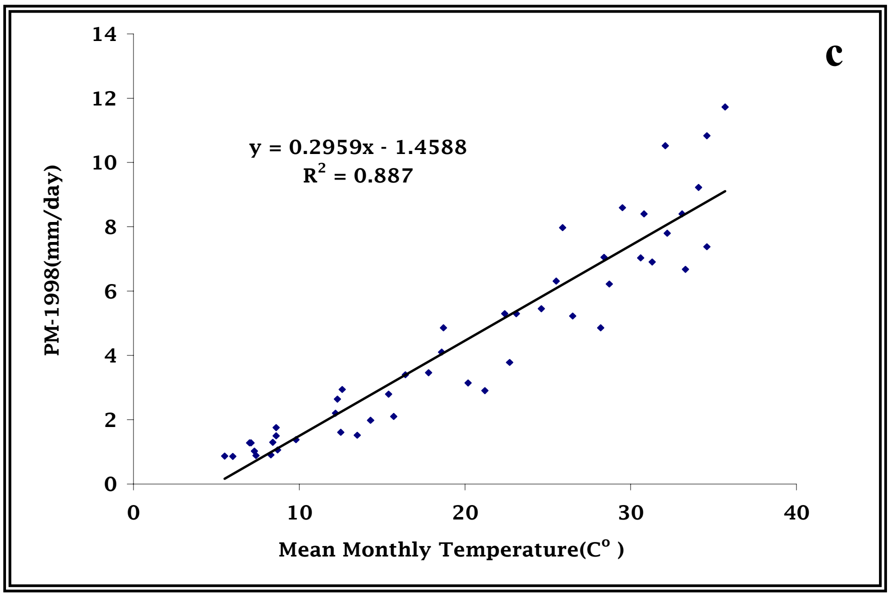
قيمة R^2 بين المتغيرين هي (0.792).

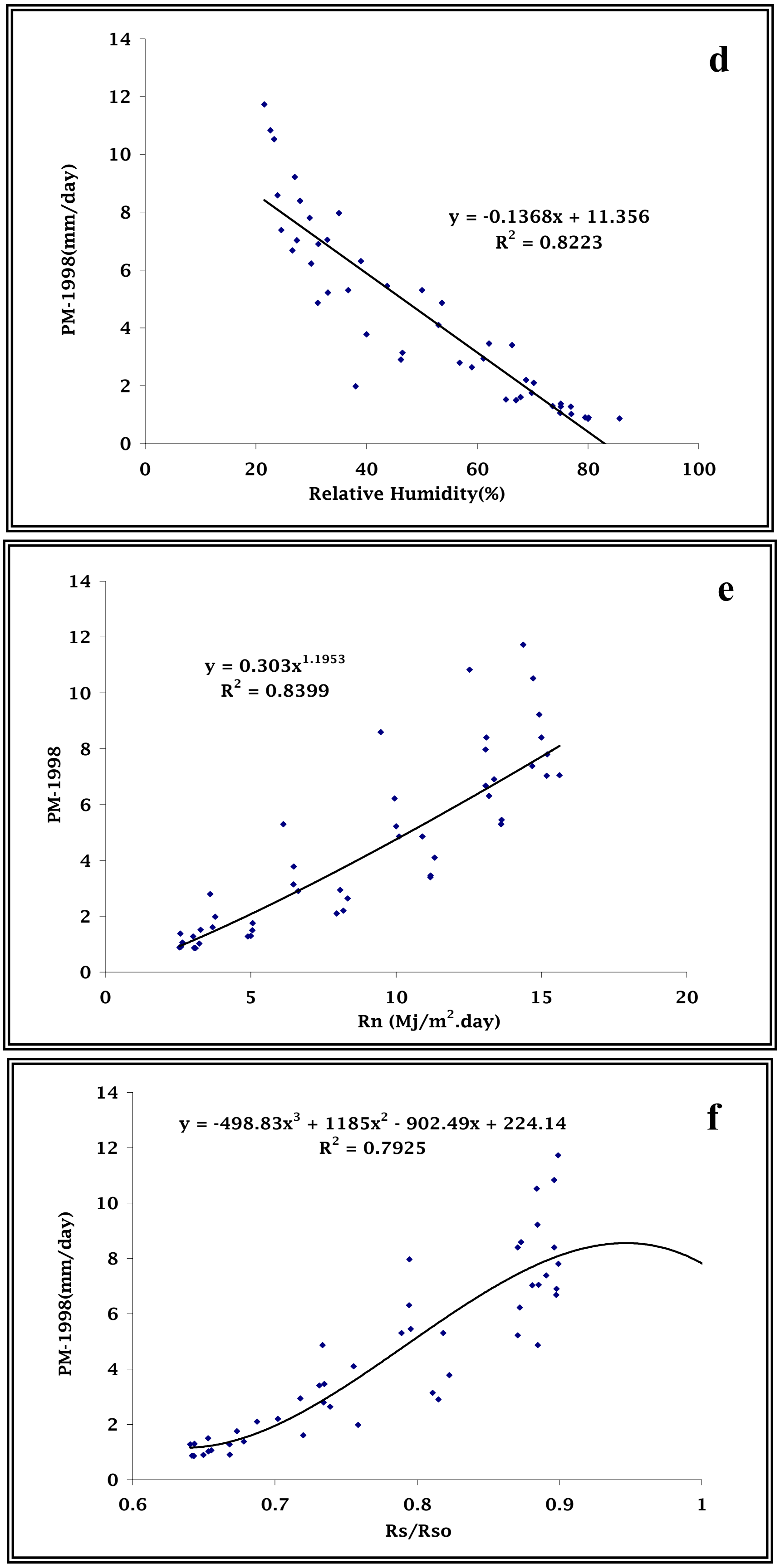
تم إيجاد علاقات الارتباط المتعـدد بـين قـيم PM وجميـع المتغيـرات المناخيـة للمحطـات كافـة وهي كما يلي :

محطة الموصل
$PM = -0.907 + 0.471(E) + 0.09(Rn) - 0.002(Ta) + 0.696(Rs/Rso) + 0.0479\ (WS) + 0.001(R.H).$ $R^2 = 0.998$
محطة ربيعة
$PM = 830 + 0.473(E) + 0.129(Rn) + 0.02(Ta) - 0.952(Rs/Rso) - 0.335(WS) + 0.002(RH).$ $R^2 = 0.998$
محطة تلعفر
$PM = 1.443 + 0.317(E) + 0.08(Rn) + 0.172(Ta) - 6.253(Rs/Rso) - 0.424(WS) + 0.001(R.H).$ $R^2 = 0.999$
محطة البعاج
$PM = 1.676 - 0.105(E) - 0.174(Rn) + 0.237(Ta) - 8.403(Rs/Rso) + 3.419(Ws) - 0.02(R.H).$ $R^2 = 0.999$


a
y = 0.5981x + 0.5229
R2 = 0.9843
PM-1998 (mm/day)
Evaporation (mm/day)


b
y = 0.4555x4 - 5.035x3 + 18.197x2 - 23.007x + 10.94
R2 = 0.5759
PM-1998(mm/day)
Wind Speed(m/s)


c
y = 0.2959x - 1.4588
R2 = 0.887
PM-1998(mm/day)
Mean Monthly Temperature(Co)



الاشكال (3-a, b, c, d, e, f): علاقـات الارتباط بين (ET_0) وكل من المتغيـرات المناخيـة (التبخر، سرعة الرياح، درجات الحرارة، الرطوبة النسبية، صافي الاشعاع، الاشعاع النسبي)

الاستنتاجات

1. الفروقات للمعدلات اليومية لقيم ET_o بين كل من النماذج الرياضية المختلفة مع نموذج PM وخـلال أشهر السنة أظهرت أن نموذج PAN في الموصل أظهرا أقل الفروقات، في ربيعة أظهر نموذج H and S أقل الفروقات، وفي تلعفر أقل الفروقات كانت لنموذج MBC، أما في البعاج فأظهر نمـوذج H and S أقل الفروقات.
2. الفروقات للقيم السنوية كانت متناغمة مع الفروقات للمعدلات اليومية.
3. الجدول رقم (5) يوضح علاقات الارتباط التي تم ايجادها بين كل من النماذج الرياضية الأربعة مـع نموذج PM.
4. من خلال قيم MAE التي تم الحصول عليها للنماذج المختلفة كان نموذج PAN أكثـر دقـة مـن النماذج الأخرى في الموصل ونموذج H and S في ربيعة ونموذج MBC في تلعفر، أما في البعاج فكان أفضل النماذج هو H and S.
5. الأشكال (3-a, b, c, d, e, f) توضح علاقات الارتباط التي تم الحصول عليها بين قـيم ET_o لنمـوذج PM مع كل من المتغيرات المناخية (التبخر، سرع الرياح، معدل درجة حـرارة الهـواء، الرطوبـة النسبية، محصلة الاشعاع، الاشعاع النسبي).
6. علاقات الارتباط المتعدد التي تم الحصول عليها بين كل من PM وجميع المتغيرات المناخية للمحطات كافة أعطت قيماً عالية لـ (R^2) .

المصادر العربية

افتخار عبد الجواد، 2004. بناء نموذج شبكة عصبية اصطناعية لتقدير التبخر نـتح المرجعـي اليـومي لمنطقة الموصل. اطروحة دكتوراه فلسفة. كلية الهندسة – جامعة الموصل.

الجبوري وشقيقه سلطان، 2002. تقييم معادلة الفاو بنمان – مونتيث لحساب الاستهلاك المـائي. بيانـات مناخية كاملة وناقصة في العراق. رسالة ماجستير. كلية الهندسة – جامعة الموصل.

المصادر الأجنبية

FAO, 1977. Crop water requirement. Irrigation and Drainage paper No.24, Rome United Nation pp 156.

FAO, 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirement. Irrigation and Drainage paper No. 56, Rome United Nation pp298.

Grismer, M.E.; Orange, M.; Snyder, R., and Matyac, R., 2002. Pan evaporation to refernce evapotranspiration conversion methods. Journal of irrigation and drainage engineering, 128(3): pp.180-183.

Hargreaves, G.H., and Samani, Z.A., 1985. Reference crop evapotrans- piration from temperature. Applied Energy. In Agric., 1(2): pp.96-99.

Jennifer, M.J., 2001. Evaluation of reference Evapotranspiration Methodologies and AFSIRE water use simulation Model. Final Report, University of Florida pp104.

Jensen, M.E.; Burman, R.D., and Allen, R.G., 1990. Evapotrans- piration and water Requirements. ASCE, Manual and Report of Engineering practice No. 70. pp360.

Priestly, C.H.B., and Taylor, R.J., 1972. On the assessment of Surface heat flux and evaporation using Lange-Scale parameters. Monthly weather Review 100(2): pp.81-92.

Royce, L.F., 2004. An evaluation of reference Evapotranspiration Models in Louisiana. MSc. Thesis. Agricultural and Mechanical College, University of Louisana pp83.

Thornthwaite, C.W., 1948. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review 38: pp.55-94.

Ture, L., 1961. Estimation of irrigation water requirement. Potential Evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up date. Annal of Agronomy, 12: pp.13-49.

Wayne, S.M.; David, J.S., and Graeme, S., 1999. Estimating reference Evapotranspiration and crop Evapotranspiration form weather data and crop coefficients. CSIRO, Land and water Tech. Land and water Tech. Report 34/98 pp 99.

Willmott, C.J., 1982. Some comment on the evaluation of model performance. Bull tin of American Meteorological Society 63(11): pp.1309-1313.

XU, C.Y., and Singh, V.P., 2002. Crop comparison of empirical equations for calculating potential Evapotranspiration with data from Switzerland, water Resource pp 197-219.

ملحق رقم (1) المعدلات الشهرية للعناصر المناخية المختلفة وللمحطات كافة

محطة الموصل

الأشهر / العناصر المناخية	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	آب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
درجات الحرارة الصغرى(م°)	2.4	3.0	6.3	10.8	15.7	21.2	25	23.8	18.8	13.3	7.4	4
درجات الحرارة العظمى(م°)	12.1	14.6	18.8	25.1	32.7	39.3	43.2	42.5	38.1	30.2	20.9	14
معدل حرارة الهواء (م°)	6	8.4	12.2	17.8	24.6	30.6	34.6	33.3	28.2	21.2	13.5	8.3
الرطوبة النسبية %	80	73.6	68.8	62.1	43.7	27.4	24.6	26.6	31.2	46.2	65.2	79.5
السطوع الشمسي (ساعة)	4.6	5	6.6	7.9	9.8	12	12	11.4	10.2	8	5.9	4.5
سرعة الرياح (م/ ثا)	1.0	1.3	1.5	1.6	1.9	1.8	1.8	1.6	1.2	0.9	0.8	1.0
التبخر (ملم)	29.6	37	83.2	129.5	232	326	369	338	238	140	59.2	27.5

محطة ربيعة

الأشهر / لعناصر المناخية	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	آب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
درجاتالحرارةالصغرى(م°)	0.6	1.2	4.1	8.6	13.2	17.9	21.3	20.3	15.7	11.2	5.8	1.9
درجاتالحرارةالعظمى(م°)	11.6	13.2	17.3	23.8	31	37.6	41.7	40.8	36.9	29.1	19.9	13.3
معدل حرارة الهواء (م°)	5.5	7.0	15.7	16.4	22.4	28.4	32.2	31.3	26.5	20.2	12.5	7.4
الرطوبة النسبية %	85.7	75.1	70.2	66.3	50	32.9	29.7	31.3	33	46.5	67.8	80.1
السطوع الشمسي(ساعة)	4.6	5.0	6.4	7.9	9.8	12.2	12.3	11.5	15	8	5.9	4.6
سرعة الرياح (م/ ثا)	1.7	1.8	1.9	1.9	2.1	2.2	2.3	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3
التبخر (ملم)	35	40	72.7	120	216	326	365	329	241	138	54.6	28.3

محطة تلعفر

الأشهر / العناصر المناخية	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	آب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
درجات الحرارة الصغرى(م°)	3.9	3.8	6.7	12	18.3	23 .6	27.6	27	22.9	16.6	9.9	5.2
درجاتالحرارةالعظمى(م°)	11.3	12.8	17.3	24.3	32	38.3	42.3	41.4	37	29.2	20.3	13.3
معدل حرارة الهواء (م°)	7.1	8.6	12.6	18.7	25.9	32.1	35.7	34.6	29.5	23.1	15.4	9.8
الرطوبة النسبية %	76.9	69.8	61.1	53.6	35	23.3	21.5	22.6	23.9	36.7	56.8	75.1
السطوع الشمسي (ساعة)	5.1	5.5	6.9	7.9	9.8	12.1	12.2	11.4	10	8.1	6.1	5
سرعة الرياح (م/ ثا)	4.1	4.5	4.5	4.6	5.2	5.3	5.5	5.2	4.8	4.2	3.9	3.8
التبخر (ملم)	50	67.7	113.7	182	347	525	603	574	440	256	123	51.5

محطة البعاج

الأشهر / العناصر المناخية	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	آب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
درجاتالحرارةالصغرى(م°)	2.9	3.5	6.2	11.7	17.5	21.6	25.3	23.9	19.9	15.3	8.2	3.9
درجاتالحرارةالعظمى(م°)	12.3	14.8	18.8	25.3	32.7	38.6	42.5	41.8	37.2	30.7	21.7	13.9
معدل حرارة الهواء (م°)	7.3	8.6	12.3	18.6	25.5	30.8	34.1	33.1	28.7	22.7	14.3	8.7
الرطوبة النسبية %	77	67	59	53	39	28	27	28	30	40	38	75
السطوع الشمسي (ساعة)	4.8	5.2	7.3	8.3	9.8	11.8	11.9	11.4	10	8.2	6.5	4.7
سرعة الرياح (م/ ثا)	1.7	1.8	2.2	2.4	2.8	3.3	3.4	3.1	2.5	1.9	1.5	1.5
التبخر (ملم)	31.6	57.7	98.1	169	285	360	410	374	285	174	75	33.7

ملحق رقم (2) يوضح المعدلات الشهرية لعناصر الاشعاع للمحطات المختلفة

محطة الموصل

الاشهر / عناصر الاشعاع	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
Ra	17.27	22.25	29.40	35.77	40.19	41.71	40.76	37.18	31.30	24.21	18.46	15.87
Rs	8.38	10.79	15.57	19.83	24.12	27.72	27.39	25.18	20.90	14.89	15.27	8.00
Rso	13.03	16.77	22.18	26.99	30.32	31.47	30.75	28.05	23.62	18.27	13.93	11.97
Rn	3.1	5	8.19	11.19	13.63	15.18	14.69	13.08	10.11	6.64	3.28	2.60
نسبة السطوع (n/N)	0.47	0.47	0.56	0.61	0.70	0.83	0.84	0.86	0.84	0.75	0.59	0.47

محطة ربيعة

الاشهر / عناصر الاشعاع	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
Ra	17	21.66	29.18	35.66	40.15	41.75	40.76	37.1	31.11	23.94	18.19	15.56
Rs	8.26	10.67	15.2	19.76	24	28	27.77	25.24	20.52	14.71	9.92	7.66
Rso	12.87	16.66	22.11	27.02	30.42	31.63	30.88	28.11	23.57	18.14	13.78	11.79
Rn	3.06	4.9	7.96	11.18	13.61	15.62	15.2	13.37	10	6.47	3.69	2.55
نسبة السطوع (n/N)	0.47	0.47	0.54	0.61	0.70	0.84	0.86	0.86	0.82	0.73	0.59	0.48

محطة تلعفر

الاشهر / عناصر الاشعاع	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
Ra	17.23	22.22	29.36	35.77	40.15	41.75	40.76	37.14	31.26	24.17	18.43	15.83
Rs	8.7	11.3	15.92	19.83	24.1	27.88	27.68	25.15	20.62	14.94	10.22	8.11
Rso	13.02	16.78	22.18	27.04	30.33	31.54	30.79	28.06	23.62	18.26	13.92	11.96
Rn	3.02	5.07	8.08	10.9	13.08	14.71	14.37	12.53	9.47	6.12	3.61	2.58
نسبة السطوع (n/N)	0.52	0.52	0.58	0.61	0.70	0.84	0.86	0.86	0.82	0.74	0.61	0.53

محطة البعاج

الاشهر / عناصر الاشعاع	كانون 2	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين1	تشرين2	كانون1
Ra	17.46	22.41	29.52	35.88	40.19	41.71	40.76	37.21	31.41	24.36	18.66	16.03
Rs	8.63	11.07	16.5	20.5	24.15	27.47	27.27	25.23	20.72	15.16	10.71	7.95
Rso	13.21	16.95	22.33	27.14	30.40	31.55	30.83	28.15	23.76	18.43	14.12	12.13
Rn	3.23	5.06	8.33	11.33	13.2	15	14.92	13.11	9.95	6.48	3.78	2.65
نسبة السطوع (n/N)	0.49	0.49	0.62	0.65	0.70	0.82	0.84	0.86	0.82	0.75	0.65	0.49

Rn , Rso , Rs , Ra هي بوحدات (ميكا جول / م^2 . يوم)

ملحق رقم (3) نتائج النماذج الرياضية المختلفة للتبخر – نتح المرجعي (ET_o) بوحدات (ملم / يوم) للمحطات المختلفة

الأشهر	محطة الموصل					محطة ربيعة					محطة تلعفر					محطة البعاج				
	FAO-56 PAN 1998	Kh-1985	MBC-1996	H&S-1985	PM-1998	FAO-56 PAN 1998	Kh-1985	MBC-1990	H&S-1985	PM-1998	FAO-56 PAN 1998	Kh-1985	MBC-1990	H&S-1985	PM-1998	FAO-56 PAN 1998	Kh-1985	MBC-1990	H&S-1985	PM-1998
كانون الثاني	0.71	0.98	1.00	1.15	0.86	0.61	0.74	0.91	1.07	0.87	1.13	1.16	1.23	1.20	1.28	0.80	1.08	1.10	1.19	1.02
شباط	1.26	1.47	1.77	1.56	1.30	1.10	1.13	1.64	1.45	1.28	1.82	1.57	2.02	1.61	1.75	1.57	1.66	2.23	1.63	1.50
اذار	2.07	2.35	2.53	2.59	2.20	1.80	1.90	2.30	2.37	2.1	2.8	2.54	2.92	2.59	2.94	2.31	2.47	2.90	2.73	2.64
نيسان	3.19	4.25	4.30	3.90	3.46	3.00	3.70	4.10	3.69	3.4	4.26	4.96	5.09	3.92	4.86	4.00	4.67	4.87	4.10	4.10
ايار	5.09	6.51	6.80	5.61	5.45	4.74	5.80	6.40	5.29	5.3	6.77	7.90	8.03	5.73	7.97	5.88	7.23	7.37	5.73	6.31
حزيران	6.86	9.28	9.99	7.39	7.03	6.80	8.36	9.43	7.10	7.05	7.06	11.06	11.82	7.56	10.52	7.22	9.78	10.32	7.31	8.40
تموز	7.38	10.34	10.54	7.93	7.38	7.30	9.35	10.10	7.64	7.8	10.00	12.32	12.20	8.19	11.73	7.69	10.86	10.92	7.87	9.22
اب	6.87	9.36	9.54	7.16	6.68	6.80	8.44	9.00	6.80	6.9	9.58	11.21	10.97	7.30	10.83	7.24	9.80	9.88	7.14	8.40
ايلول	5.41	7.26	7.54	5.38	4.86	5.30	6.54	7.11	5.00	5.22	8.23	8.93	8.78	5.48	8.59	5.98	7.74	7.82	5.34	6.22
تشرين الاول	3.26	4.47	4.31	3.24	2.90	3.20	4.08	4.15	3.10	3.14	5.24	5.49	5.23	3.35	5.3	3.87	5.09	4.89	3.41	3.78
تشرين الثاني	1.54	2.41	2.25	1.76	1.52	1.40	2.10	2.14	1.67	1.61	2.72	3.00	2.84	1.24	2.79	2.02	2.75	2.69	1.92	1.98
كانون الاول	0.76	1.23	1.09	1.13	0.90	0.72	0.98	1.01	1.06	0.89	1.18	1.47	1.34	1.20	1.38	0.85	1.36	1.17	1.17	1.06