



ISSN: 1813-162X (Print) ; 2312-7589 (Online)

Tikrit Journal of Engineering Sciences

available online at: <http://www.tj-es.com>

TJES
Tikrit Journal of
Engineering Sciences

Haqqi Ismail Yasin, Luma Fuaad Abdullah. Empirical Equations to Estimate Evapotranspiration in Mosul City. *Tikrit Journal of Engineering Sciences* 2020; 27(4): 98- 102.

Haqqi Ismail Yasin*

Luma Fuaad Abdullah

Dams and Water Resources
Engineering Department / College of
Engineering / University of Mosul

Keywords:

Reference evapotranspiration, Penman
Monteith equation, Mosul city.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 04 May 2019
Accepted 20 May. 2020
Available online 27 Apr 2021

Tikrit Journal of Engineering Sciences Tikrit Journal of Engineering Sciences Tikrit Journal of Engineering Sciences

Empirical Equations to Estimate Evapotranspiration in Mosul City

ABSTRACT

Average daily data of solar radiation, relative humidity, wind speed and air temperature from 1980 to 2008 are used to estimate the daily reference evapotranspiration in the Mosul City, North of Iraq. ETo calculator software with the Penman Monteith method standardized by the Food and Agriculture Organization is used for calculations. Further, a nonlinear regression approach using SPSS Statistics is utilized to drive the daily reference evapotranspiration relationships in which ETo is function to one or more of the average daily air temperature, actual daily sunshine duration, measured wind speed at 2m height and relative humidity.

© 2020 TJES, College of Engineering, Tikrit University

DOI: <http://doi.org/10.25130/tjes.27.4.10>

معادلات وضعية لحساب التبخر- نتح في مدينة الموصل

حقي اسماعيل ياسين قسم هندسة السدود والموارد المائية / كلية الهندسة / جامعة الموصل
لمى فؤاد عبدالله قسم هندسة السدود والموارد المائية / كلية الهندسة / جامعة الموصل
الخلاصة

باعتدال بيانات مناخية يومية للفترة من 1980 الى 2008 لمدينة الموصل تشمل كل من الإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح ودرجة الحرارة الهواء تم ايجاد المعادلات اليومية لهذه البيانات ثم استخدام البرنامج المقدم من منظمة الأغذية والزراعة الدولية ETo calculator لاجاد التبخر نتح المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث. و باستخدام طريقة الانحدار اللاخطي على البرنامج الاحصائي (SPSS) تم ايجاد معادلات تتضمن تخمين التبخر نتح المرجعي اليومي في مدينة الموصل حيث التبخر نتح المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث كمتغير معتمد وواحد او اكثر من المتغيرات (متوسط درجة حرارة الهواء اليومية و مدة سطوع الشمس الحقيقية المقاسة وسرعة الريح عند ارتفاع 2 م والرطوبة النسبية) كمتغير مستقل في هذه المعادلات.

* Corresponding Author: Haqqi Ismail Yasin

1. المقدمة

أعطت طريقة Turc أفضل القيم المتوقعة، وقد استنتج أنه ليس فقط يومياً ولكن شهرياً أيضاً هناك أداء جيداً خلال أشهر تشرين الأول الى شباط ولكن هناك إداءً ضعيفاً خلال أشهر آذار الى ايلول.

خمن الباحثون في [8] مقدار التبخر-نتج المرجعي اليومي لمنطقة الموصل حيث استخدمت بيانات درجة الحرارة والإشعاع الشمسي وسرعة الرياح على ارتفاع 2 متر والرطوبة النسبية كمدخلات للشبكة العصبية ولغرض التأكد من صحة أداء الشبكة استخدمت للمنطقة ولنفس الفترة كمخرجات أو كهدف بيانات التبخر الاناثي اليومي Pan, Class A. أظهرت النتائج توافق خطي بين مخرجات الشبكة وبيانات التبخر الاناثي المقاسة وبمعامل ارتباط 0.9679، وهذا يبين إمكانية استخدام الشبكات العصبية الصناعية لحساب التبخر-نتج المرجعي اليومي. ذكر الباحثان في [9] ان طريقة الفاو بينمان مونتيت توفر نتائج أكثر دقة للتنبؤ بالتبخر نتج المرجعي في جميع المناطق ولجميع الظروف الجوية وان العيب الرئيسي المحدد في تطبيق هذه الطريقة هو مجموعة واسعة من معلومات الطقس المطلوبة للتنبؤ. وللتغلب على هذه المشكلة، تم اقتراح نماذج الشبكات العصبية الاصطناعية ذات المرونة ومجموعة متنوعة من الأدوات وقدراتها على تمثيل أفضل من أي تقنية أخرى. العلاقة غير الخطية بين متغيرات الطقس وعمليات التبخر نتج جعلت منها الخيار المفضل بالمقارنة مع الطرق التقليدية. وذكر الباحثون في [10] انه على الرغم من ان طريقة الفاو بينمان مونتيت هي الأكثر دقة لتقدير التبخر نتج المرجع المحاصيل (ET_0). فإن لديها عيوب واضحة في توازن الطاقة وان السبب هو المبالغة في تقدير مركبة الديناميكية الهوائية في معادلة التبخر نتج وذلك نتيجة تحليل الاتجاهات المتغيرة بين تدفق الحرارة الكامنة والإشعاع الصافي السطحي وبناءً على بيانات لمحطات الرصد. الهدف من الدراسة الحالية ايجاد معادلات لتخمين التبخر نتج المرجعي اليومي لمدينة الموصل كدالة لمتغير مناخي واحد أو أكثر.

2. حساب وتخمين التبخر نتج المرجعي

أولا تم حساب التبخر نتج المرجعي وذلك باعتماد بيانات مناخية يومية للفترة من 1980 الى 2008 لمدينة الموصل تشمل كل من الإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح ودرجة الحرارة الهواء. جمعت البيانات المناخية من دراسات سابقة مصدرها محطة الأنواء الجوية في الموصل ومديرية الأنواء الجوية العامة في بغداد حيث تم ايجاد المعدلات اليومية لهذه البيانات ثم استخدام البرنامج المقدم من منظمة الأغذية والزراعة الدولية [11]، ET_0 calculator (Version 3.1)، وذلك لحساب التبخر نتج المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيت وذلك لحالة توفر البيانات المناخية الكاملة على مدار أيام السنة والمعروضة في الجدول (1). ثانياً تخمين التبخر نتج المرجعي بواقع 366 قيمة لكل من متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م و مدة سطوح الشمس الحقيقية المقاسة (n) ساعة وسرعة الرياح عند ارتفاع 2 م (U_2) متر/ ساعة والرطوبة النسبية (rh) % وتسلسل اليوم المعني على امتداد أيام السنة (d) والتبخر نتج المرجعي اليومي الذي تم حسابه بمعادلة الفاو بنمان- مونتيت (ET_0) ملم/يوم. استخدمت طريقة الانحدار اللاخطي (Nonlinear regression) على البرنامج الاحصائي Special Program for Statistical System (SPSS) لاجاد العلاقات المبنية في المعادلات 2 الى 10 والتي تتضمن تخمين التبخر نتج المرجعي اليومي في مدينة الموصل كدالة لبعض المتغيرات أعلاه أو جميعها.

$$ET_0(t, rh, n, U_2) = 0.015 t^{1.340} rh^{0.297} n^{0.493} U_2^{0.414} d^{-0.167} \dots (2)$$

$$ET_0(t, rh, n) = 0.004 t^{1.319} rh^{0.082} n^{0.217} (370-d)^{0.41} \dots (3)$$

$$ET_0(t, rh, U_2) = 0.023 t^{1.258} rh^{0.039} U_2^{0.331} (370-d)^{0.27} \dots (4)$$

$$ET_0(t, n, U_2) = 0.02 t^{1.118} n^{0.256} U_2^{0.343} (370-d)^{0.243} \dots (5)$$

$$ET_0(rh, n, U_2) = 4.048 rh^{(-0.687)} n^{0.808} U_2^{0.439} (370-d)^{0.144} \dots (6)$$

$$ET_0(t, n) = 0.007 t^{1.27} n^{0.175} (370-d)^{0.419} \dots (7)$$

$$ET_0(t, rh) = 0.007 t^{1.379} rh^{(-0.012)} (370-d)^{0.433} \dots (8)$$

ان التبخر نتج المرجعي هو معدل التبخر نتج لسطح مرجعي لا يعاني من شحة المياه، والسطح المرجعي محصول افتراضي ذو خصائص معينة وذلك ليمثل القدرة التخيرية للجو دون الاعتماد على نوع المحصول ومراحل تطوره او العوامل المتعلقة بالتربة او ادارة ماء التربة والعوامل الرئيسية التي تؤثر على القدرة التخيرية هي الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الريح [11]، يشمل التبخر-نتج أو ما يسمى الاستهلاك المائي بخار الماء الخارج من ثغور أوراق النبات بواسطة عملية النتج والماء المستخدم في بناء أنسجة النبات فضلاً عن الماء المتبخر من التربة وأسطح الأجزاء المبللة من النبات. إن مصدر ماء النتج هو ماء التربة الذي تمتصه الجذور وينتقل خلال النبات حتى يصل الأوراق حيث يتحرر من خلال ثغورها إلى الجو على شكل بخار [2]. وقد تم تطوير العديد من الطرق باستخدام عناصر المناخ انفة الذكر لتخمين التبخر نتج المرجعي. قدمت ورقة الري والبزل 56 لمنظمة الاغذية والزراعة 1998 صيغة جديدة لتخمين التبخر نتج المرجعي ستمها الفاو بينمان مونتيت [3] واعتبرتها طريقة قياسية لانها توفر امكانية تخمين التبخر نتج المرجعي عند توفر جميع البيانات المناخية من الإشعاع الشمسي والرطوبة النسبية وسرعة الرياح ودرجة الحرارة الهواء وفي حالة عدم توفر واحد أو أكثر من البيانات المناخية عدا بيانات درجات الحرارة والتي هي درجات حرارة الهواء العظمى واصغرى. وتتص معادلة الفاو بنمان - مونتيت على:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta \left(R_n - G \right) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) U_2 \left(e_s - e_d \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + 0.34U_2 \right)} \dots (1)$$

ET_0 : التبخر نتج المرجعي (ملم/يوم)، R_n : صافي الإشعاع الشمسي (ميكا جول/م²يوم)، Δ : ميل منحنى ضغط بخار التشبع (كيلو باسكال/م³°)، γ : ثابت القياس الرطوبي (كيلو باسكال / م³°)، G : كثافة فيض حرارة التربة (ميكا جول/م²يوم)، e_s : ضغط البخار المشبع عند سطح التبخر (ملم زئبق)، e_d : ضغط البخار في الهواء العلوي المحيط (ملم زئبق)، T : معدل درجة الحرارة (درجة مئوية)، U_2 : سرعة الريح (كم/ساعة).

أجرت الباحثة في [4] دراسة لتقييم صلاحية طريقة الفاو بنمان- مونتيت في جميع مناطق العراق وبمجموعة بيانات مناخية كاملة ومقارنة النتائج المحسوبة مع نتائج حساب التبخر-نتج المرجعي بالطرائق بلاني-كريدل، الإشعاع، وبنمان المعدلة، وكذلك تمت مقارنتها مع نتائج حقلية سابقة وأكدت الدراسة بإمكانية اعتماد معادلة الفاو بنمان- مونتيت لتمثيل التبخر نتج المرجعي وباستخدام بيانات مناخية كاملة لجميع مناطق العراق وفي حالة عدم توفر بيانات مناخية كاملة يمكن اعتمادها عند عدم توفر بيانات الإشعاع الشمسي او الرطوبة النسبية او كليهما. كما بين الباحثون في [5] لدراسة التبخر-نتج المرجعي في محافظة نينوى باستخدام عدة نماذج رياضية ان الارتباط الذي تم الحصول عليه بين قيم البيانات أو المتغيرات المناخية (التبخر، سرع الرياح، متوسط درجة حرارة الهواء، الرطوبة النسبية، محصلة الإشعاع، الإشعاع النسبي) لجميع محطات الدراسة والتبخر نتج المرجعي من معادلة الفاو بنمان - مونتيت ذو قيمة عالية لمعامل التحديد وكذلك أكدت الدراسة ان متوسط درجة حرارة الهواء ذو ارتباط جيد وسرع الرياح ذو ارتباط متدني وذلك مع قيم التبخر نتج المرجعي من معادلة الفاو بنمان- مونتيت. وبينت الباحثة في [6] انه يمكن اعتماد الطرائق بلاني كريدل والتبخر الاناثي والفاو بينمان مونتيت في حساب التبخر نتج المرجعي حيث أعطت نتائج جيدة لحساب الاحتياجات المائية لمحاصيل منطقة الموصل.

وفي دراسة أجراها الباحثون في [7] لتقييم أداء تسع طرق تجريبية هم-FAO (1977) Penman، (1957) Makkink، (1961) Turc، (1963) Penman، (1972) Priestley-Taylor، (1977) Linacre، (1982) Kimberly Penman، (1985) Hargreaves-Samani، (2006) Copais، لتقدير التبخر اليومي المرجعي (ET_0) وبالمقارنة مع طريقة الفاو بينمان- مونتيت على أساس شهري من أجل تقييم الاختلافات الموسمية في الطرق المراد مقارنتها، بالنسبة لمعادلات الانحدار، كان لطريقة Priestley-Taylor أفضل علاقة مع طريقة الفاو بينمان- مونتيت، بينما

تكملة الجدول (1):

التبخير نتح المرجعي اليومي باستخدام معادلة الفاو بنمان- مونثيث
 باعتماد حالة توفر البيانات الكاملة على مدار سنة كاملة

3. مناقشة النتائج

المعادلات 10-2 جميعها لتخمين التبخير نتح المرجعي اليومي لمدينة الموصل، فالمعادلة 2 تستخدم عند توفر بيانات لكل من متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) و م و مدة سطوع الشمس الحقيقية المقاسة (n) ساعة وسرعة الريح عند ارتفاع 2 م (U₂) متر/ ساعة والرطوبة النسبية (rh) وهي ذات توافق عالي مع التبخير نتح المرجعي اليومي

الجدول (1):

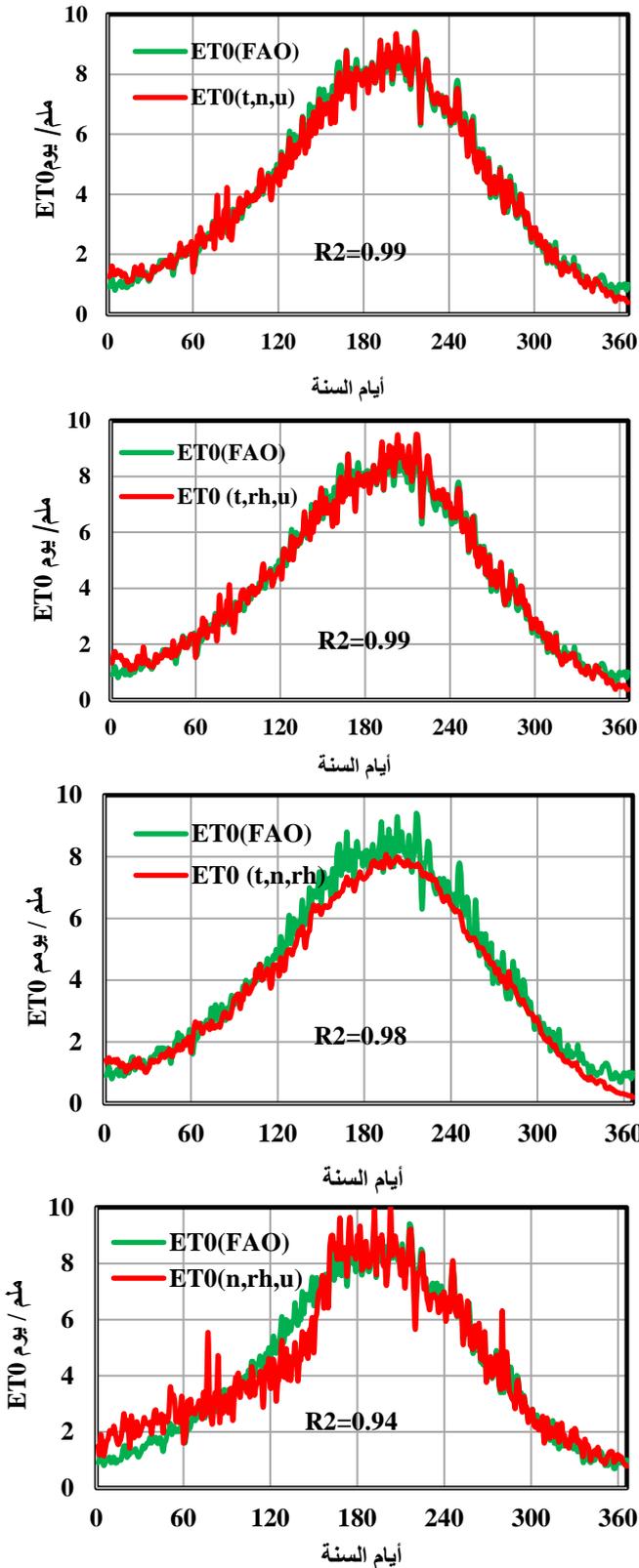
التبخير نتح المرجعي اليومي باستخدام معادلة الفاو بنمان- مونثيث
 باعتماد حالة توفر البيانات الكاملة على مدار سنة كاملة

اليوم	ET ₀ ملم/يوم						
1	0.9	49	2	97	3.7	145	6.9
2	1	50	2	98	4	146	6.8
3	1.2	51	2.3	99	3.6	147	6.7
4	1	52	1.9	100	3.9	148	7.1
5	0.8	53	2.2	101	3.9	149	7.5
6	0.9	54	2.1	102	3.9	150	6.5
7	1	55	2	103	4	151	7
8	1	56	2.1	104	3.9	152	7.5
9	1.1	57	2	105	4.2	153	7
10	0.9	58	2.1	106	4	154	7.2
11	1	59	2.4	107	4.5	155	7.2
12	1.1	60	2.0	108	4.5	156	7.3
13	0.9	61	1.6	109	4	157	6.7
14	0.9	62	1.9	110	4.3	158	7.6
15	1	63	2.2	111	4.4	159	7.6
16	1	64	2.1	112	4.5	160	6.7
17	1	65	2.2	113	4.7	161	8
18	1.3	66	2.5	114	4.3	162	8.4
19	1.5	67	2.6	115	4.2	163	8.4
20	1.5	68	2.4	116	4.6	164	7.4
21	1.1	69	2.5	117	4.8	165	8.1
22	1.2	70	2.6	118	4.7	166	7.6
23	1.2	71	2.7	119	5	167	8.1
24	1.3	72	2.5	120	4.7	168	8.8
25	1.3	73	2.6	121	4.8	169	7.6
26	1.3	74	3.1	122	5.4	170	7.9
27	1.4	75	2.5	123	5.2	171	8.2
28	1.2	76	3	124	4.8	172	7.7
29	1.1	77	3.2	125	5.2	173	7.2
30	1.2	78	2.8	126	5.1	174	8.1
31	1.3	79	2.7	127	5.6	175	8.5
32	1.5	80	2.8	128	6.1	176	8.1
33	1.4	81	3.2	129	5.2	177	8
34	1.5	82	3.1	130	5.5	178	8.1
35	1.6	83	2.9	131	6	179	7.7
36	1.6	84	2.7	132	5.5	180	8.1
37	1.8	85	3.1	133	5.9	181	8.2
38	1.6	86	2.9	134	5.6	182	8.2
39	1.8	87	3.2	135	5.9	183	7.6
40	1.7	88	3.5	136	5.9	184	7.8
41	1.8	89	3.4	137	6.6	185	8.1
42	1.6	90	3.2	138	6	186	8.4
43	1.6	91	3.5	139	5.8	187	7.9
44	1.8	92	3.5	140	6.3	188	7.7
45	1.6	93	3.5	141	6	189	7.9
46	1.3	94	3.2	142	7	190	8.2
47	1.6	95	3.4	143	6.2	191	8.6
48	1.7	96	3.8	144	6.8	192	9.1

اليوم	ET ₀ ملم/يوم						
193	7.5	241	6.3	289	3.4	319	1.4
194	8.6	242	6.5	290	4	320	1.5
195	8.5	243	6.8	291	3.9	321	1.9
196	8.1	244	6.4	292	3.3	322	1.5
197	8.9	245	7.6	293	3.4	323	1.7
198	8.2	246	7.8	294	2.9	324	1.5
199	8.6	247	7.4	295	3.3	325	1.6
200	7.7	248	6.3	296	2.9	326	1.6
201	8	249	6.1	297	2.8	327	1.6
202	8.6	250	6.4	298	2.4	328	1.9
203	9.3	251	6.7	299	2.7	329	1.4
204	8.2	252	6.5	300	2.7	330	1.6
205	8.6	253	5.3	283	4.6	331	1.6
206	8.8	254	5.5	284	4.2	332	1.3
207	8.3	255	5.5	285	3.8	333	1.3
208	8.1	256	5.5	286	4.3	334	1.3
209	8.1	257	6.6	287	3.3	335	1.2
210	7.8	258	5.8	288	3.2	336	0.9
211	8.7	259	5.1	289	3.4	337	1.2
212	8	260	4.8	290	4	338	1.2
213	7.5	261	5.5	291	3.9	339	1
214	8	262	5.2	292	3.3	340	1
215	8.2	263	4.9	293	3.4	341	0.9
216	9.4	264	5.5	294	2.9	342	1
217	9.3	265	4.5	295	3.3	343	1
218	8.5	266	4.5	296	2.9	344	1
219	7.6	267	4.4	297	2.8	345	1.2
220	6.3	268	5.2	298	2.4	346	1.2
221	7.3	269	3.9	299	2.7	347	1.3
222	7.8	270	4.5	300	2.7	348	1.3
223	7.9	271	4.1	301	2.8	349	1.2
224	8.5	272	4.6	302	2.3	350	1
225	8.4	273	3.9	303	2.3	351	0.8
226	7.5	274	4.5	304	2.6	352	0.9
227	7.5	275	4.3	305	2.4	353	0.8
228	7.1	276	4.9	306	2.1	354	1
229	6.9	277	4.2	307	2.1	355	0.9
230	6.8	278	3.6	308	2.4	356	0.9
231	7.1	279	3.4	309	1.7	357	0.7
232	7.3	280	3.9	310	2.3	358	0.7
233	7.1	281	3.4	311	2.3	359	0.9
234	7	282	3.7	312	1.8	360	1
235	7.3	283	4.6	313	1.7	361	0.9
236	6.8	284	4.2	314	1.9	362	0.9
237	6.6	285	3.8	315	2.4	363	1
238	7.2	286	4.3	316	1.6	364	1
239	6.8	287	3.3	317	1.7	365	0.8
240	6.8	288	3.2	318	1.7	366	1

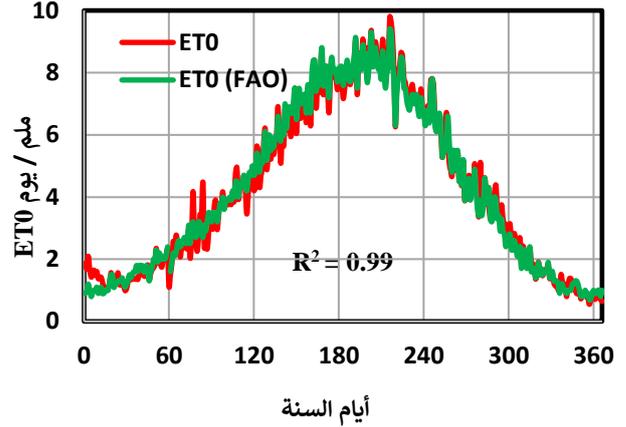
$$ET_0(t, U_2) = 0.018 t^{1.296} U_2^{0.33} (370-d)^{0.27} \dots\dots\dots (9)$$

$$ET_0(t) = 0.007 t^{1.39} (370-d)^{0.433} \dots\dots\dots (10)$$



الشكل (2): التوافق بين التبخر نتج المرجع بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث مع كل من التبخر نتج المرجع المحسوب من المعادلات 3،4،5،6.

الناتج بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث، والشكل (1) يوضح ذلك.



الشكل (1): التوافق بين التبخر نتج المرجع بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث مع كل من التبخر نتج المرجع المحسوب من المعادلة 2.

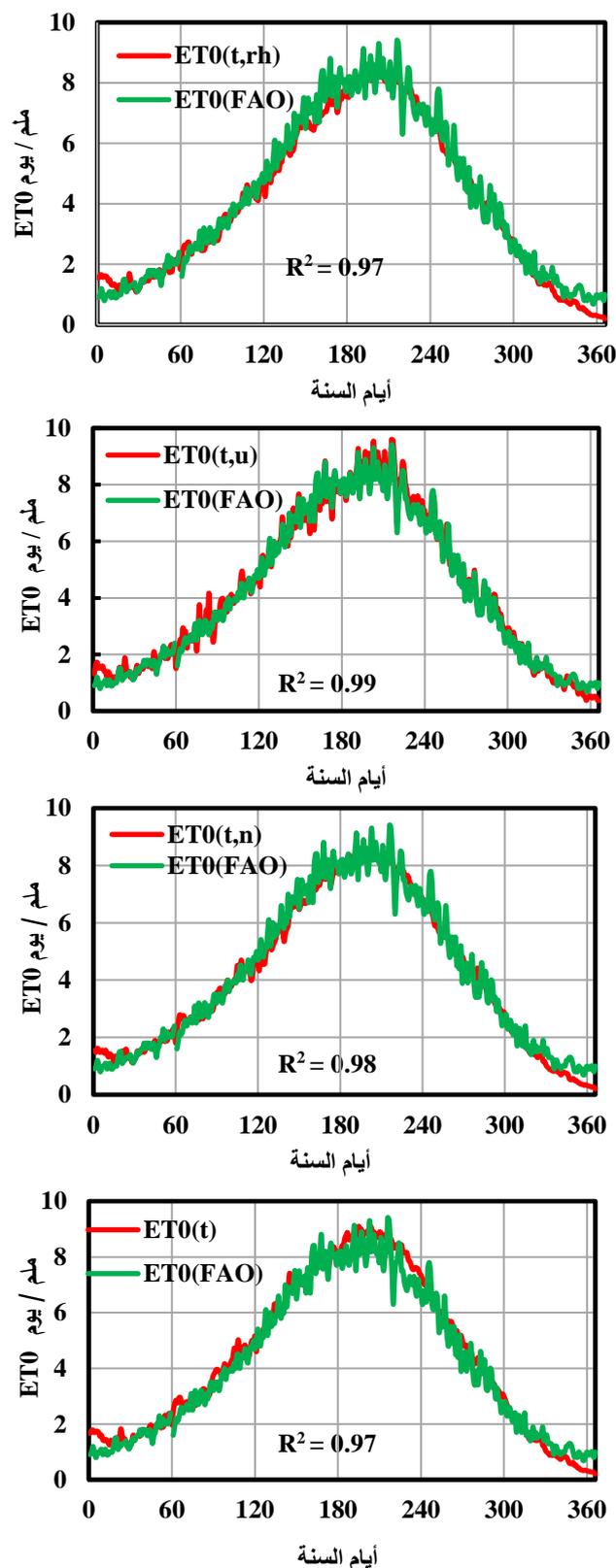
المعادلات 3-6 تستخدم عند توفر بيانات (t, rh, U_2) و (t, n, U_2) على التوالي والشكل (2) يوضح التوافق بين التبخر نتج المرجعي اليومي الناتج من هذه المعادلات مع التبخر نتج المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث، حيث يتبين ان هنالك توافق عالي جداً على مدار ايام السنة عند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م والرطوبة النسبية (rh) ومدة سطوع الشمس الحقيقية المقاسة (n) ساعة اي التبخر نتج المرجعي $ET_0(t, rh, n)$ الناتج من المعادلة 3، وعند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م والرطوبة النسبية (rh) وسرعة الريح عند ارتفاع 2 م (U_2) متر/ ساعة اي التبخر نتج المرجعي $ET_0(t, rh, U_2)$ الناتج من المعادلة 4، كذلك التوافق عالي عند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م ومدة سطوع الشمس الحقيقية المقاسة (n) ساعة وسرعة الريح عند ارتفاع 2 م (U_2) متر/ ساعة اي التبخر نتج المرجعي $ET_0(t, n, U_2)$ الناتج من المعادلة 5، ويتبين ايضا ان التوافق بين التبخر نتج المرجعي اليومي الناتج من المعادلة 6 $ET_0(rh, n, U_2)$ مع التبخر نتج المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث جيداً ولكن ليس على مدار ايام السنة حيث هنالك تباين واضح في النصف الاول من السنة بالرغم من ان معامل التحديد هو 0.94. والشكل (3) يوضح التوافق بين التبخر نتج المرجعي اليومي الناتج من المعادلات 7-10 مع التبخر نتج المرجعي اليومي بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث، حيث يتبين ان هنالك توافق عالي جداً على مدار ايام السنة عند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م ومدة سطوع الشمس الحقيقية المقاسة (n) المعادلة 7. وعند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م والرطوبة النسبية (rh) المعادلة 8 عند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م وسرعة الريح عند ارتفاع 2 م (U_2) متر/ ساعة المعادلة 9 وكذلك وعند اعتماد بيانات متوسط درجة حرارة الهواء اليومية (t) °م فقط المعادلة 10.

4. الاستنتاج

مما تقدم تبين ان جميع المعادلات التي تم اعتماد متوسط درجة حرارة الهواء اليومية كعامل فيها قدمت توافق عالي جداً والمعادلة الوحيدة التي تضمنت بعض من التباين هي المعادلة 6 التي لا تتضمن متوسط درجة حرارة الهواء عامل فيها. وقد تم التحقق للحالات الاخرى التي يمكن اعتمادها من نوع البيانات مثل (rh, n) أو (rh, U_2) أو (n, U_2) أو (rh) أو (U_2) أو (n) لكنها لم تعطي توافق مقبول حيث كانت قيم معامل التحديد متدنية لذا تم استبعادها.

5. المصادر

- [1] Doorenbos, J., and Pruitt, W.O., Guide Lines For Predicting Crop Water requirement, Irrigation and Drainage paper No. 24, (FAO), Rome, and pp.156.1977.
- [2] Hachum A.Y and H.I.Yasin, On-farm Irrigation Systems Engineering, Dar Al Kuttb for Printing and Publishing, Mosul University, 1992.
- [3] Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M., Crop Evapotranspiration: Guide lines for Computing Crop Water Requirement, Irrigation and Drainage paper No. 56, (FAO), Rome. 1998.
- [4] Abdullah, S.S., Evaluation of the FAO Panaman-Montith Equation for Calculating the Reference Evapotranspiration by Complete and Defined Climate Data in Iraq, M.Sc. Thesis, Mosul University, Mosul, Iraq, 2002.
- [5] Al-Rijabo W.I. K. Jasim M. Shalal, Study of Reference Evapotranspiration in Ninawa Governorate Using Different Mathematical Models, *Journal of Mesopotamia*, 2008; **19**(3), 154-173.
- [6] Yaqoob, A.A. Comparison of some Methods to Estimation Reference Evapotranspiration for Mosul Area, *Al-Rafidain Engineering*, 2013; **21** (1), 1-6.
- [7] Efthimiou, N., S. Alexandris, C. Karavitis and N. Mamassis, Comparative analysis of reference evapotranspiration estimation between various methods and the FAO56 Penman - Monteith procedure, *European Water*, 2019; **42**:19-34.
- [8] Shehab F.M, Omar R.R, Sedik R.Y Estimating Reference Evapotranspiration in Mosul (Iraq) Using Cascade Neural Networks, *Eng. & Tech. Journal*, 2014; **32**(9), 2277-2285.
- [9] Abdullah, S.S. and M.A. Malek, (2016), "Empirical Penman-Monteith equation and artificial intelligence techniques in predicting reference evapotranspiration: a review" *Int. J. Water*, 2016; **10** (1), 55-66.
- [10] Hao X., S. Zhang, W. Li, W. Duan, G. Fang, Y. Zhang, and B. Guo, The Uncertainty of Penman-Monteith Method and the Energy Balance Closure Problem", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 0.1029/2018; JD028371.
- [11] ETo calculator Version 3.1, Food and Agriculture Organization of the United Nations Land and Water Division, 2009.



الشكل (3): التوافق بين التبخر نتج المرجع بمعادلة الفاو بنمان- مونتيث مع كل من التبخر نتج المرجع المحسوب من المعادلات 10،9،8،7.