للمعادلات الحرارية في بعض مناطق ليبيا بواسطة معادلة الفاو – بنمن مونتث

محمد علي الاسود ، نورالدين سالم بلق ، أشرف يعقوب سويدان

المعهد العالي والمتوسط للتقنية الزراعية- الغيران طرابلس - ليبيا

الملخص:

تم تقدير البخر النتح القياسي بثلاث طرق حرارية للمعادلات بلاني وكريدل(Blany – Criddle) ، وجنسن – هايس (Jensen–Haise)، وهرغريفز(Hargreaves) لخمس مناطق في ليبيا حسب التقسيم الهيدرولوجي حيث تم اختيار محطات طرابلس وطبرق و سرت و الكفره و سبها , وتم معايرتها بواسطة معادلة الفاو/ بنمن – مونتث و قد اظهرت النتائج ان معادلة بلاني و كريدل هي الأفضل بشكل عام ثم هارغريفز ثم جنسن و هيس وفق التحاليل الإحصائية و يمكن تحسين آدا المعادلات بتعديل ثوابتها حسب المنطقة التي تم فيها الدراسة.

الكليمات المفتاحية: البخر النتح القياسي– معادلة بلاني وكريدل Blany Criddle ، وجنسن وهيس Jensen Haise، وهرغريفزHargreaves

المقدمة:

أدى التوسع في الزراعة المروية في ليبيا ألي استعمال كميات كبيرة من المياه الجوفية لري المحاصيل الزراعية المختلفة ، وأدت الزيادة المطردة من خزانات المياه الجوفية إلى استنزاف هذه الطبقات الحاملة للمياه الجوفية الامر الذي ادى الي البحث عن طرق و اساليب تقلل من هذا الاستنزاف (الهيئة العامه للمياه 1999) (2). يعتبر تقدير البخر نتح القياسي له دور هاما في مجال الزراعة و نظم علوم الهيدرومترولوجي (hydro meterologg), يسبب تعقيد في ظاهرة البخر نتح و ظاهرة البيوفيزيائية (biophysical phenomenon). يعرف البخر نتح بأنه مصتلاح يصف مايفقد و مايستهلك من الماء بالبخر من سطح الارض و الاسطح المائية و اوراق النبات بالإضافة ألي الماء الذي تمتصه الجذور و يستهلك في بناء الأنسجة و منها الي الأوراق و من بعد ألي الغلاف الجوي في صورة نتح . يعرف البخر نتح المرجعي (ETo) بمعادلة الفاو بنمان مونتيث بأنه معدل البخر نتح من سطح النبات افتراضي بارتفاع 12cmو مقاومة سطحية قدرها 70s/m و معامل انعكاس قدره ,0.23 و يمثل ذلك تقريبا البخر نتح من سطح ممتد من العشب الاخظر و بارتفاع منتظم ينمو بنشاط و لا يعاني من نقص في الرطوبة (Allen et al 1998)(10). ان عملية القياس المباشر للبخر نتح أمرا معقدا و يتطلب توفر أجهزة و معدات خاصة ذات كلفة عالية بالإضافة ألي فريق بحثي متمرس و ذو خبرة عالية ولذلك هذه القياسات المباشرة غالبا لا تتم إلا في المراكز البحثية و علي نطاق محدود, و بسبب هذه الصعوبات حاول العديد من البحاث علي مدار الخمس عقود الماضية ربط العوامل المناخية بالبخر نتح و ادت تلك المحاولات الي ظهور العديد من المعادلات التجريبية التي بدورها تم تقسيمها الي ثلاث اقسام:

- معادلات تعتمد علي درجة الحراره
- معادلات تعتمد علي الاشعاع
- المعادلات المركبة

الجدير بالذكر انه من ضمن هذه المحاولات أن العديد من البحاث قد قام بتطوير تقنية جديدة تسمي بالشبكات العصبية الاصطناعية (ANNS) Artificial Neural Networks لتقدير البخر نتح المرجعي نذكر منها علي سبيل المثال لا الحصر زنتي ومجموعته البحتية Zanetti et al (15) & Chauhan &Shrivastava (17) Sudheev et. al 2002 Kumar et al (14). معادلة الفاو بنمان مونتيث (FPM) التي تعتبر مثالا للمعادلات المركبة و التي اوصت اللجنة الاستشارية لخبراء الري و الصرف في مايو 1990 بتبني هذه المعادلة بعتبارها المعادلة القياسية لتعريف و حساب البخر نتح المرجعي في العديد من المناطق المناخية المختلفة و لفترات زمنيه قصيرة في ما توفرت البيانات المطلوبة Allen at el 1998 (10). كما إن هذه المعادلة تحتاج إلي العديد من البيانات المناخية مثل درجة الحرارة و الرطوبة النسبية و الإشعاع الشمسي و سرعة الرياح و التي غالبا لا تكون متوفرة في اغلب محطات الأرصاد الجوي. وبالتالي فان استخدام معادلات حساب البخر نتح المرجعي التي تحتاج إلي بعض البيانات المناخية يبدو أمرا مهما. بينما في الماضي تركزت العديد من الأبحاث و الدراسات علي تطوير طرق و اساليب جديده أكثر دقة بالاضافه الي تحسين الطرق السابقة لتقدير البخر نتح و ذلك بسبب التطبيقات الواسعة لهذا المكون في عديد من المجالات و لا تزال الابحاث مستمرة Shrivastva & Chowdhary (9). لذالك تعددت طرق تقدير هذه الظاهرة الفيزيائية الامر الذي أدى الي ارتباك المستخدمين محليا لهذه الظاهرة في مجال تقدير الاحتياجات المائية للمحاصيل بسبب تطبيق نماذج مختلفة مثل النماذج الهيدرولوجية (hydrological) و النظم الايكولوجية (Ecosystems) Liu et al (25), و تعتبر المناطق الجافه و شبه الجافه من المناطق المهمة في ظل الظروف المناخية القاسيه و البحث الدقيق عن قيمة البخر نتح القياسي حيث تحتاج هذه المعادلات الي عملية معايره دقيقة و فق الظروف المحلية و اعتبر الباحثين أن طريقة (FPM) (FAO 56) هي الطريق الادق و المرجعية (Dingman 2006)(10,23). كما يحاول المهتمين بهذه المشكلة إيجاد الضوابط الممكنة والتي يمكن اتخاذها لتفادي وقوع مثل هذه المشاكل ويجب أن يتم ذلك وفق التخطيط العلمي السليم للاستفادة المثلى من هذه المصادر المائية ، فحسب تقرير (FAO 1997) (1) فإن ليبيا هي من أكثر البلدان تعديناً للمياه الجوفية يصل هذه النسبة لحوالي 90% من كمية المياه المتاحة وهي تقع في مناطق ما تسمى بالعجز المائي (Water Deficit) ، لكونها تقع معظم أراضيها في المناطق الجافة الصحراوية حسي تقرير اللجنه الفنية لسنة 1999 (3). ان الخطوة الاولى للاستفادة من هذه المياه هو رفع كفاءة استخدام مياه الري وذلك بالاتجاه إلى نظم الري الاعلا كفاءة مثل نظم الري الموضعي كما ورد بمرجع لطيف و الحديثي (10) . وحيث ان من مشاكل الري المضغوط بأنواعه ارتفاع تكلفتها الإنشائية التي لا تقل عن 55% من تكاليف أي مشروع زراعي وتعتبر الخطوة الأولى والأساسية والأهم عند تصميم أي نظام ري معرفة البخر النتح القياسي وذلك لمعرفة التركيبة المحصولية الممكن اختيارها لمعرفة العلاقة التي تربط كمية الماء المضاف والانتاجية الممكنة وهو ما يسمى (دالة إنتاجية المحصول – ماء) (Crop – Water Production Function) لذلك تعددت المحاولات التي قدمها العلماء لقياس البخر نتح في عدم توفر الكثير من البيانات المناخية و في ظل وجود المحطات أو عدم وجودها في بعض المناطق أصبح استخدام المعادلات البسيطة ذات أهمية كبيرة و التي يسهل إيجاد الحلول لها ولكنها تحتاج إلى عمليات معايرة محليا (FAO56)(10) لذلك تم اختيار طرق حرارية معيره بواسطة معادلة الفاو/بنمن – مونتث (FPM) التي أوصت منظمة الفاو والمنظمة العالمية للمناخ OMW واللجنة الدولية للري والطرق (ICID) باستخدامها. و في بحث قام به (Stanhill et.al)(24) لتقدير البخر نتح للحصول علي المدي الاقل من البيانات المناخية المتوفرة و ذلك لأهميتها لعملية برمجة الري حيث اشارت تلك النتائج بعد المعايرة بواسطة معادلة الفاو/بنمن – مونتث(Penman–Monteith) أن معادلات (Taylor)(20) **&** (Priestley) (7) و معادلة (

Hargreaves – Samani المعدلة (10) و المعادلة الرئيسية لمعادلة بنمن – مونتث تلك المعادلات أعطت نتائج جيدة و لكن بعد معايرة لسرعة الرياح و الرطوبة النسبية زادت من كفاءتها و ايجاد ثابت يعتمد علي شهور السنه و ذلك بالحصول علي درجة حرارة المتوسطة و الاشعاع الشمسي. حين وجد في بحث قام به (Chaojie et al) (21) باستخدام اربعة عشرة محطة في البرتغال أن المعادلات الاصلية (Hargreaves – Samani) و المعادلات 4-3-2-1 المعدلة من المعادلات السابقة باستخدام درجة الحرارة العظمى و الصغرى و معادلة)& (Schende and Trajkovic Melesse (Enku) , حيث ان معادلة (Hargreaves) كانت هي الأفضل في صيغتها الأصلية و المعدلة من باقي المعادلات في كل المحطات التي تم استخدامها و رغم وجود توافق في دقة تلك المحطات من محطه الي اخرى و ذلك حسب الظروف المناخية لكل منطقة و التي تراوحت مابين (0.65 – 0.83) و لذلك اعتبر الباحثون ان هذه المعادلة المعدلة ملائمة

أهداف البحث:

1- تقدير البخر نتح ويقاس بواسطة ثلاث طرق حرارية الأكثر استعمالاً بلاني وكريدل(Blany – Criddle) ، وجنسن وهيس (Jensen Haise) ، وهارغريفز(Hargreaves) لخمس محطات تمثل التقسيم الهيدروجيولجي في ليبيا.

2- معايرة الطرق السابقة بواسطة معادلة (FPM) (السلاوي 1989) (7).

المواد وطرق البحث:

تم اختيار ثلاث طرق حرارية كقياس البخر نتج القياسي لعدة مناطق في ليبيا.

أولا: المعادلات الرياضية:

تم اختيار المعادلات الثلاثة التالية ، والتي تعتبر من أكثر المعادلات استخداماً وانتشاراً في العالم وهي:

1- **معادلة بلاني وكريدل** (Blany – Criddle) :

وهي معادلة استخدمت على نطاق واسع في غرب الولايات المتحدة وتستعمل على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم وبدأ تطبيقها عام 1920 وهي علاقة تجريبة خطية من الناحية الرياضية وعدلت عدة مرات وتم استخدام الصيغة التي استخدمتها وعدلتها منظمة (FAO24)(1) على النحو التالي:

$$E_{T0} = P(0.46\ T_{mean} + 8.13)$$

حيث أن:

ET_o – بخر النتح القياسي (mm/day).

P – النسبة المئوية لساعات السطوع اليومية (%).

T_{mean} – متوسط درجة الحرارة (C^0).

2- معادلة جينس وهيز (Jensen Haise) :

وهي معادلة اعتمدت على أخذ عينات من التربة الرطبة على مدى (35) سنة تأخذ حوالي 3000 عينة وهي معادلة خطية من الدرجة الأولى عدلت من قبل(Jensen 1968) (2) وتصاغ على النحو التالي .

$$ET_0 = (0.25\ T_{mea}n + 0.08)RS$$

حيث أن:

ET_0: البخر نتح القياسي (mm/day).

T_{mean}: متوسط درجة الحرارة (C^0).

RS: لإشعاع الشمس الواصل إلى سطح الأرض (mm/day).

3- معادلة هارغريفر (Hargreaves and Samani 1982) (11):

وهي معادلة عدلت عدة مرات ثم أخذت الصيغة التالية (Hargreaves at al 1985) (14):

$$ET_0 = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{\max} - T_{\min})Ra$$

حيث أن:

ET_0: البخ نتح القياسي mm/day.

T_{mean}: متوسط درجة الحرارة (C^0).

T_{max}: أقصى درجة حرارة (C^0).

T_{min}: أدنى درجة حرارة.(C^0)

Ra: الإشعاع الشمي الواصل لنهاية الغلاف الجوي (mm/day).

طريقة الحسابات:

تم أخذ بيانات تمثل درجة الحرارة العظمى والصغرى والرطوبة النسبية العظمى والصغرى وسرعة الرياح وعدد ساعات السطوع الفعلي لعدد ثماني سنوات (2001 ، 2002 ، 2003 ، 2004 .2005. 2006. 2007. 2008) لكل متوسط شهر ثم حساب متوسط ETo لكل شهر بعد التعويض في المعادلات السابقة.

معايرة الطرق السابقة:

أوصت منظمة الفاو أن الطرق السابقة يمكن استخدامها وذلك بعد معايرتها بواسطة معادلة (FPM) و التي تصاغ رياضيا علي النحو الاتي (FAO56) (10):

$$ET_0 = \frac{0.48\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + .034u2)}$$

حيث أن:

ET_0 : بخر نتح مرجعي (mm/day).

Rn: صافي الإشعاع الشمسي عند سطوح المحصول (MJ/m^2 /day).

G: شدة تدفق حرارة التربة (MJ/m^2 /day).

T: متوسط درجة حرارة الهواء اليومية عند ارتفاع 2m.

U2: سرعة الرياح عند ارتفاع 2م (m/sec).

Es: ضغط البخار المشبع(Kpa).

Ea: ضغط البخار الفعلي(Kpa).

(es-ea): عجز ضغط البخار المشبع(Kpa).

Δ : انحدار منحنى ضغط البخار(Kpa).

γ : الثابت الرطوبي (Kpa).

و يتم ايجاد علاقة احصائية بين معادلة الفاو –بنمن مونتث وذلك باستخدام تحليل الانحدار ومعامل الارتباط الإحصائي الخطي وفق المعادلة التالية:

$$ET_0 = a + b(ET_a)$$

حيث أن:

ET_0: البخر نتح القياسي للطرق المختبرة.

ET_a: البخر نتح لمعادلة (FLM) المرجعية .

a, b: معلمات يمكن حسابها من المعادلات التالية (Montgomery 2005) (12):

$$b = \frac{n\sum xy - \sum x \sum y}{n\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

حيث أن:

n: عدد السنوات المختبرة (ثمانية سنوات).

x: القيم المستقلة معادلة (FHM).

y: القيم المختبرة (المعادلات السابقة الثلاثة) التابعة بلاني وكريدل(Criddle – Blany) ، وجنسن وهيس (Jensen Haise)، وهرغريفز .

$\bar{x}$: متوسط القيم المستقلة.

$\bar{y}$: متوسط القيم التابعة. .

تقدير كفاءة المعادلات:

تم تقدير كفاءة وجودة كل معادلة باستخدام المعادلات الإحصائية التالية :

1- **دليل الانسجام** (Agreement Index) (Rosenberg and Powers) (4):

ويسمى أحياناً دليل الاتفاق ويحسب من المعادلة التالية :

$$D = 1 - \frac{\sum_{i-1}^{n}\left(O_i - E_i\right)^2}{\sum\left(\left|1E_i - \bar{O}\right|\left|O_1' - O\right|\right)_2}$$

2- **الخطاء القياسي المتوسط** و يحسب من المعادلة التالية.

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

3- **دليل الكفاءة** و يحسب من المعادلة التالية.

$$EF = \frac{\sum\left(O_i - O'\right)^2 - \sum\left(O - E\right)^2}{\sum\left(O - O'\right)^2}$$

حيث أن:

D: دليل الانسجام (التوافق).

MAE: الخطأ القياسي المتوسط.

EF: دليل الكفاءة.

موقع الدراسة:

كما موضح في الشكل (أ) هذة الدراسة تم اجراءها في خمس محطات ارصاد جوية تمثل خمس مناطق رئيسية بليبيا حسب التقسيم الهيدروجيولوجي للسلاوي (7) وهي كانت على النحو التالي:-

1- المنطقة الشمالية الشرقية:

وتم اعتماد محطة طبرق كمحطة ممثلة لها وهي تقع عند خط عرض 32.06^0 شمالاً وخط طول 23.55^0 وارتفاع 50 متر فوق سطح البحر.

2- المنطقة الوسطى:

تم اعتماد محطة سرت وهي تقع عند خط عرض 31.2^0 شمالاً وخط طول 16.35^0 وارتفاع 22 متر فوق مستوى سطح البحر.

3- المنطقة الشمالية الغربية:

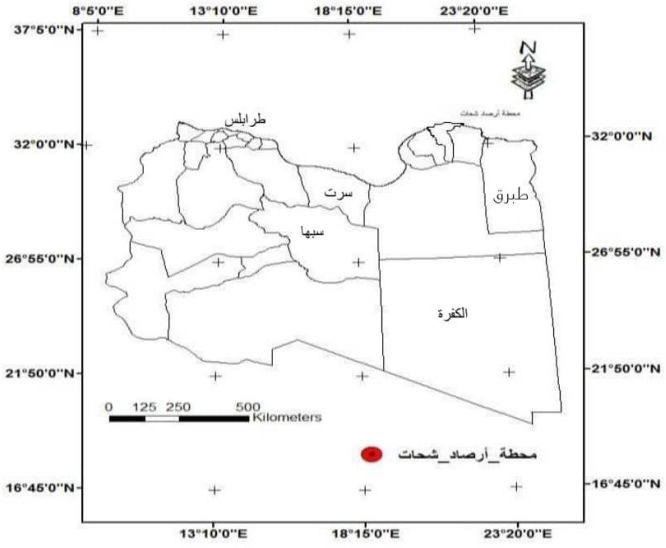
وتم اعتماد محطة مطار طرابلس وهي تقع عند خط عرض 32.41 شمالاً وخط عرض 13.10 وارتفاع 263 متر فوق مستوى سطح البحر.

4- المنطقة الجنوبية الغربية:

وتم اعتماد محطة سبها وهي تقع عند خط عرض 17.10^0 شمالاً وخط طول 14.26 وارتفاع 434 فوق سطح البحر.

5- المنطقة الجنوبية الشرقية:

وتم اعتماد محطة الكفرة وهي محطة تقع على ارتفاع 436 متر فوق سطح البحر وعند خط عرض 24.13 وخط طول 23.18^0.



الشكل (أ) يوضح المناطق الخمسة وموقعها علي خريطة ليبيا

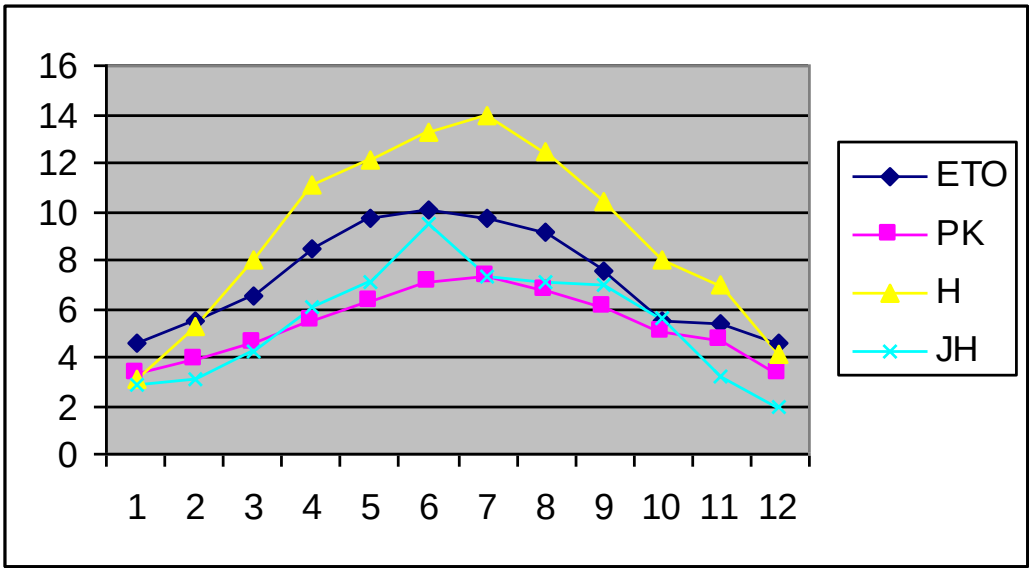
النتائج و المناقشة

1- محطة مطار طرابلس:

وهي تمثل الشمال الغربي لليبيا ويلاحظ من خلال جدول رقم (1) وشكل (1) أن معادلة هارغريقر (AH) أعطت متوسط حسابي مقداره 9.07 mm/day وهو أعلى من المعادلة المعيارية (FPM) بحوالي (+28%) أما معادلة بلاني وكريدل فكانت أقل بحوالي (−25%) أما معادلة جنيسن وهيس فكانت أقل بحوالي (−3.9%) ولكن عند تقدير جودة هذه المعادلات لوحظ أن معادلة (PC) أعطت أقل متوسط خطأ قياس (MEA) تليها هارغريقر ثم جنسن وهيس وكان دليل الكفاءة لأعلى لهذه للمعادلة بلاني و كريدل (PC) ثم هارغريفز ثم جنسن وهيس. أما دليل التوافق (D) ومعادلة الارتباط فكان لصالح معادلة هارغريفز ثم بلاني وكريدل ثم جنسن وهايز. وهذا يعطي مؤشراً ألافضلية لمعادلة بلاني وكريدل ثم هارغريفز ثم جنسن وهيس. و هذا يفسر ما قام به الباحثون (Chaojie,et al 2021)(21) بتقدير و تحليل و معايرة عدة طرق اساسيه مختلفة للبخر النتح القياسي بشكل يومي في الصين و تمت المعايرة بواسطة معادلة الفاو/بنمن – مونتث و أظهر البحث ان معادلة هيس (Haise) ، وهرغريفز (Hargreaves) هي الافضل خاصة في الفصول الغير المتقلبة و لكن لعدم وجود الجزى المتعلق بالرياح أثر علي دقة البيانات و هو ما ينطبق علي معادلة ترك و بلاي و تربيل , وفي دراسه قام بها (Taylor 2012)(20) حول تقدير النتح البخر بواسطة معادلة محدودة في ثلاث محطات بمنطقة حوض المتوسط تفيد ان الطرق الحرارية قد اعطت نتائج مقبولة الي جيدة في المناطق الساحلية و أهمها هرغريفر و بلاي و تربيل. وقد أعطت هذه المعادلات نتائج جيدة الي ممتازة بعد معايرتها بواسطة الفاو/بنمن – مونتث .

جدول رقم (1) محطة مطار طرابلس

Mon	ETO	PC	HA	JH
1	4.60	3.35	3.06	2.83
2	5.48	3.85	5.31	3.05
3	6.48	4.56	8.02	4.20
4	8.45	5.47	11.07	6.03
5	9.76	6.26	12.11	7.05
6	10.02	7.11	13.29	9.51
7	9.73	7.26	13.95	7.32
8	9.09	6.79	12.43	7.08
9	7.55	6.02	10.44	6.92
10	5.54	5.06	7.98	5.62
11	5.33	4.70	7.02	3.17
12	4.62	3.33	4.12	1.93



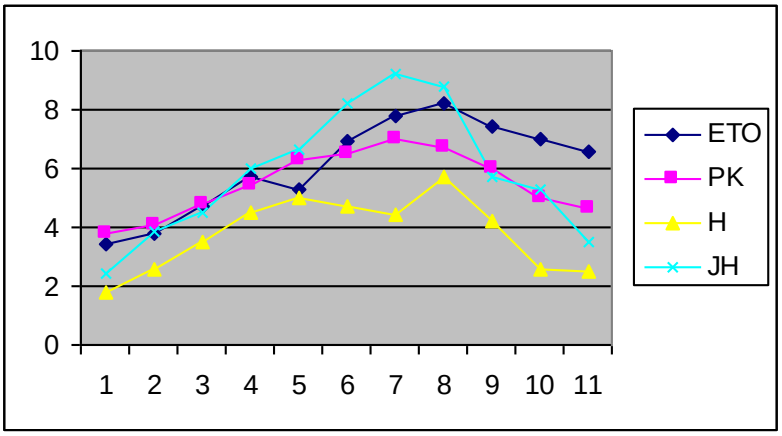
شكل رقم (1) تمثيل بياني للمعادلات حسب النتائج بمحطة ارصاد طرابلس

2- محطة أرصاد سرت:

عند التدقيق في النتائج المتحصل عليها فكان متوسط البخر النتح القياسي في مدينة سرت حوالي 6mm/day وكانت معادلة (PC) أعطت متوسط 5.30 إلى أقل بمقدار (-11.7%) ثم معادلة (JH) بمقدار 5.53 ومعادلة (HA) كانت تقل بمقدار (-39%) وعند تأمل مقدار جودة التقدير يلاحظ أن معادلة (PC) هي الأقل متوسط الخطأ القياسي والأعلى ارتباطا (R) وكذلك التدفق (D) والأكثر كفاءة تليها معادلة (JH) ثم معادلة (HA) ويلاحظ عدم توفيق هذه المعادلة في منطقة سرت جدول (2) وشكل(2).

جدول (2) محطة سرت

Mon	ETO	PK	H	JH
1	3.40	3.82	1.81	2.41
2	3.80	4.04	2.54	3.83
3	4.72	4.79	3.50	4.52
4	5.68	5.45	4.51	5.97
5	5.31	6.26	4.99	6.61
6	6.92	6.52	4.68	8.25
7	7.76	6.98	4.46	9.22
8	8.19	6.69	5.74	8.80
9	7.42	6.03	4.18	5.72
10	7.00	5.02	2.55	5.28
11	6.56	4.64	2.47	3.47
12	5.24	3.41	1.96	2.23



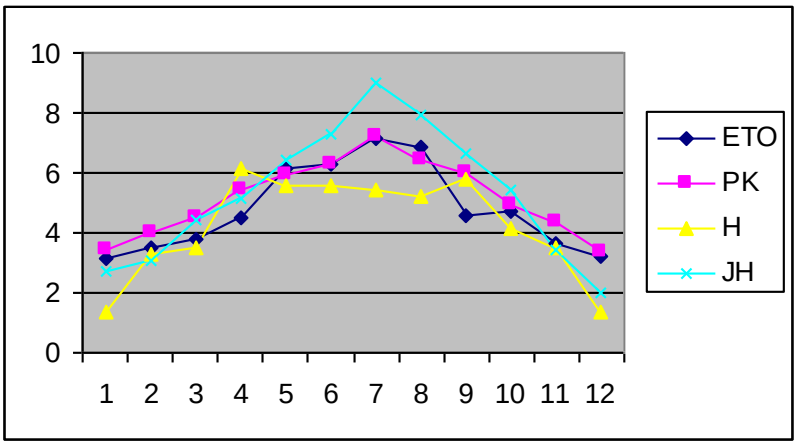
شكل رقم (2) تمثيل بياني للمعادلات حسب النتائج بمحطة ارصاد سرت

3- محطة أرصاد طبرق:

عند تأمل النتائج في هذه المنطقة الأكبر نسبياً من غيرها يلاحظ أن معادلة (PC) كانت الأقل في متوسط الخطأ القياسي والأفضل من حيث الكفاءة والتوافق وإن كانت أقل من غيرها في معامل الارتباط الإحصائي (R). وإنه لوحظ في هذه المنطقة قراءة (PC) تزيد بمقدار (7.3%) عن المعادلة المعيارية ومعادلة (JH) فكانت تزيد بمقدار (10.2%) ومعادلة (HA) كانت تقل بمقدار (-11.7%) وبالفعل كانت هذه المنطقة مناسبة للطرق الثلاثة.

جدول رقم (3) محطة الطبرق

Mon	ETO	PK	H	JH
1	3.13	3.46	1.38	2.71
2	3.51	3.99	3.26	3.04
3	3.81	4.52	3.48	4.44
4	4.53	5.46	6.11	5.15
5	6.14	5.92	5.54	6.42
6	6.26	6.31	5.54	7.31
7	7.15	7.18	5.46	8.98
8	6.85	6.42	5.20	7.92
9	4.56	6.02	5.80	6.63
10	4.71	4.91	4.11	5.41
11	3.67	4.36	3.53	3.46
12	3.23	3.34	1.37	1.97



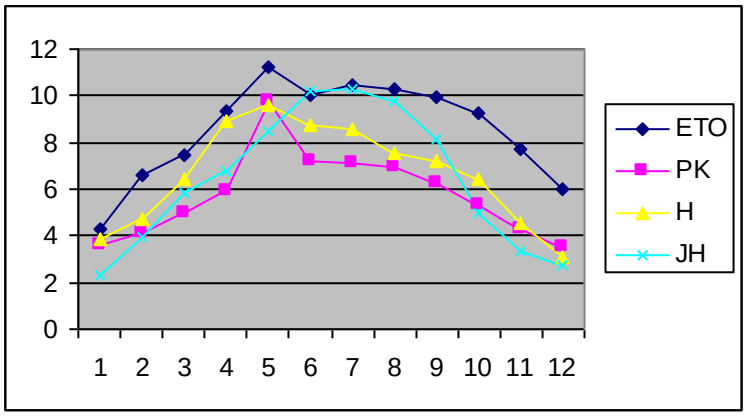
شكل رقم (3) تمثيل بياني للمعادلات حسب النتائج بمحطة ارصاد طبرق

4- محطة أرصاد الكفرة:

يلاحظ في هذه المنطقة الشديدة الحرارة أن معادلة (PC) كانت تقل بمقدار (7.7%-) أما معادلة (HA) كانت تقل بمقدار (7.8%-) ، أما معادلة (JH) كانت تزيد بمقدار (8.0%+). ولكن مقدار متوسط الخطأ القياسي مرتفعاً نسبياً ثم معادلة (HA) وأقلها في معادلة (PC) ثم (JH) وحيث لوحظ أن دليل الكفاءة و التوافق غير مناسب معامل الارتباط الإحصائي جميعهم غير مناسبه كما مبين في جدول (4) و الشكل (4).

جدول رقم (4) محطة الكفرة

Mon	ETO	PK	H	JH
1	4.28	3.60	3.84	2.35
2	6.62	4.14	4.69	3.96
3	7.46	5.00	6.40	5.79
4	9.33	5.93	8.91	6.73
5	11.27	9.80	9.58	8.52
6	10.00	7.21	8.73	10.18
7	10.50	7.12	8.60	10.26
8	10.30	6.92	7.52	9.77
9	9.92	6.23	7.23	8.11
10	9.25	5.32	6.46	5.00
11	7.68	4.31	4.56	3.32
12	6.04	3.53	3.06	2.77



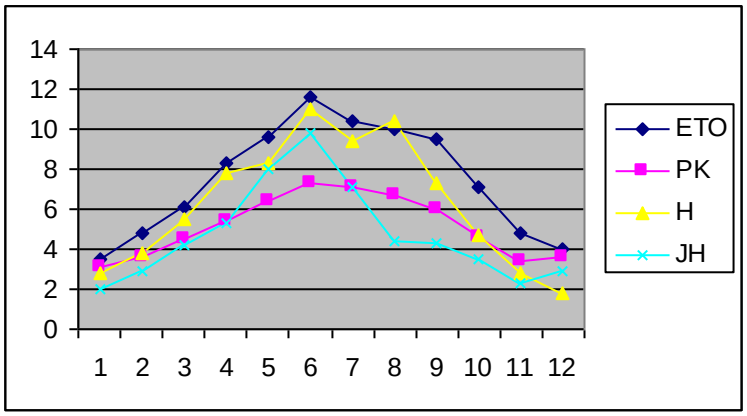
شكل رقم (4) تمتيل بياني حسب نتائج المعادلات بمحطة ارصاد الكفرة

5- محطة أرصاد سبها:

بالنظر إلى النتائج المتحصل عليها في هذه المنطقة يلاحظ عدم توافق المعادلات المختبرة و لوحظ أن معادلة (HA) كانت الأفضل نسبياً حيث كانت تقل بمقدار (-11.4%) وبلاني وكريدل تقل بمقدار (-30%) و (JH) تقل بمقدار (-36.5%) ولكن مقدار الخطأ في هارغريفز عالي نسبياً ثم (JH) والأفضل (PC).

جدول رقم (5) محطة سبها

Mon	ETO	PK	H	JH
1	3.53	3.14	2.79	2.041
2	4.85	3.65	3.82	2.93
3	6.11	4.48	5.46	4.21
4	8.33	5.43	7.78	5.31
5	9.65	6.37	8.33	7.96
6	11.56	7.33	10.96	9.81
7	10.39	7.13	9.45	7.13
8	9.98	6.67	10.45	4.40
9	9.50	5.96	7.33	4.27
10	7.11	4.56	4.70	3.52
11	4.84	3.41	2.77	2.33
12	4.05	3.62	1.77	2.88



شكل رقم (5) تمتيل بياني للمعادلات حسب النتائج بمحطة ارصاد سبها

معايرة الطرق السابقة:

تمت معايرة الطرق السابقة باستخدام معادلة الانحدار الخطي البسيط وإيجاد علاقة خطية بين المعادلات ومعادلة (FMP) وكانت المعادلات كما هو مبين في الجدول (6). ومع ملاحظة ان المعادلات عند معظم المعاملات تقل عن واحد الصحيح وهذا يعني أن المعادلات تفتقد لبعض العناصر الهامة للوصول للصورة المثالية ولكن تبقى هذه المعادلات ذات جودة جيدة لأنها ليست كبيرة و عند التعويض بها تصل للتقدير الصحيح.

جدول رقم (6) يوضح جودة تقدير المعادلات المختبرة

المعايرة	قيم الجودة المقدرة				المعادلة	المنطقة
	R	D	EF	MEA		
$ET_a = 0.308+1.913\ ET_0$	0.8975	0.8431	0.7883	1.326	PC	
$ET_a = -0572+0.884\ ET_0$	0.8998	0.8931	0.7689	2.561	HA	مطار
$ET_a = 0.693+1.552\ ET_0$	0.8847	0.8641	0.7134	1.773	JH	طرابلس
$ET_a = 0.64+1.124\ ET_0$	0.8870	0.8561	0.783	0.975	PC	سرت
$ET_a = -2.267+2.259\ ET_0$	0.8280	0.8002	0.608	2.381	HA	
$ET_a = 0.483+0.998\ ET_0$	0.8650	0.8361	0.687	1.312	JH	
$ET_a = 0.450+0.987\ ET_0$	0.9428	0.7880	0.7751	0.986	PC	طبرق
$ET_a = 0.246+0.876\ ET_0$	0.9643	0.7112	0.7331	1.895	HA	
$ET_a = 0.122+1077\ ET_0$	0.9161	0.7034	0.7281	1.242	JH	
$ET_a = 0.204+1.388\ ET_0$	0.8949	0.8743	0.7783	1.034	PC	الكفره
$ET_a = 0.755+1.103\ ET_0$	0.8716	0.7871	0.6334	3.103	HA	
$ET_a = -0.297+1.262ET_0$	0.9360	0.7633	0.6421	1.896	JH	
$ET_a = 0.190+1.475\ ET_0$	0.8967	0.8431	0.6531	1.105	PC	سبها
$ET_a = 1.610+0.871\ ET_0$	0.8903	0.8131	0.6615	2.387	HA	
$ET_a = 0.085+1.463\ ET_0$	0.8973	0.8221	0.6656	1.905	JH	

عند التدقيق في البيانات ومعرفة طبيعة المحطات وفكرة إعداد المعادلة يلاحظ أن المعادلات الثلاثة تم إنجازها في جنوب الولايات المتحدة وهي معادلة نصف تجريبية أي تحتوي على بعض الثوابت التي تم الحصول عليها من خلال معايرتها في مناطق إعدادها و لوحظ انها بالأساس تعتمد على متوسط درجة الحراره ولكن تم إدخال عدد ساعات السطوع الشمسي كمتوسط شهري في معادلة (PC) وعدد ساعات السطوع الفعلية لمعادلة (JH) والمدى الحراري المتمثل في الفرق بين درجة الحرارة العظمى والصغرى لمعادلة (HA) وكمية شعاع الشمس الواصل لسطح الأرض. وهي معادلات تفتقد لعنصر الرطوبة النسبية والأيروديناميكية كما لا تأخذ في الاعتبار بعض العناصر الجغرافية للموقع من حيث ارتفاع خط العرض (ابوخالد و اسماعيل 1982) (4). لذلك نلاحظ أنها لم تعطي نتائج جيدة في المناطق القريبة من الساحل بسبب نسيم البر والبحر الذي يحدثه حركة الرياح اليومية (FAO24)(1) ، كما أن الرطوبة ذات تاثير كبير في إنقاص النتح البخر القياسي. أما حركة الرياح لها تأثير فعال في زيادة النتح البخر ,أما منطقة سبها فهناك ما يسمى بالتأفق (Advection) وهذا يحدث في منطقة الواحات (Oasis) حيث هناك حركة جانبية من المناطق المجاورة للامكان الخاصة في المناطق الصحراوية وذلك بانتقال الحرارة بشكل أفقي محدثة طاقة إضافية لا يمكن حسابها بالمعادلات المذكورة تسمى الطاقة العرضية (Advective energy) وهو ما أشار اليه كل من (Hanks and Ashcroft 1980)(22) وهو ما لوحظ في منطقة سبها أما محطة الكفرة قد تكون محمية إلى حد ما(Rosenber1970) (4). بقي أن نشير إلى هذه النتائج التي تتفق الي حد كبير مع ما أشار إليه (Dingman 2006)(23) والتقرير الذي قدمته منظمة الفاو (FAO56) وكذلك التقرير الذي قدمه(Liu et al 2006)عندما جرب (15) طريقة وأشار إلى أن (PC) كانت الأفضل للطرق الحرارية و (JH) هي الأفضل في الطرق الحرارية الإشعاعية أما جمعية المهندسين المدنيين الأمريكيين (ASCE) ذكرت في تقريرها الذي قدمته افضل طريقة (HA) على عداها من الطرق الحرارية. و لفهم المعادلات بدقة أكبر ومعايرتها بطريقة أفضل لابد من معايرة كل شهر على حدة إحصائياً ورياضياً.

أولا: المراجع العربية:

1. المنظمة العربية للتنمية الزراعية ، 1997 ، تعزيز استخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة مياه الري ، الخرطوم.
2. الهئية العامة للمياه ، 1999 ، دراسة حول الاحتياجات المائية المحصولية والحقلية للمزروعات الأكثر أهمية بالدوله الليبيا.
3. اللجنة الفنية لدراسة الوضع المائي المكلفة من اللجنة الشعبية العامة ، 1999 ، دراسة الوضع المائي والاستراتيجية الوطنية لإدارة الموارد المائية.
4. أنطوان أبو خالد وحميد إسماعيل ، 1982 ، الاحتياجات المائية الزراعية في الوطن العربي ، ندوة عن العوامل المؤثرة على موازين المياه العذبة والمالحة في الوطن العربي التي عقدها اتحاد مجالس البحث العلمي العربية في بغداد.
5. تورك ، 1964 ، مأخوذ من عبد الرحمن غيبة ، 1997 ، محاضرة عن التوازن المائي لطبقة الجذور وعلاقته بالخواص الفيزائية للتربة ، دورة الري التكميلي للمهندسين الزراعين ، طرابلس – ليبيا.
6. سعد الغرياني ، 1997 ، محاضرة عن الاحتياجات المائية الزراعية وطرق تقديرها ، دورة تدريبية عن الري التكميلي للمهندسين الزراعيين ، طرابلس – ليبيا.
7. محمود السلاوي ، 1989 ، هيدرولوجية المياه السطحية ، منشورات الدار الليبية للنشر والتوزيع والإعلان.

8. نجيب خروفة ، 1985 ، مأخوذ من المنظمة العربية للتنمية الزراعية ، 1997، تعزيز استخدام الرصد الجوي الزراعي في إدارة مياه الري ، الخرطوم.
9. ليث خليل إسماعيل ، 1988 ، الري والبزل ، منشورات جامعة الموصل.
10. نبيل الطيف ، عصام الحديثي ، 1988 ، الري أساسياته وتطبيقاته ، منشورات جامعة بغداد.
يحيى الشافعي ، 1983 ، محاضرة عن احتياجات الري ، دورة تدريبية في ترشيد استخدامات المياه في الزراعة ، الخرطوم.

ثانيا: المراجع الأجنبية:

1. FAO. (1977) Crop water requirements. Irrigation and drainage paper no. 24, FAO, Roma – Italy.
2. Jensen, M. E. (1968). Water consumption by Agricultural plants .In water deficits and plant growth. Vol. TI Academic presses New York.
3. Penman, H. L. (1948) Natural Evaporation from open water. Bare soil and grass Royal ser. London Proc, Soc. A. 193. 120 – *145*
4. Rosenberg, N. J., and powers. (1970). Potential for evapotranspiration and its manipulation in the plain region. Proceeding of the symposium on evapotranspiration in the. Great plain. Great plain Agricultural council publication No. 50: 275 – 300.
5. Wilson, E . M. (1969). Engineering Hydrology, Macmillan, London.
6. Hargreaves, G. H., Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. . Applied Eng. in Agric. 1(2): 96 – 99
7. Priestley, C. H. B, Taylor, R. J. (1972).On the assessment of surface heat fluxes and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review. 100: 81–92.
8. Neto, S. J. (2015). Reference evapotranspiration estimates based on minimum meteorological variable requirements of historical weather data.
9. Niu. C. (2012). Estimation and Comparative Analysis of DailyReference Evapotranspiration Based on Different Input Combinations and Different Models.
10. Allen, R. G. Periva, L, Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration Guidelines for computing crop water Requirements, FAO Paper (56).Rome Italy.
11. Hargreves, G. and Samani (1982). Reference crop evapotranspiration from temperature, Transaction of ASAE (12):96-99.
12. Montgomery. D. C. (2005). Design and Analysis of Experiments. John Wiley and Sons. Inc-N.Y.

13. Allen, R. G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration:guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56, Rome, Italy.

14- Kumar, M., N. Raghuwanshi, R. Singh, W. Wallender and W. O. Pruitt. (2002) . Estimating evapotranspiration using Artificial Neural Network. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128: 224-233.

15- Zanetti, S., E. Sousa, V. Oliveira, F. Almeida and S. Bernardo. (2007). Estimating evapotranspiration using Artificial Neural Networks and minimum climatological data. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133: 83-89.

16- Sudheer, K., A. Gosain and K. Ramasastri. (2003). Estimating actual evapotranspiration from limited climatic data using Neural Computing Technique. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129:214-218.

17- Chauhan, S. and R. K. Shrivastava. (2009). Estimating reference evapotranspiration from limited climatic data using Artificial Neural Networks. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 15: 34-44.

18- Chowdhary, A. and R. K. Shrivastava. (2010). Reference crop evapotranspiration estimation using Artificial Neural Networks. International Journal of Engineering Science and Tec.

19- Vermeiren, L., Jobling, G.A., 1980. Localized Irrigation: Design, Installion, Operation, Evaluation. FAO Irrigation and Drainage Paper.hnology, 9:4205-4212.

20- Taylor , M.D (2012) Hydrologg of Engineering , and ed . Cambridge UK : Cambridge Univ . Press .

21- Chojie , R , Dilong .M and smith , Z (2021) Estimalion of daily actual cvaptvans pivalion from remotely sensed data . J . Remo . sen . (29) : 3295 - 3315 .

22- Hanks ,R.J,and Ashcroft (1980) Applied Soil physics , Advanced series in Agricultural sciences (8)Springer – Verlag , New York.

23- Dingman, S. D (2006) Physical Hydrologg,. Prentice Hall, Englewood cliffs, Now Jersey.

24-Stanhill.G(2012)Evapotranspiation In Reference Module in Earth systems , Elesevier :Amsterdam.Netherland.

25- Liu,B.J,.Sha, D.G and Shen,L (2006) the Analysis of Reference crop Eveptranspiration Methods , J.Dra. Eng (25) ;9-12.