تقدير الانفضاج التبخري لواحة تدمر بطريقة موازنة الطاقة «دراسة تحليلية و تجريبية»

سمر نديم سمعان[1] ومحمود السباعي[1] وجان بيير برونيل[2]

(2) قسم الهندسة المائية ـ كلية الهندسة المدنية ـ جامعة البعث ـ حمص
[2] معهد بحوث التطوير (IRD) ـ فرنسا

تاريـخ الإيداع 2004/01/23
قبل للنشـر في 2004/05/30

الملخص

أجريت حسابات مستمرة للانفضاج التبخري (ET أو LE) باسـتخدام طريقـة Eddy Covariance وطريقة موازنة الطاقة خلال أكثر من سنة فوق غطاء نباتي غير متجانس في نظام بيئي يمثل واحة جافة في وسط صحراء سورية. إن طريقة الري السائدة هي الغمر التقليدي، وبتـواتر لتوزيـع الميـاه كـل 28يوماً. ركز العمل على دراسة التغيرات الفصلية لموازنة الطاقة خلال سنتين، مع تركيز خـاص علـى تأثيرات الهطول المطري، وسرعة الرياح، والموازنة الإشعاعية على الانفضاج التبخري. كان الانفـضاج التبخري الأعظمي فقط $5\ mm.day^{-1}$. لقد ظهر التأثير المهم لأمطار الشتاء في LE حتى في أثناء تطبيق الري. بينت مقارنة حالتين مختلفتين في حزيران2002 وحزيران 2003 وجود زيادة بمقدار 13% في قيم LE/ Rn-G. لقد وجدت القيم الأعظمية للمتوسطات الساعية للانفضاج التبخري عند سرعة رياح قرابـة $3m.s^{-1}$. يشير هذا إلى أنه عندما يتجاوز المتطلب التبخري للهواء (أو عجز ضغط بخار الماء vpd) حداً معيناً يغلق النبات مساماته بهدف تقليل معدل فقد الماء بالنتح. أظهرت نتائج التحقق من موازنة الطاقـة وجود فروقات معنوية في ميل علاقة H+LE مقابل Rn-G بين الشهر الحار والشهر البارد، ويعزى ذلك إلى الموازنة الإشعاعية الخاصة بالمناطق الصحراوية.

الكلمات المفتاحية: الانفضاج التبخري، التبخر، النـتح، موازنـة الطاقـة، طريقـة Eddycovariance.

Estimation of Evapotranspiration of Palmyra Oasis by Energy Balance method «Analaitical and Experemental Study»

Samar. N. S[1]., M. Al-Sibai[1] and J. P. Brunel[2]

[1] Department of Hydrolic Engineering-Faculty of Ciril Engineering-Al Baath University- Homs
[2] Institute of Research for Development (IRD)- France

Received 23/01/2004
Accepted 30/05/2004

ABSTRACT

Continuous calculations of evapotranspiration (LE) using eddy covariance method and energy budget were performed over more than one year above the heterogeneous canopy of an arid oasis ecosystem in the central Syrian desert. Irrigation practice was traditional flooding with a 28 days turn of water delivery. The work focuses on seasonal variations of energy budget over a 2 years period with emphasis on effects of rainfall, wind speed and radiative budget on evapotranspiration. Maximum evapotranspiration was only 5mm/day. Even under irrigation practices, winter rainfall seems to have an important impact on LE: comparisons of two situations in June 2002 and June 2003 showed an increase of 13% in values of LE/Rn-G. Maximum averaged hourly values of evapotranspiration were found for wind speed values closed to 3m/s. This suggests that when the evaporative demand from the air (or vapour pressure deficit (vpd)) is increasing above a certain limit, the vegetation closes its stomata and reduces transpiration. Results from the energy balance closure showed significant differences in the slope of H+LE against Rn-G relationships between cold and hot month which was explained by specific radiative budget of desert areas.

Key Words: Evapotranspiration, Evaporation, Transpiration, Energy Balance, Eddy covariance methode.

المقـدمـة

أدت الواحة ولعدة قرون في الوطن العربي دوراً أساسياً في تاريخ الـشعوب، فلقـد كانت ممراً أساسياً للقوافل التجارية، ومركزاً ثقافياً مهماً. لا تزال الواحة حتى هذه الأيـام تمثل مورداً مهماً وأسلوباً في الحياة بالنسبة للبدو المرتبطة أصولهم بهذه المناطق الجافة. وتعد الواحات أيضاً وسيلة تمكن الدولة من توطين البدو الرعاة التقليـديين فـي منـاطق يتوافر فيها الماء اللازم لسقاية الماشية وري المراعي. وأصبحت الواحات مؤخراً وبشكل متزايد مقصداً سياحياً رائجاً «السياحة الخضراء» وخصوصاً إذا كانت تحوي بالإضـافة إلى ذلك إرثاً ثقافياً عالمياً فريداً كما هو الحال في واحة تدمر. تخضع نتيجة ذلك مثل هذه الأنظمة البيئية الهشة إلى ضغوطات النشاط البشري الهائل، بالإضافة إلى الجهـل بآليـة عمل هذه الأنظمة البيئية.

ضغوطات النشاط البشري على المصادر المائية في الواحة :

لا يتجاوز معدل الهطول المطري السنوي في منطقة تدمر أكثر من 120mm، وتعتمد كل الفعاليات في المنطقة على مصادر المياه الجوفية غير المتجددة.

لا تحدث ضغوطات الاستهلاك البشري على هذه المـصادر الجوفيـة فقـط ضـمن المساحة المزروعة من الواحة نفسها، بل أيضاً في منطقة السهب المحيط، وتتمثـل هـذه الضغوطات بشكل رئيس بما يأتي:

1. ري المساحات المزروعة الحالية في الواحة والامتداد المتزايد للمساحات المروية.
2. الاستخراج المتزايد للمياه في منطقة السهب من أجـل سـقاية الماشـية وخاصة الأغنام (والتي تصدر إلى معظم البلاد العربيـة وهـي الأغنـام السورية «عواس» ذات النسل الأصيل وذات القيمة المرتفعة)، وأيضاً من أجل ري المراعي.
3. تطور السياحة المرتبط بالمواقع الأثرية الشهيرة حيث تعد تدمر من أكثر الأوابد الأثرية أهمية في القطر العربي السوري.
4. مشروع معالجة فلز الفوسفات على بعد 30 km من الواحة .

تؤدي ندرة المياه ذات النوعية الجيدة، وعدم انتظام الهطـولات المطريـة، والتغيـر الزماني والمكاني في توزيع المياه للفلاحين، وفي تطبيقات المياه الحاليـة، إلـى تـدهور التربة (التملح) والمصادر المائية، وإلى انخفاض إنتاجية الأنواع النباتية وتدهور التنـوع الحيوي.

وسيتم العمل على استبدال طرق الري التقليديـة «الغمـر» بطـرق الـري الحديثـة «التنقيط»، وذلك من أجل زيادة كفاءة استخدام المياه، وترشيد استهلاك المياه، وتقليل كمية المياه الموزعة على الفلاحين، وزيادة المساحة المروية.

أهـداف البحث وطرائقه

أهداف المشروع العام :

الهدف العام للمشروع هو إيجاد أجوبة للأسئلة الآتية:

1 ـ ما كمية المياه التي تحتاجها فعلاً المساحات المروية. وبتعبير آخر هل نستطيع تقدير وبشكل دقيق كمية المياه المستهلكة من قبل الزرع؟ كيف يستخدم الزرع هذه الميـاه بـأعظم كفاءة ممكنة (كمية المياه ونوعيتها – تواتر الري... من أجل كل فصل ومرحلة نمو).

2 ـ هل نستطيع استخراج مياه ذات نوعية أفضل من الطبقة الجوفية الحاملة للميـاه بشكل مستدام؟.

3 ـ كيف ستكون تأثيرات تطبيقات الري الجديدة في موازنة الطاقة، الموازنة المائية، والموازنة الجيوكيميائية للواحة؟.

أهداف الدراسة الحالية:

إن الدراسة الحالية هي جزء فقط من فعالية بحث أشمل يهدف إلى فهم وتحليل أسباب وتأثيرات تدهور المصادر الإقليمية، المياه، التربة، الزرع الطبيعي، إنتاجيـة المحـصول والتنوع الحيوي.

يتمركز مشروعنا بشكل رئيس على تقييم التفاعل ما بين الغـلاف الجـوي و سـطح التربة Surface – atmosphere interaction هذه الدراسة مهمة جداً أولاً لأنهـا تـشكل أساساً لفهم آلية الحركة الدورانية (circulation) العامة في الغلاف الجوي وسبل نمذجتها، ومن ثم فهم التبدلات المناخية الكلية، والتصحر (*kustas et al* ,1991). وتطبيقيـاً فإنهـا تشكل وسيلة لمعرفة مقدار كمية المياه المستهلكة فعلياً من قبل الزرع، ووسيلة لدراسـة تأثيرات طرق الري المختلفة في هذا الزرع، وفي كفاءة استخدام الماء.

تركز الدراسة على المزروعات في «الواحة القديمة»، وكيف تستخدم هذه المياه ومـا هي كميتها في المرحلة الحالية في ظل تطبيق الري التقليدي الغمر وذلك من خلال دراسة الانفـضاج التبخـري الفعلـي (يـدعى أيـضاً التبخـر ـ النـتح الفعلـي) - actual evapotranspiration وموازنة الطاقة energy budget وفق مقياس حقلي (هكتارات).

عند تغيير طريقة الري، فإن على الزرع أن يتواءم مع الطريقة الجديدة فـي توزيـع المياه وتوافرها لمجموعة الجذور. ونظراً لأنه زرع قديم ـ بشكل رئيس أشجار زيتـون

وأشجار نخيل تمر ـ فيمكن على الأغلب توقع تغييرات في عمل النظام البيئـي والـذي سيؤثر في موازنة الطاقة بالإضافة إلى الموازنات المائية والجيوكيميائية .

لتتبع التغيرات على المدى الطويل سيكون الهدف الثاني من هذه الدراسة هـو إيجـاد علاقات بين الانفضاج التبخري الفعلي المقيس (ET) والانفـضاج التبخـري المرجعـي (ETo) (وهو مؤشر مناخي، يمكن أن يحسب من معطيات المناخ، وهو يعبر عـن قـوة التبخر للغلاف الجوي في موقع ووقت محددين من السنة) المحسوب إما من صيغة بنمان penman -(1956) أو بلاني –كريدل Blaney_ Criddel (1962) عن طريق اسـتخدام المعطيات المناخية المسجلة ولعدة سنوات في محطة الأرصاد الجوية في تدمر. وسـيتم تقدير معاملات المحـصول Kc ‘crop coefficients’ مـن أجـل الواحـة بوصـفها كمحصول واحد (*Fao / unesco* ,1973).

وصف الموقع:

تتوضع منطقة الدراسة إلى الجنوب والجنوب الشرقي من مدينة تدمر، تقريبـاً بـين خطي عرض 34° و35° شمالاً، وخطي طول 38° و39° شرقاً، فـي وسـط الـصحراء السورية. تنتمي هيدرولوجياً إلى حوض تدمر الذي تبلغ مساحته ($4860\ Km^2$)، وتتضمن جغرافياً ثلاث وحدات: الواحة، سبخة الموح والسهب. التشكيلات الجيولوجية للمنطقة هي عبارة عن توضعات من الصخور الكلسية الدولوميتية العائدة إلـى الحقبـين الجوراسـي والكريتاسي متكشفة في السلسلة التدمرية التي يصل ارتفاعها إلى m 1400-900، أما في المنطقة السهلية (يبلغ ارتفاعها عن سطح البحر ـ في مركز السبخة ـ 370m) فتتكشف توضعات أحدث تعود إلى الحقب النيوجيني والبالوجيني والربـاعي. باسـتثناء المـساحة المروية والسبخة المغمورة جزئياً، فإن نباتات السهب الطبيعية هي حولية وتتميز بقـصر دورة حياتها، مما يجعل سطح التربة صحراء رملية وحصوية خالية من النبت الأخـضر معظم أيام السنة.

المناخ متوسطي جاف، ويتسم بالمواصفات المناخية الآتية:

الهطول المطري السنوي 120mm، متوسط درجة الحرارة الـسنوية 18.6°، درجـة حرارة الشهر الأكثر برودة 2.4°، درجة حرارة الشهر الأكثر حرارة 37.8° .

توجد طبقتان جوفيتان حاملتان للمياه: الأولى سطحية ومالحـة هـي مـن رواسـب العصر النيوجيني والحقب الرابع، والطبقة الثانية تحوي مياهاً ذات نوعية جيـدة عميقـة وقديمة (بعمر 15000-20000) سنة .

تبلغ مساحة الواحة كاملة قرابة 1000 ha. الزراعات الرئيسة الموجـودة فيهـا هـي أشجار زيتون 000 250 شجرة، أشجار نخيل 000 70 شجرة، أشـجار رمـان 000 80 شجرة وأشجار فواكه أخرى متنوعة 000 25 شجرة. يروى فقط 200 ha بمياه ذات نوعية

جيدة. لا تسمح المصادر المائية المتاحة حالياً للفلاحين بزراعة المحاصيل الحقلية الحولية مثل القمح والشعير .

يتوضع موقع القياس في حديقة خاصة (34^o 32’ 34” N – 38^o 16’ 12” E) مختـارة داخل الواحة بحيث تكون أنموذجاً جيداً ممثلاً لكامل الواحة.

مواد البحث وطرائقه

يمثل الانفضاح التبخري فوق المسطحات الخضراء، سواء كانت مزروعة (محاصيل، أشجار ......) أم طبيعية، مجموع الماء المفقود بالتبخر المباشر من التربة وبـالنتح مـن النباتات، وبذلك يعكس الانفضاح التبخري كمية المياه المستهلكة بشكل فعلي من الـزرع وأيضاً بفعل تطبيقات الري. لا يشكل الانفضاح التبخري السبيل الوحيد لتبادلات الطاقـة بين السطح (مزروعاً كان أم لا) وبين الغلاف الجوي، بـل تحـدث مبـادلات للحـرارة المحسوسة مع الغلاف الجوي بالحمل الحراري convection (H)، بالإضافة إلى مبادلات الحرارة بواسطة التوصيل (النقل) conduction (G) إلى داخل اليابسة.

تم في هذه الدراسة حساب الانفضاح التبخري من القياسات المنجزة من برج بارتفـاع 14m فوق اليابسة .

تمت أعمال مماثلة فوق زرع طويـل (*Schuepp et al* 1990, *Unland et al*, 1995) أظهرت أن قياساتنا هي نموذجية لمساحة يبلغ نصف قطرها 300- 500 m حول البرج.

لقد استخدمنا في هذه الدراسة مجموعة أجهزة و طريقتين مستقلتين من أجـل قيـاس وحساب الانفضاح التبخري ومعاملات انتقال الطاقة الأخرى، وهاتـان الطريقتـان همـا طريقة موازنة الطاقة energy budget وطريقة eddy covariance.

أ ـ القياسات الميترولوجية في موقع الواحة

من برج القياسات بارتفاع 14m المشيد في موقع الواحة، تم قياس المؤشرات الآتية:

ـ تذبذبات المركبة الشاقولية لسرعة الرياح باستخدام مقياس سرعة ريـاح صـوتي CSAT3 3D sonic anemometer (Campbell)

ـ تذبذبات درجة حرارة الهواء باستخدام مزدوجـات حراريـة دقيقـة FW05 fine thermocouples

ـ تذبذبات رطوبة الهواء باسـتخدام مقيـاس رطوبـة كريتـون KH20 krypton hygrometer (Campbell),

ـ الإشعاع الصافي باستخدام مقياس الإشعاع الـصافي NR-LITE net radiometer (Kipp & Zonen),

كما تم قياس جريان الحرارة إلى داخل التربة باستخدام صفائح جريان الحرارة HFP01 heat flux plates (Hukseflux)

أجريت القياسات بشكل مستمر، حيث قيست المؤشرات المذكورة كل 20 ثانية، وأخذت المتوسطات كل 15 دقيقة وخزنت باستخدام مسجل المعطيات CR23 Campbell data logger .

ب ـ مبدأ القياسات

ـ قياسات رطوبة الهواء

يتألف مقياس الرطوبة من أنبوبين شاقوليين يتوضع أحدهما بشكل مضاد للآخر ومفصولين عن بعضهما بفتحة 1cm بحيث تسمح للهواء الرطب أن ينتشر بحرية. يحتوي الأنبوب السفلي منبعاً مشعاً (غاز الكربتون) يصدر حزمة أعظمية عند 123.58 نانومتراً وحزمة أصغرية عند 116.49 nm. تتخامد هذه الأشعة بشدة ببخار الماء في حين يكون الامتصاص من قبل أي غاز آخر ضعيفاً نسبياً من أجل طول الموجة هذه.

يحتوي الأنبوب العلوي كاشفاً يقيس تخامد شدة أطوال الموجات المنبعثة من الأنبوب السفلي. يتناسب هذا التخامد وكمية بخار الماء الموجودة في الهواء المنتشر بين الأنبوبين.

ـ قياس سرعة الرياح

تم باستخدام مقياس سرعة رياح صوتي ثلاثي الأبعاد. يقيس الجهاز سرعة الرياح عن طريق قياس سرعة الصوت وفق ثلاثة محاور غير متعامدة. تحول بعدئذ إلى مركبات متعامدة u_x, u_y, u_z. يحتوي كل محور مجسين يواجه أحدهما الآخر في تضاد، يصدر كل مجس إشارة فوق صوتية باتجاه المجس المضاد، وبالعكس في الاتجاه المعاكس.

ـ الإشعاع الصافي وجريان الحرارة إلى داخل الأرض

الإشعاع الصافي Net radiation (Rn)

يمكن كتابة الموازنة الإشعاعية فوق السطح كما يأتي:

$$Rn = aRg + L_d - L_u$$

حيث Rn الإشعاع الصافي، a عامل الألبيدو، Rg الإشعاع الشمسي الكلي قصير الموجة على سطح أفقي، L_d الإشعاع طويل الموجة المتجه للأسفل وL_u الإشعاع طويل الموجة المتجه للأعلى.

قيست Rn مباشرة باستخدام مقياس الإشعاع الصافي net radiometer NRLITE (Kipp and Zonen). حيث يركب سطحا امتصاص للطاقة مؤلفان من التفلون الأسود black Teflon بشكل أفقي وبحيث يتضاد أحدهما مع الآخر. يحتوي كل سطح عدة مزدوجات حرارية thermocouples موصولة بشكل متسلسل لتشكل بطاريتين حراريتين thermopiles متضادتين. يؤمن هذا التصميم شدة كهربائية voltage تتناسب والفرق في الطاقة المستقبلة من قبل السطحين .

جريان الحرارة إلى داخل الأرض بالتوصيل:

تمت القياسات باستخدام صفائح جريان الحرارة، وهي تعمل وفقاً لمبدأ مقياس الإشعاع الصافي نفسه، تم استخدام صفيحتين: واحدة مطمورة على عمق 3cm تحت سطح تربة جرداء، والأخرى على عمق 3cm تحت سطح تربة مغطاة بالأشجار.

ج ـ طريقة حساب الانفضاح التبخري الفعلي

يمكن أن يحسب الانفضاح التبخري الفعلي بعدة طرق (*Brutsaet*,1982)، لكن الطريقة الأكثر دقة من أجل زرع طويل وغير متجانس هي طريقة Eddy Covariance المترافقة مع طريقة موازنة الطاقة (*Desjardin et al* .,1992; *Lee*, 1998).

موازنة الطاقة:

يشكل التبخر (الانفضاح التبخري) صلة الوصل بين موازنة الطاقة وبين الموازنة المائية.

في معظم الحالات، عندما يمكن إهمال الطاقة الاشعاعية المستخدمة في ذوبان الثلوج والتركيب الضوئي وانتقال الحرارة الجانبي advection، فإن معادلة موازنة الطاقة هي:

$$Rn = LE + H + G$$

Rn الإشعاع الصافي من أجل السطح المدروس.
E الانفضاج التبخري (أو التبخر) [mm] .
L الحرارة الكامنة للتبخر (تستخدم للتعبيرعن الانفضاج التبخري كطاقة).
H جريان الحرارة المحسوس بالحمل الحراري convection إلى الغلاف الجوي.
G جريان حرارة التربة بالتوصيل conduction.

يمتص معظم الإشعاع الكلي القادم قرب سطح الأرض، ويحول إلى طاقة داخليـة. إن تجزئة هذه الطاقة الداخلية إلى إشعاع طويل الموجة ينبعث عائداً إلى الغـلاف الجـوي، وحرارة صاعدة وحرارة ممتصة من قبل الأرض، أو إلى انفضاج تبخري، هي واحدة من آليات العمل الرئيسة المسؤولة عن الانتقالات في الغلاف الجوي.

قياس جريانات الحرارة وبخار الماء باستخدام طريقة ''Eddy covariance'':

استخدمت طريقة **'Eddy covariance'** مـن أجـل قيـاس جريـان بخـار المـاء (الانفضاج التبخري) والحرارة المحسوسة.

تم قياس الانفضاج التبخري الفعلي actual evapotranspiration من البرج، والـذي هو مجموع مركبتين من منشأ مختلف: التبخر المباشر الذي يأتي إما من الماء الموجـود في التربة أو الماء المتبقي على سطح التربة في أثناء الري أو بعده أو الأمطار الغزيـرة مباشرة. والمركبة الثانية هي النتح من الزرع.

ـ المبدأ النظري لطريقة Eddy covariance:

تعتمد الطريقة في تحديد الجريانات المضطربة لبخار الماء والحرارة المحسوسة على حساب التباين covariance للمؤشرات T (درجة حرارة الهواء)، q (الرطوبة النوعية)، u_z (المركبة الشاقولية للرياح)(*Swinbank*, 1951 ; *Priestley*, 1959 ; Dyer, 1961) .

لنعتبر متغيراً جوياً نريد حساب الجريان الشاقولي له. لتكن **S** التركيـز فـي واحـدة الكتلة لهذا المتغير، **W** المركبة الشاقولية لسرعة الرياح و **ρ** كثافة الهـواء. إن الجريـان اللحظي لهذا المتغير عبر سطح أولي أفقـي هـو **ρWS** (بإهمـال الانتقـال الجزيئـي بالانتشار). يمكن التعبير عـن **W** و $\overline{S}$ بقيمهـا الوسـطية **W** و**S** والتذبـذبات حـول الوسطي**'w** و **'s**. وذلك وفقاً لرينولدز Reynolds :

$$W = \overline{W} + w'$$

$$S = \overline{S} + s'$$

ومن ثم يمكن كتابة الجريان الوسطي لـ **S** عبر سطح أفقي بالشكل :

$$\overline{Fs} = \rho\overline{WS} = \overline{W}\,\overline{S} + \rho\,\overline{w'\,s'}$$

بافتراض أن ρ ثابتة وأن $\overline{W}$ سرعة الرياح الشاقولية الوسطية تساوي صفر. عندئذ:

$$\overline{Fs} = \rho\,\overline{w'\,s'}$$

والتي هي المعادلة الأساسية لعلاقة الجريان المضطرب للمتغير الذي اعتبـر تذبـذب تركيزه هو s' .

بتطبيق طريقة **Eddy covariance** على جريانات بخار الماء والحرارة المحسوسة:

$$E = \rho \; cov\,(u_z' , q')$$

$$H = \rho C_p \; cov\,(u_z' , T')$$

E الجريان الشاقولي لبخار الماء .

H الجريان الشاقولي للحرارة المحسوسة

u_z' حد التذبذب للمركبة الشاقولية للرياح $(u_z = \overline{u_z} + u_z')$

q' حد التذبذب للرطوبة النوعية $(q = \overline{q} + q')$

T' حد التذبذب لدرجة حرارة الهواء $(T = \overline{T} + T')$

Cp الحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت .

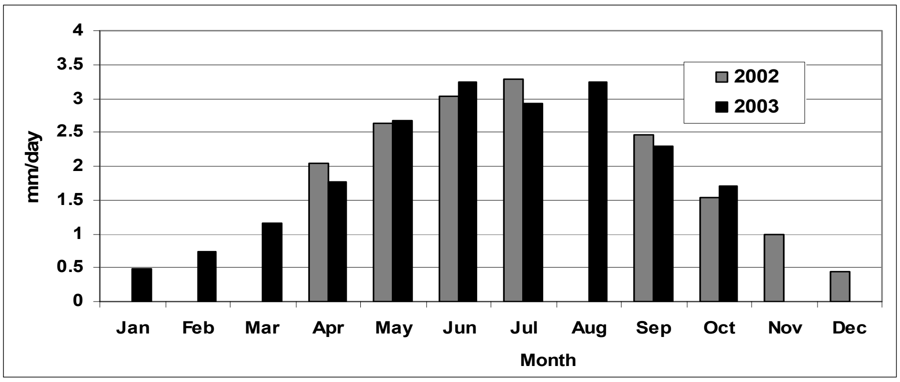
ترتكز مجموعة المعادلات هذه على فرضيتين :

1. إن الانتقال بالانتشار الجزيئي هو مهمل مقارنة مع الانتقال المـضطرب وذلـك الافتراض صحيح باستثناء حالة طبقة صفحية رقيقة من عدة ملليمتـرات قـرب الأرض .
2. تفترض كثافة الهواء ثابتة وذلك مقبول عموماً من أجل الجريانـات فـي طبقـة الغلاف الجوي السطحية .

النتائج والمناقشة

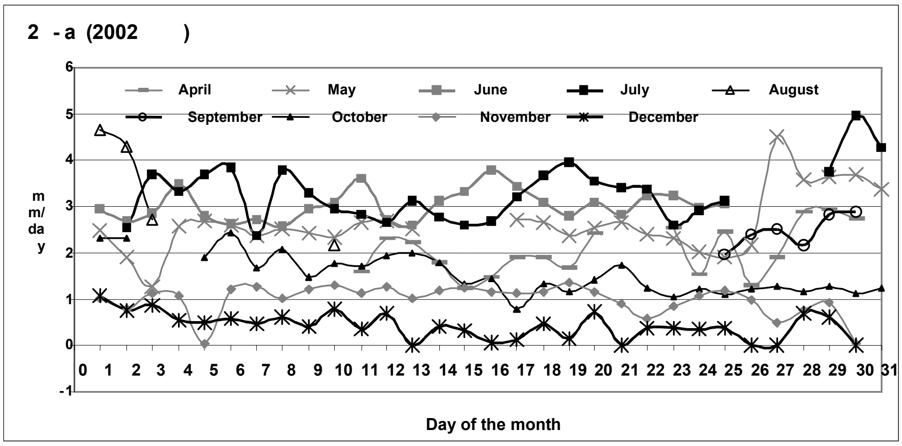
1 ـ التغيرات الفصلية للانفضاج التبخري والحدود الأخرى لموازنة الطاقة :

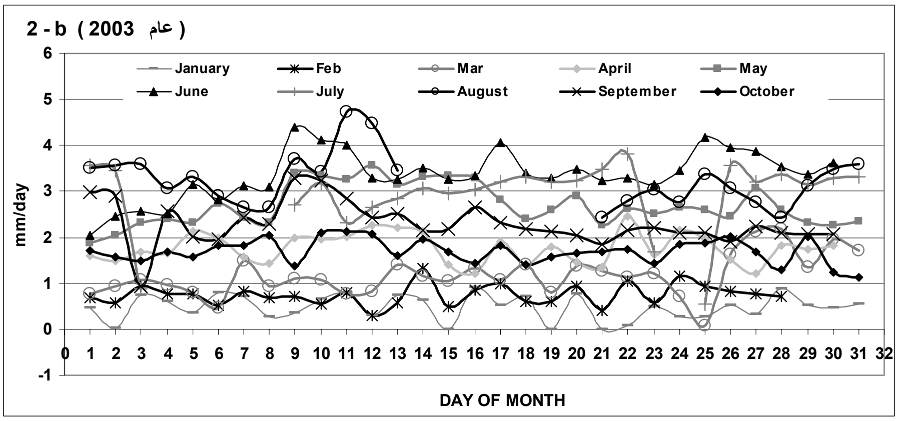
ـ **الانفضاج التبخري:** يظهر الشكل (1) قيم المتوسطات الشهرية للانفضاج التبخري، والتي تتراوح بين $0.5 mm.day^{-1}$ في الشتاء (كانون الأول ـ كانون الثاني) و $3.5 mm.day^{-1}$ في ذروة الصيف.



الشكل (1) قيم المتوسطات الشهرية للانفضاج التبخري اليومي لعامي 2002 و2003 في واحة تدمر.

تظهر التغيرات اليومية لـ ET (التي هي الانفضاج التبخري LE نفسه) لعام 2002 و2003 (الشكل 2 a-b) تموجات دورية والتي ستشرح بتأثيرات الرياح فيما بعد (الشكل 8)، كما لا يظهر الانفضاج التبخري اليومي قيماً أكبر من $5 mm.day^{-1}$ في ذروة فصل الصيف .



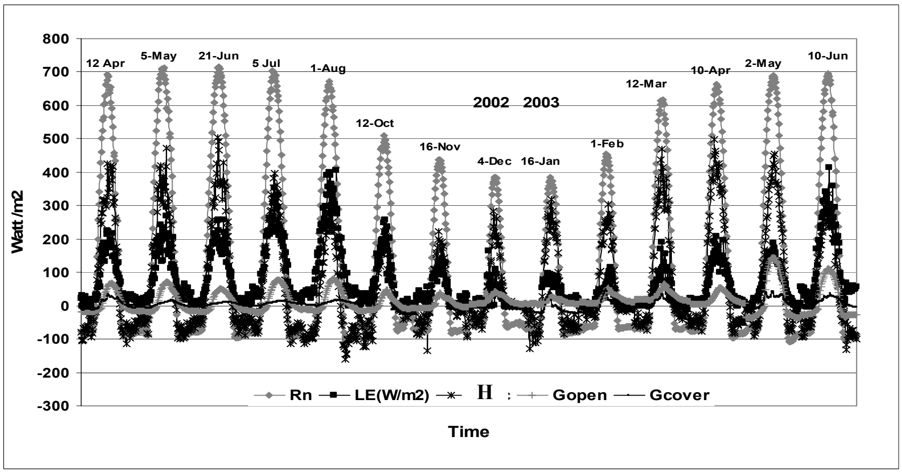


الشكل (2) a وb التغيرات اليومية للانفضاح التبخري ET لعام 2002 و2003 في واحة تدمر.

ـ **بالنسبة لحدود موازنة الطاقة الأخرى:** اخترنا من أجل كل شهر يوماً ذا قيمة انفضاح تبخري أعظمية غير غائم والذي عرضت من أجله قيم الإشعاع الصافي، الجريانات الكامنة والمحسوسة وجريان حرارة التربة (الشكل 3).

أ ـ الإشعاع الصافي Rn: ظهر الإشعاع الصافي ثابتاً نوعاً ما من نيسان إلى آب بقيمة يومية أعظمية $700W.m^{-2}$. تناقصت هذه القيمة حتى $400W.m^{-2}$ في الشتاء في كانون الأول وكانون الثاني. وقد وجدت القيم المتوسطة بين هاتين القيمتين في أيلول، تشرين الأول، شباط، آذار. بالطبع عندما تكون السماء غائمة أو في أثناء حدوث هطول مطري، فإن هذه القيم هي أقل بشكل ملحوظ، ويؤدي التشتت عندها دوراً مهماً (حيث

يؤدي وجود الغيوم إلى تشتت الإشعاع الشمسي ومن ثم تقلل من الطاقة المتاحة). وكانت القيم السالبة الأعظمية في أثناء الليل أقل تفاوتاً بكثير متراوحة بين $W.m^{-2}$ 80- إلى 120- $.W.m^{-2}$



الشكل (3) التغيرات الفصلية لحدود موازنة الطاقة لعام 2002 و2003 في واحة تدمر.

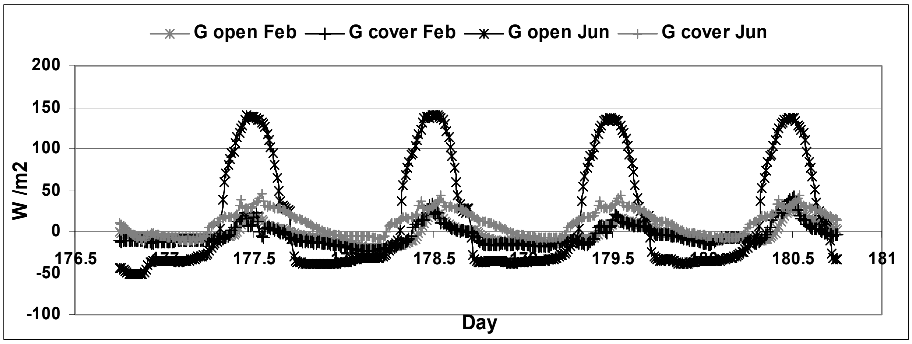
ب ـ جريان الحرارة إلى داخل التربة G: إن جريان الحرارة إلـى داخـل التربـة بالتوصيل هو مقدار موجب في أثناء النهار لأن اكتساب الحرارة من قبـل التربـة مـن الخارج هو أكبر من فقدان الحرارة من التربة، ويحدث العكس في أثناء الليل مؤدياً بـذلك إلى قيم سالبة للمؤشر G .

يظهر الشكل (4) مثالاً عن تغير جريان حرارة التربة من أجل تربة جـرداء *Gopen* ومن أجل تربة مغطاة بالأشجار *G cover* من أجل فترتين مختلفتين من السنة في شـباط وحزيران من عام 2003:

من أجل السطح تحت غطـاء الـشجر لا يوجـد تفـاوت بـين شـباط وحزيـران *G cover* $=25 – 50\ W.m^{-2}$. يدل هذا على أن مقدار الموازنة الحراريـة يبقـى ثابتـاً طوال السنة، حيث يؤدي الغطاء النباتي طوال السنة دور غطاء واقٍ للتبادلات الحراريـة بين التربة والغلاف الجوي.

من أجل سطح التربة الجرداء فالحال مختلف تماماً. تكون الموازنة الحرارية في أثناء الشهر الحار موجبة بشدة في أثناء النهار بسبب مقدار الحرارة الكبير المـزود بالتـسخين المباشر للتربة من قبل أشعة الشمس الحادة. في أثنـاء النهـار تمثـل متوسـطات قـيم

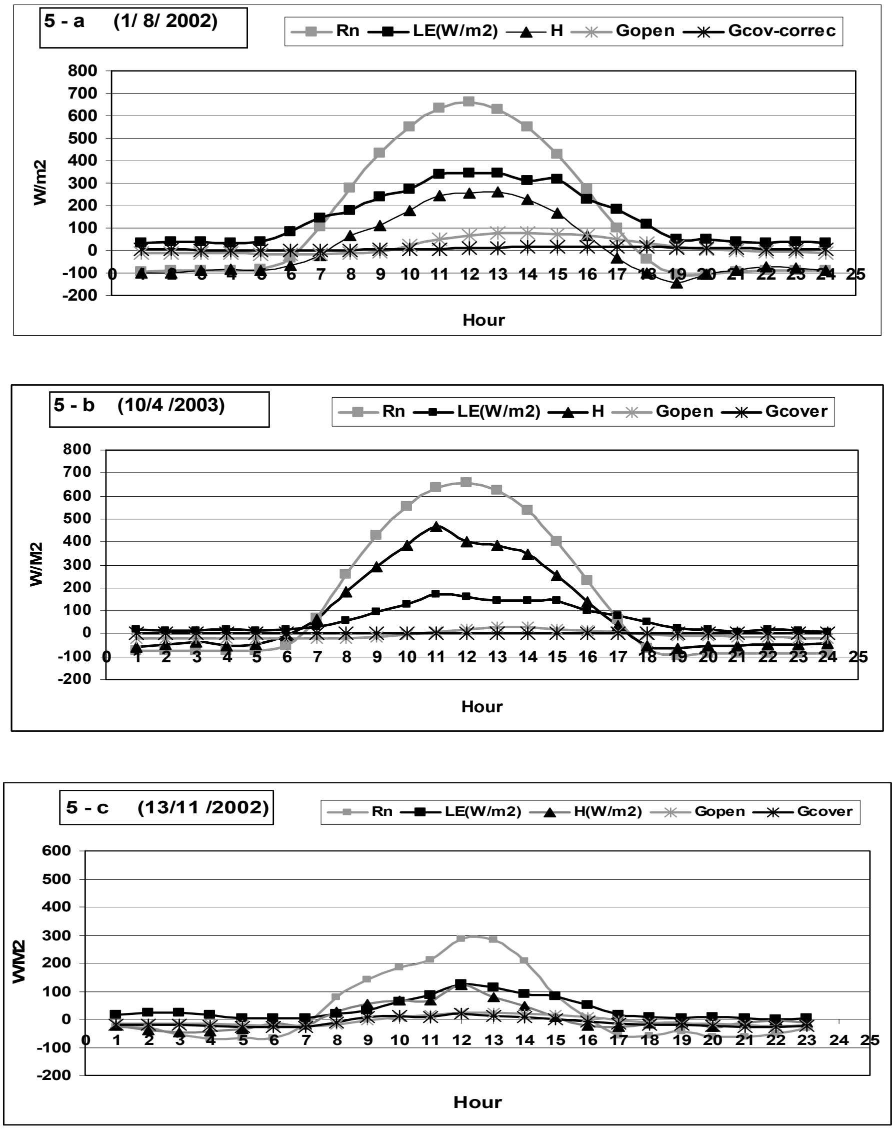
G open قرابة % 20 من متوسط الطاقة المتاحة Rn. أعظم قيمة تم الوصول إليها كانت قريبة من $150\ W.m^{-2}$ (في شهر حزيران). حدث في أثناء الليل (كما هـو عـادة فـي المناطق الصحراوية) فقدان شديد في الحرارة بسبب السماء الـصافية والهـواء الجـاف، كانت القيمة الأصغرية قرابة $40\ W.m^{-2}$ –. إن تغيرات *Gopen* في أثناء الشهر البـارد هـي أقـل أهميـة بكثيـر منهـا فـي الـصيف، وقـد تراوحـت القـيم $-25\ W.m^{-2} < G\ open\ maximum < +25\ W.m^{-2}$.



الشكل (4) مثال عن تغير جريان حرارة التربة في تربة جـرداء *Gopen* وفـي تربـة مغطـاة بالأشجار *G cover* خلال فترتين مختلفتين من السنة في شهري شباط وحزيران من عام 2003.

ج ـ جريان الحرارة المحسوس: تسمح أيام الذرى المختـارة، (الـشكل3) بوصـف حالات مختلفة في الأيام 2002/ 12/4, 12/3/2003, 10/4/2003 و2/5/2003. حيث تقترن القيم العليا لجريان الحرارة المحسوس (H) التي تصل إلـى قرابـة $500\ W.m^{-2}$ بـالقيم المنخفضة نسبياً لجريان الحرارة الكامنة أو الانفضاج التبخري (LE) التـي تـصل إلـى قرابـــــــــــــــــــــــــــــــــــــة $200\ W.m^{-2}$. بالنسبة ليوم نموذجي في الشتاء 16/01/2003 فإن القيمة الأعظمية لـ H قريبة جداً من Rn (على التوالي $300\ W.m^{-2}$, $400\ W.m^{-2}$) مظهرةً أن معظـم الطاقـة المتاحة تستخدم من أجل تسخين الهواء. ويمكن ملاحظة حالة أخرى مثيرة للاهتمام وهي التغيرات المتزامنة لـ H و LE في 5/5/02 أو 21/6/02 و5/7/02 و1/8/2002 حيـث إن القيم الأعظمية لـ H تتناقص من $500\ W.m^{-2}$ إلى $300\ W.m^{-2}$، في حـين تتزايـد القيم الأعظمية لـ LE من 250 إلى $400\ W.m^{-2}$، وتصبح LE أكبر من H في أول آب ذلك بسبب ازدياد نشاط الزرع وحجم فعالية المسطح الورقي الأخضر ابتداء من شهر أيار وحتى شهر أيلول (مرحلة الإثمار)، وبسبب زيادة المتطلب التبخري للجو (زيادة التـدرج في الجهد المائي بين الوسط المحيط والنباتات بسبب الجفاف وارتفاع درجـة الحـرارة) مما يؤدي إلى زيادة معدل فقد الماء بالتبخر والنتح.

تعطى تفاصيل القيم الساعية في الشكل (5 a وb) من أجل يـومين 1/8/02، 10/4/03 من هذه الأيام المختارة في الشكل (3).



الشكل (5) a وb وc تفاصيل القيم الساعية لموازنة الطاقة خلال يومين a:1/8/02 و10/4/03 :b ويوم غائم في c:13/11/02.

يظهر الشكل (5 ـ a) أن الانفضاح التبخري الأعظمي في 1/8/02 هو أكبر بمقـدار 100 $W.m^{-2}$ من جريان الحرارة المحسوس. ويظهر أيضاً أن الانفضاح التبخـري يبـدأ مسبقاً بمقدار ساعة قبل أن تتوافر أي طاقة (Rn لا تزال سالبة)، ويستمر مؤخراً بمقـدار ساعة أيضاً بعد أن تصبح Rn سالبة في المساء. أما في 10/4/03 فنجد حالـة معاكـسة مبينة جريان حرارة أعظمي ($450\ W.m^{-2}$) وهو تقريباً ضعف جريان الانفضاج التبخري ($< 200\ W.m^{-2}$)، وفي كلتا الحالتين كانت الطاقة المتاحة Rn هي نفسها($650\ W.m^{-2}$) .

مثال آخر في الشكل (5 ـ c) يظهر القيم الساعية لموازنة الطاقة من أجل يوم غـائم في تشرين الثاني 2002.

حيث يمكن ملاحظة القيمة المنخفضة للطاقة المتاحة ($Rn <300\ W.m^{-2}$) ومـن ثـم القيمة المنخفضة لجريان الحرارة المحسوس (H) والانفـضاج التبخـري (LE) قرابـة ($120\ W.m^{-2}$) والقيمة المنخفضة جداً لجريان حرارة التربة قرابة ($20\ W.m^{-2}$) .

2 ـ تأثير الهطول المطري في الانفضاج التبخري:

يمكن تسجيل ملاحظات أخرى بمقارنة الفترة نفسها من السنة من أجل سنتين مختلفتين (2002 و2003) لكي نختبر تأثير نموذج الهطول المطري في المياه المستخدمة من قبـل النظام البيئي بسبب اختلاف كميات الهطول المطري بشكل كبير في أثنـاء شـتاء عـام 2001 - 2002 وشتاء عام 2002 - 2003. اختيرت الفترات في فـصل الربيـع حيـث يفترض أن يكون نشاط الزرع في ذروته: 17-25 حزيران 2002 و8-17 حزيران 2003 الشكل (6 ـ a وb).

الجدول (1) معدلات الهطول المطري

العام	2001/2002	2002/2003
تشرين الأول حتى أيار	91.0 mm	176.1 mm
نيسان + أيار	22.7 mm (2002)	3.6 mm (2003)
حزيران	0	0

يظهر نموذج الهطول المطري المبين في الجدول (1) ما يأتي:

- كان الهطول المطري أكثر بمقدار مرتين خلال الفصل الماطر في أثناء 2002-2003 منه في الفصل الماطر في أثناء 2001-2002.
- كان الهطول المطري في أثناء الشهر الذي يسبق مباشرة الفترة المختـارة 22.7 mm في شهري نيسان وأيار من عام 2002، ولكن كان فقط 3.6 mm خلال الشهر نفسه من عام 2003 .
- لم تكن هناك أمطار خلال شهر حزيران.

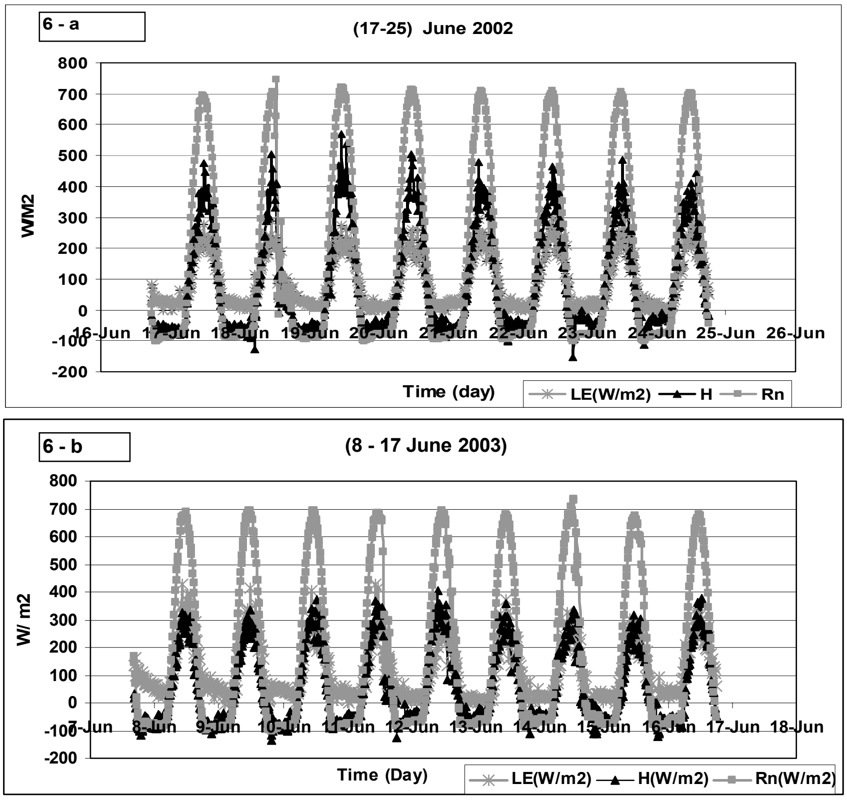
الجدول (2) a وb القيم اليومية للنسبة LE/Rn-G من أجل الفترات المختـارة مـن حزيـران 2002 وحزيران 2003.

حزيران 2002	18	19	20	21	22	23	24	25	المتوسط
LE/Rn-G	0.39	0.41	0.39	0.36	0.42	0.42	0.40	0.38	0.39

حزيران 2003	9	10	11	12	13	14	15	16	17	المتوسط
LE/Rn-G	0.58	0.56	0.53	0.51	0.45	0.48	0.52	0.53	0.55	0.52

تعبر نسب LE/Rn-G عن النسبة المئوية للطاقة المتاحة (Rn-G) والتي استخدمت من أجل الانفضاج التبخري (LE) .

يظهر الجدول 2a,b أن الانفضاج التبخري يمثل معدل % 39 من الطاقـة المتاحـة بالنسبة لفترة حزيران 2002 و52% من الطاقة المتاحة بالنسبة لفترة حزيران 2003 .



الشكل (6) a وb موازنة الطاقة خلال الفترتين (17-25) من شهر حزيـران 2002 و (17-8) من شهر حزيران 2003 .

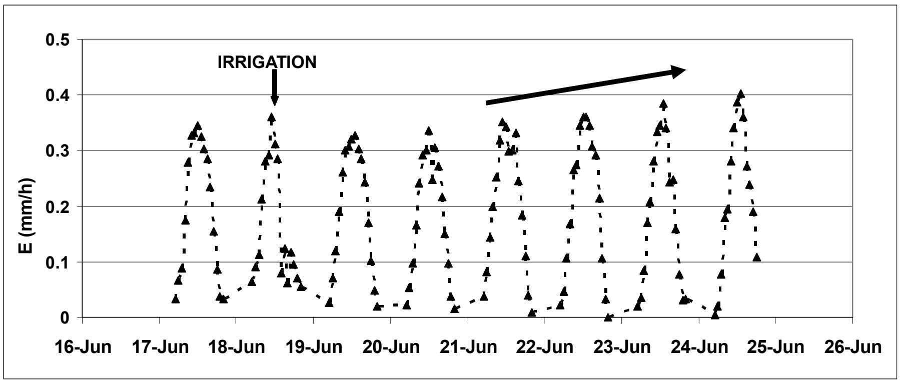
نلاحظ من الشكل (6 ـ a وb) أن الطاقة المتاحة كانت نفسها تقريباً قرابة $700 W.m^{-2}$ لهاتين الفترتين 25-17 حزيران 2002 و 17-8 حزيران 2003 وكان الانفضاح التبخـري في الفترة 25-17 حزيران 2002 قرابة $300 W.m^{-2}$ أقل منه في الفتـرة 17-8 حزيـران 2003 الذي بلغت قيمته حتى $400 W.m^{-2}$ مما يعكس أهمية الأمطـار المتـوافرة للنبـات (بزيادة التبادل الحراري عن طريق الانفضاح التبخري، لما له من تأثير مبرد cooling effect في أجزاء النبات الهوائية) فقد كانت الأمطار في عـام 2002– 2001 أقـل مـن أمطار عام 2003- 2002 .

استنادا إلى النتائج السابقة، يمكن صياغة الاستنتاجات الآتية :

أظهرت هذه النتائج أنه حتى في ظل تطبيقات الري (عادة يبدأ الري فـي آذار) فـإن كمية المياه المستهلكة من قبل نباتات الواحة قد ازدادت بشكل كبير عندما هطلت كميـات كبيرة من الأمطار في أثناء الشتاء السابق ووفرت بعض المياه (كما لاحظنا فقـد كانـت كميات الهطول المطري خلال العام 2002-2001 أقل منها خلال العام 2003-2002 فـي حين كانت كميات الأمطار خلال شهري نيسان وأيار (الفترة التي تسبق مباشرة بدء نشاط الزرع) من عام 2002-2001 أكبر منها للفترة نفسها من عام2003-2002 ومع ذلك كـان توافر المياه للنباتات ومن ثم كميات الانفضاح التبخري خلال فترة المقارنة وهي في شهر حزيران من العام 2002 أقل منه خلال الفترة نفسها من العام 2003، أي عندما تكون كمية أمطار الشتاء كبيرة فإنه يمكن تخزين بعضها في التربة وتكون متاحة لمجموعـة جـذور الزرع في الفترة اللاحقة.

3 ـ تأثير تطبيق الري في الانفضاح التبخري:

في جزء الواحة حيث تمت دراستنا (الواحة القديمة)، يتم الري بطريقة الغمر التقليدي. يسلم الماء وفقاً للقانون التقليدي «دورية المياه». بالنسبة لهذا الجزء مـن الواحـة يـستلم الفلاحون من محطة الضخ الرسمية ماء يتم ضخه خلال 13 دقيقة لكل دنم (0.1 hectare) كل 28 يوماً. يصل معدل التدفق في رأس الشبكة قرب محطة الـضخ تقريبـاً $100 L.s^{-1}$ لكن يصعب تقدير ضياع المياه خلال مسير 2-3 km في قنوات مكشوفة. تم مؤخراً إنشاء هدار لقياس التدفق في مدخل موقع الدراسة لكن المعطيات لا تزال غيـر كافيـة. لكـن الفلاحين ـ المقتدرين ـ يشترون الماء من آبار جيرانهم الخاصة. وحتى هذه الكميـات يصعب تقديرها. ينفذ حالياً مشروع بحث آخر وهو دراسة وتقدير التغيـر فـي رطوبـة التربة في موقع الحقل باستخدام جهاز TDR وتنـسيومترات Tensiometers، وعنـدما تتوافر المعطيات سيتم تقدير المياه التي تدخل إلى موقع الحقل.



الشكل (7) التغيرات الساعية للانفضاح التبخري بين 25 - 17 حزيران 2002 .

ما هو ملفت للنظر بالنسبة لدراسة تأثير الري هو ردة فعل الـزرع للميـاه الـواردة. يظهر الشكل (7) التغيرات الساعية للانفضاح التبخري بين (25-17) من شهر حزيـران 2002. تم تسليم المياه في18 حزيران قبيل منتصف النهار بقليل، يمكن ملاحظـة علـى المخطط في الشكل (7) القفزة الكبيرة في معدل الانفـضاح التبخـري بـسبب التبخـر المباشر من سطح التربة بعد الغمر. بدأ الانفضاح التبخري من الزرع يزداد بشكل فعلـي بعد3 أيام من الغمر في 21 حزيران. أظهر هذا تأخراً بين الري وبين استخدام المياه مـن قبل الأشجار والذي يشكل دليلاً عملياً على أن الكثافة الأعظمية لجـذور الأشـجار هـذه تتوضع على عمق كبير معين داخل التربة قد يصل حتى عمق 7-8 m (2000، بربندي).

يجب أن تؤخذ هذه الحقيقة المهمة بالحسبان عند تغيير نظام الري .

4 ـ تأثير الرياح في الانفضاح التبخري في الواحة:

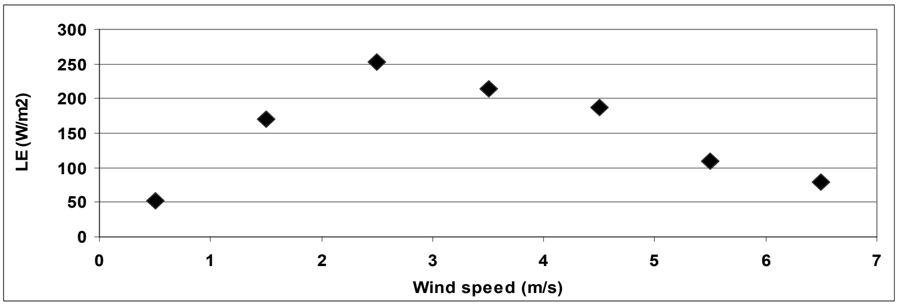
نظرياً وفي ظل إمكانية توافر استخدام المياه ومن أجل شروط الطاقة المتاحة نفـسها، يفترض أن يتغير الانفضاح التبخري وفقاً لسرعة الرياح ولنقص ضغط البخار في الهواء وفقاً لقانون دالتون **Dalton** :

$$\mathbf{Ea = (a + bU)\ (ew\text{-}ea)}$$

حيث **Ea** المتطلب التبخري من كتلة الهـواء(mb) ، **b, a** معـاملات، **U** ($m.s^{-1}$) سرعة الرياح على ارتفاع 2 m، **ew** ضغط البخار المشبع (mb) ، **ea** ضـغط بخـار الماء في الهواء (mb) (*Brutsaert*, 1982) .

من أجل الشروط نفسها بالنسبة لرطوبة الهواء (أو نقص ضغط البخار) والتي تحـدث دائماً في أثناء النهار، يجب أن يزداد الانفضاح التبخري خطياً مع سرعة الرياح، حيـث

تساعد الرياح في تجديد الهواء المحيط بأجزاء النباتات الهوائية، مما يخلق وبشكل مستمر تدرجاً أكبر في الجهد المائي أو ضغط بخار الماء مابين النباتات والوسط المحيط، فيزداد معدل الانفضاح التبخري.



الشكل (8) تأثير سرعة الرياح في الانفضاح التبخري ـ القيم الساعية النهارية للانفضاح التبخري LE مقابل قيم المتوسطات الساعية لسرعة الرياح خلال الفترة 17-8 من شهر حزيران 2003

أظهرت النتائج في الشكل (8) والتي تمثل القيم الساعية للانفضاح التبخري LE مقابل قيم المتوسطات الساعية لسرعة الرياح من أجل الفترة 17-8 حزيران 2003 أن الانفضاح التبخري يزداد بسرعة مع ازدياد سرعة الرياح حتى تصل سرعة الرياح قيمة تتراوح بين (2 - 3) $m.s^{-1}$، بعدئذ يبدأ الانفضاح التبخري بالتناقص في حين تستمر سرعة الرياح بالازدياد.

يدل هذا وبوضوح أنه عندما يصبح المتطلب التبخري للهواء كبيراً جداً، يزداد معدل فقد الماء بالانفضاح التبخري بشكل كبير، وتصبح كمية الماء المنتوحة من قبل النباتات أكبر من كمية الماء الممتصة من قبل الجذور لتعويض الماء المفقود بالانفضاح التبخري، فيعمد النبات للمحافظة على جهد الامتلاء داخل الخلايا النباتية إلى الحد من فقد الماء بالانفضاح التبخري عن طريق إغلاق مسامات الأوراق.

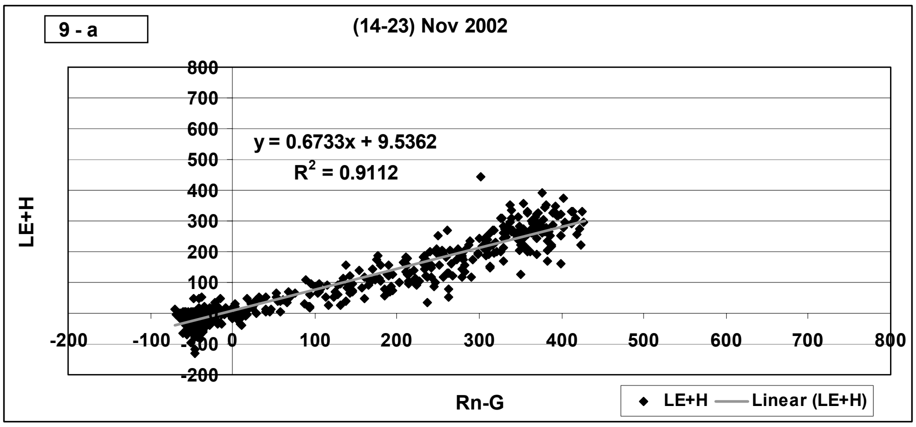
5 ـ تحقيق موازنة الطاقة وتفسيرها:

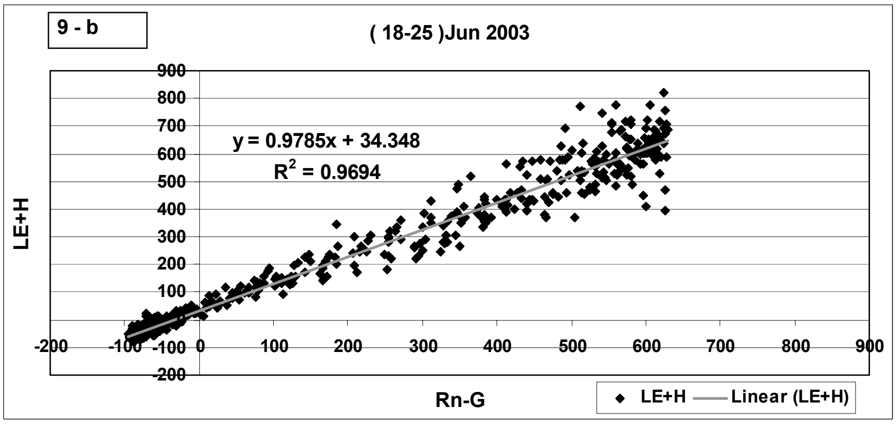
تم في هذه الدراسة قياس Rn, G, H, LE بشكل مستقل، مما يسمح بتفحص مدى تحقق موازنة الطاقة.

نظرياً ـ إن لم يكن هناك أي خطأ نظامي، أو خطأ في الأجهزة إضافة إلى ذلـك إن كان المدى نفسه أو تأثير السطح من أجل هذه المعاملات الأربع ـ فيمكن وفقـاً لمعادلـة موازنة الطاقة أن نكتب:

$$Rn - G = H + LE$$

يظهر الشكل (9 ـ a وb) مثالاً عن التحقق من موازنة الطاقة حيـث مثلـت H+LE مقابل Rn-G.





الشكل (9) a وb التحقق من موازنة الطاقة من أجل حالتين مختلفتين في السنة: تشرين الثاني 2002 وحزيران 2003

أظهر المثال وبوضوح أن المساواة السابقة ليست صحيحة بشكل مطلق. هنـاك عـدة أسباب لذلك وقد ذكرناها سابقاً: أخطاء الأجهزة والتي يصعب تقديرها وتحديـدها لأنهـا تتطلب مقارنات ما بين الأجهزة ومعايرة مستمرة وخاصة من أجل جهاز مقياس الإشعاع الصافي وسيكون هذا الخطأ كتقدير نموذجي ±5% إن كانت جميع الأجهزة قد ركبت وتمت معايرتها بشكل صحيح (*stannard et al* ., 1994; *Antoni et al* .,2000 ;*Culf et al* ., 2002).

سبب آخر لهذا الانحراف في المساواة هو متعلق بأبعاد المدى المتاح أو تأثير الـسطح في كل من أنواع الأجهزة: التي تقيس الطاقة المتاحة Rn وجريان الحرارة إلـى داخـل التربة G، والتي تقيس بخار الماء ET وجريان الحرارة المحسوس H .

يقيس مقياس الإشعاع الصافي net radiometer (كونه يقيس الطاقة المتاحة Rn) القيم الممثلة للطاقة المتاحة لسطح يتوضع مباشرة تحت الجهاز. وفي محاولة ليكون نموذجيـاً فقد ركّب هذا الجهاز بحيث يؤمن تغطية مزيج من التربة الجرداء والأشجار، لكن نصف قطر السطح المقاس هو صغير نسبياً (5m).

تتأثر الأجهزة التي تقيس H وLE (مقياس الرطوبة hygrometer ومقيـاس سـرعة الرياح الصوتي Sonic anemometer) بمواصفات الهواء (سرعة الرياح، درجة الحرارة والرطوبة) القادم من سطح أكبر بكثير (500m) (*Schuepp et al* 1990, *Unland et al*, 1995) وخاصةً عندما تأتي رياح جافة شديدة قادمة من الصحراء المحيطة (تأثير الانتقال الجانبي للحرارة advection الإقليمي). على سبيل المثال، في الصيف إن كمية إضـافية من الحرارة القادمة من الصحراء قد تسهم في زيادةH وLE في المعادلة لكن سـتبقى Rn نفسها أو قد تظهر تغيرات أصغر بكثير، من المحتمل بسبب الزيادة الصغيرة في درجـة حرارة السطح.

وبهدف التأكد من التأثير المحلي أو الإقليمي في تحقيق موازنة الطاقة، قمنا بمقارنـة العلاقات H+LE مع Rn-G من أجل حالتين مختلفتين في الـسنة: تـشرين الثـاني2002 وحزيران 2003. وكانت العلاقتان الخطيتان بالشكل:

من أجل تشرين الثاني 2002	$r^2 = 0.91$	$y = 0.67 x + 9.5$
من أجل حزيـــران 2003	$r^2 = 0.97$	$y = 0.98 x + 34.3$

حيث إن r (correlation) معامل الارتباط تعبر عن مدى تقارب العلاقة الخطية مع توزع النقاط، وكلما كان ميل العلاقة أقرب للواحد كانت المساواة في موازنة الطاقة أفضل (تتحقق الموازنة)، تظهر هذه النتائج أنه من أجل حالة حزيران فإن ميل العلاقة (slope) يقترب من الواحد أكثر منه في حالة تشرين الثاني حيث (0.67 = الميل).

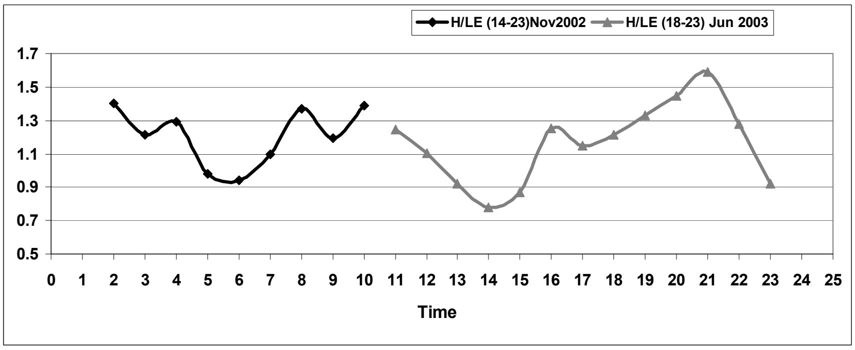
لقد كانت هذه هي الحال عموماً من أجل جميع الأشهر الباردة حيث كـان متوسـط الميل لهذه العلاقة هو 0.72 من أجل الفترة مابين تشرين الأول وحتـى شـباط وبتقـاطع intercept منخفض مساو $8.9\ W.m^{-2}$.

أما من أجل الأشهر الدافئة (من أيار وحتى آب) فإن متوسط الميل هو0.88 والتقـاطع أعلى هو 27 W/m2.

تعد نتائج التحقق من موازنة الطاقة مقبولة على الرغم من عدم تحقق الموازنة (y≠x) وذلك للأسباب المختلفة التي ذكرناها ووجود الانحراف الكبير نسبياً فيها خـلال الأشـهر الباردة فقد وجدت نتائج مشابهة من قبل شبكة عمل مواقع قياس الجريان في أمريكا:

the network of flux measurement sites in America (FLUXNET) – (*Wilson.K*, et al., 2002)

حيث كان الميل من أجل جميع المواقع وعددها 50 موقعاً أقل من 1، متراوحـاً بـين (0.53 و0.99)، وبوسطي يساوي0.01±0.79. وتراوح التقـاطع مـا بـين 32.9- و36.9 W.m^{-2}، وبوسطي يساوي 3.7±2.0W.m^{-2}. وكان معامل الارتباط (r^2) الوسطي مـساوياً 0.86، متراوحاً بين 0.64 و0.96.



الشكل (10) قـيم المتوسـطات اليوميـة لنـسبة بـوين Bowen ratio (H/LE) مـن أجـل (14-23) تشرين الثاني 2002 و 25- 18 حزيران 2003 .

يمكن أن نستنتج من ذلك إما أنه قد أبخس في تقدير قيمة (H+LE) أو أنه قد زيد فـي تقدير قيمة (Rn – G). بالأخذ بالحسبان البيئة المناخية (منطقة صحراوية)، فنحن نؤيـد افتراض الزيادة في تقدير قيمة (Rn – G)، بـسبب زيـادة قيمـة Rn. تتـصف البيئـة الصحراوية بسوية عالية من الإشعاع الشمسي، واختلافات كبيرة جداً في درجة الحـرارة بين الليل والنهار، وتكون الأشعة تحت الحمراء infra red radiation الليليـة الـصادرة من التربة ذات دور مهم بتأثيرها في تخفيض درجة حرارة سطح التربة التي تصل إلـى قيمة أصغرية في الصباح الباكر. في النهار، تؤمن أشعة الشمس الحادة قيماً عالية نـسبياً من الإشعاع الشمسي الكلي الوارد، ولكن ستبقى الأشعة تحت الحمراء الصادرة من سطح

التربة منخفضة بسبب الآلية التي شرحناها سابقاً، وتكون النتيجة التالية لذلك هي زيادة في Rn. في الشتاء يكون الاختلاف بين H+LE وبين Rn-G أكبر بسبب انخفاض الانفضاح التبخري بسبب خمول نشاط النبات وأيضاً انخفاضH بسبب التأثير الليلي الذي يشكل في أثناء الصباح طبقة من الهواء المستقر جداً قريبة من الأرض والتي تنقص وبشكل كبيـر الحركة الشاقولية للهواء وتبادل الحرارة وهذا ما أدى إلى قيمة ميل منخفضة في الشتاء.

تدعى النسبة (H/LE) نسبة بون **Bowen ratio** وهي تمثـل نـسبة جـزء الطاقـة المستخدم كجريان حرارة محسوسة إلى جزء الطاقة المستخدم في الانفضاح التبخري.

لا تظهر قيم نسبة بون **Bowen ratio** (H/LE) من أجل فترتين مختارتين هما فـي شهر تموز حيث يكون النبات في ذروة نشاطه والفترة الأخرى المختارة هي فـي شـهر تشرين الثاني الذي يمثل فترة خمول نشاط نباتات الواحة. كما في الـشكل (10) نمـاذج مختلفة كثيراً، فقد كانت سلسلتا القيم ضـمن المجـال[1.6–0.8] وهـي قـيم مقبولـة (*Brutsaert*, 1982).

النتـائـج

- تظهر القيم المنخفضة نسبياً للانفضاح التبخري احتمال عدم تلقي الأشـجار الكميـة المثالية من المياه (حيث كانت قيمة المتوسط الشهري لـ ET تساوي 3.5 mm.day^{-1} بينما القيمة المثالية للانفضاح التبخري وفق طريقة FAO هـي قرابـة 6mm.day^{-1} *(Allen etal.,1998)* سواء إن كان في كمية مياه الري أم في تواتر الري.
- أظهر رد فعل النبات لتطبيق الري الحالي تأثير التوضع العميـق لكثافـة الجـذور الأعظمية لهذه الأشجار (حتى 7-8 m) في تأخر وصول المياه إليها، ومن ثـم تـأخر الازدياد في النتح ومن ثم الانفضاح التبخري. عند التقدم في دراسة جريان المياه في التربة سيتم تحديد ذلك بشكل أكثر دقة. وهذه الحقيقة يجب أن تؤخذ بالحـسبان عنـد تغيير نظام الري.
- أظهرت قياسات موازنة الطاقة أنها وسيلة مفيدة جداً من أجـل معرفـة الانفـضاح التبخري، وفهم آلية عمل النبات والتحقق من الطريقة التي استخدمناها.
- ظهر التأثير المهم للمواصفات الخاصة للمناخ الصحراوي مع السوية العالية للإشعاع الشمسي والتأثير الليلي المهم في درجات الحرارة في تحقيق موازنة الطاقة.

REFERENCES

ANTHONI, P., LAW, B.E., UNSWORTH, M.J., VONG, R.J., 2000. Variation in net radiation over heterogeneous surfaces: measurements and simulations in a juniper-sagebrush ecosystem. Agricultural and Forest Meteorology, 102: 275-286.

BLANEY, H.F., CRIDDLE, W.D., 1962. Determining consumptive use and irrigation water requirements. USDA (ARS) technical Bulletin, 1275, 59pp.

BRUTSAERT, W., 1982. Evaporation into the Atmosphere, D. Reidel Publishing company, Holland, 299 pp.

CULF, A.D., FOLKEN, T., GASH, J.H.C., 2002. The energy balance closure problem. In: Vegetation, Water, Humans and Climate, (in press).

DESJARDINS, R.L., SCHUEPP, P.H., MACPHERSOn, J.I. and BUCKLEY, D.J., 1992. Spatial and temporal variations of the fluxes of carbon dioxide sensible and latent heat over the FIFE site. Journal of Geophysical Research, 97(D17): 18467-18475.

FAO/Unesco, 1973. International sourcebook on Irrigation and Drainage of Arid Lands. Unesco, Paris, 510 pp.

KUSTAS, W.P. et al. 1991. An interdisciplinary field study of the energy and water fluxes in the atmosphere-biosphere system over semi arid rangelands: description and preliminary results. Bulletin American Meteorological Society, 72: 1683-1705.

LEE, X., 1998. On micrometeorological observations of surface-air exchange over tall vegetation. Agricultural and Forest Meteorology ,91: 39-50.

MAYOCCHI, C.L., BRISTOW, K.L., 1995. Soil surface heat flux: some general questions and comments on measurements. Agricultural and Forest Meteorology, 75: 43-50.

PENMAN, H.L., 1956. Evaporation: an introductory survey. Netherland Journal of Agricultural Science. 4: 9-29.

PRIESTLEY, C.H.B., 1959. Turbulent transfer in the lower atmosphere. University Chicago press, Chicago, 130 pp.

SCHUEPP, P.H., LECLERC, M.Y., MACPHERSON, J.I. and DESJARDINS,R.L., 1990. Footprint prediction of scalar fluxes from analytical solutions of the diffusion equation. Boundary Layer Meteorology., 50: 355-373.

STANNARD, D.I.,et al., 1994. Interpretation of surface flux measurements in heterogeneous terrain during the Monsoon'90 experiment. Water Resource Research, 30,(50): 1227-1239.

SWINBANK, W.C., 1951. The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. Journal of Meteorology, 8: 135-145.

UNLAND, H.E., HOUSER, P.R., SHUTTLEWORTH, W.J., YANG, ZONG-L., 1996. Surface flux measurement and modelling at a semi-arid Sonoran Desert site. Agricultural and Forest Meteorology, 82: 119-153.

WILSON, K.B., HANSON, P.J., BALDOCCHI, D.D., 2000. Seasonal and interannual variability of energy fluxes over a broadleaved temperate deciduous forest in North America. Agricultural and Forest Meteorology, 100: 1-18.

WILSON, K., et al., 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. Agricultural and Forest Meteorology, 113: 223-243.

عبد الرحمن بريندي، 2000. النخيل تقنيات وآفاق. المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة .

كلمة شكر

نفذ هذا المشروع ضمن إطار مشروع تعاون بين أكساد ACSAD (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة) وبين معهد البحوث الفرنسي الحكومي من أجل التنمية (IRD (Institut de Recherche pour le Développement.

كما أتوجه بالشكر الخاص لمركز ACSAD إدارة و عاملين وأخص بالذكر الدكتور عبد ا الدروبي مدير إدارة الموارد المائية والدكتور إيهاب جناد والسيد أحمد البيطار من قسم المناخ لما قدموه من مساعدات وتسهيلات كثيرة تسهم في إتمام هذا البحث وإنجاحه.

كما أشكر المديرية العامة للأرصاد الجوية في دمشق والعاملين في محطة الأرصاد الجوية في تدمر على تعاونهم في تأمين المعطيات اللازمة للبحث .