جامعة حماه
كلية الزراعة

مقرَّر الأرصاد الجوية والمناخ الزراعي
المحاضرة النظرية التاسعة 2018/12/5

التبخُّر والتبخُّر- نتح
Evaporation and Evapotranspiration

التبخُّر:

ظاهرة فيزيائية يتحول من خلالها الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية ويطلق هذا التعبير على إجمالي الفاقد المائي من سطح التربة والمسطحات المائية.

أمَّا التبخُّر- نتح: فهو مجمل الفاقد المائي من سطح التربة والمسطحات المائية والغطاء النباتي إن قياس التبخُّر والتبخُّر- نتح له أهمية كبيرة في مجالات علمية كثيرة وتظهر أهميته في المناطق الجافة حيث إنَّ ندرة المياه تحتم استخدام الطرق العلمية في الري.

إنَّ معرفة الاحتياجات المائية للمحاصيل الزراعية يكون من خلال تقدير قيم التبخُّر- نتح وبالتالي تقدير المقننات المائية للمحاصيل المختلفة.

1- العوامل المؤثّرة على التبخُّر – نتح:

أ- العوامل المناخية: وتشمل:

1- درجة الحرارة (Temperature):

من المعلوم أنَّه يتم تبخُّر الماء من أي سطح عندما يكون ملامساً لجو غير مشبع ببخار الماء عند نفس درجة الحرارة. عندما ترتفع درجة الحرارة فإنَّ سرعة التبخُّر- نتح تزداد ولذا فالتبخُّر- نتح يكون عالي القيمة أو أعلى في فصل الصيف عن بقية الفصول.

2- الطاقة الشمسية: Solar energy

إنَّ درجة الحرارة للماء والجو المحيط تتوقف على كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض والمعروف أنَّ الحرارة النوعية للماء أعلى من الحرارة النوعية لليابسة، إذ يحتاج 1 غ من الماء إلى 1 حريرة لرفع درجة حرارته درجة مئوية واحدة، بينما لاتصل هذه الكمية إلى أكثر 0.3 حريرة لمعظم أنواع الترب ولهذا فإنَّ التربة الرطبة أبرد من الترب الجافة تحت نفس الظروف المناخية.

أضف إلى ذلك أنَّ الماء عالي حرارة التبخير إذ يحتاج 1غ منه إلى حوالي 585 حريرة تبخُّرة عند الدرجة صفر مئوية، وإنَّ الطاقة الشمسية هي المصدر الرئيسي لهذه الطاقة.

3-الرطوبة النسبية: Relative humidity

يزداد التبخُّر نتح مع انخفاض الرطوبة النسبية ومع زيادة البعد عن الإشباع نلاحظ أنَّ حاجة المزروعات للمياه تقل خلال الفترات التي يكون فيها الجو مشبعاً ببخار الماء أو قريباً من الإشباع، كما يحصل أيام الشتاء والعكس صحيح كما يحدث في فصل الصيف.

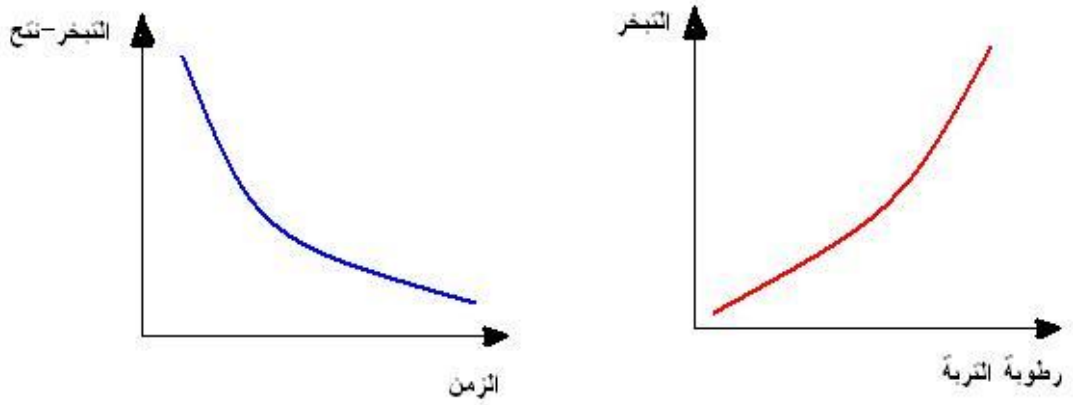
4- سرعة الرياح: Air movement

يزداد التبخُّر مع ازدياد سرعة الرياح لأنَّ حركة الهواء تؤدّي إلى خلط مستمر للهواء الملامس لسطح التربة ويؤدّي إلى إحلال هواء جاف مكان الهواء الرطب وهذا يؤدّي إلى زيادة التبخُّر- نتح

ب- العوامل الأرضية (Soil Factors):

آ- رطوبة التربة:

تزداد سرعة التبخُّر كلما ازداد المحتوى المائي للتربة، لأنَّ سرعة جفاف التربة يتناسب طرداً مع محتواها من الرطوبة وعكساً مع الزمن (الشكل رقم1)، وكلما زاد الزمن نقص معدل التبخُّر- نتح بسبب نقص الماء في التربة وتكوين طبقة كتيمة جافة على السطح وقد تبيَّن لدى مقارنة قيم التبخُّر- نتح بين تربة جرداء وأخرى مغطاة بالأعشاب وسطح مائي. إنَّ هذه القيم كانت على التوالي 771 مم سنة، من التربة المغطاة بالأعشاب، 588 مم/سنة من سطح الماء الحر، 444 مم/سنة من التربة الجرداء.



الشكل رقم (1) علاقة التبخر- نتح برطوبة التربة والزمن

ب- عمق الطبقة الحاضنة للماء:

كلما كانت الطبقة الحاضنة للماء قريبة من السطح زاد التبخُّر بسبب التوصيل المائي المستمر بين هذه الطبقة وسطح التربة. وقد تبيَّن أنَّ التبخُّر من الأراضي ذات مستوى الماء الأرضي المرتفع أكبر بـ 2-4 مرات من الأراضي ذات الصرف الجيد والمنخفضة مستوى الماء الأرضي المنخفض.

جـ- لون التربة: Soil color

الترب السوداء تمتص طاقة حرارية أكثر من الترب الأخرى لهذا فإنَّ قيم التبخُّر- نتح في مثل هذه الترب تكون مرتفعة خلال النهار أمَّا ليلاً فإنَّها تبرد بسرعة أكبر من الترب الأخرى وبالتالي تكسب كمية من المياه بالتكاثف.

د- اتجاه السفوح: Soil direction

إنَّ قيم التبخُّر نتح من المعارض الجنوبية أعلى من المعارض الشمالية وكذلك فإنّه في الغربية أعلى من الشرقية بسبب تعرضها لفترات تشميس أطول مما يؤدّي إلى زيادة قيم التبخُّر- نتح.

ب- العوامل النباتية Plant Factors:

إنَّ نوع النباتات المزروعة وكثافتها تؤثّر بشكل كبير على قيم التبخُّر- نتح وأهم العوامل النباتية المؤثّرة على التبخُّر- نتح هي:

أ- نوع النبات Plant species:

تختلف النباتات من حيث الحجم وشكل الأوراق وطبيعة النمو وإغلاق المساحة ونظام عملها ولقد عُزي سبب اختلاف كمية التبخُّر- نتح باختلاف نوع النبات **إلى الأسباب التالية:**

- اختلاف قدرة أنواع النبات على عكس أشعة الشمس بسبب اختلاف كمية الأشعة الممتصة بواسطة النبات وبالتالي تلك الواصلة إلى سطح الأرض.
- اختلاف قدرة أنواع النباتات على تعديل سرعة الهواء وحدوث الهواء المضطرب.
- اختلاف في نظام وطبيعة المسامات أثناء الليل وأثناء الفترات الحرجة من اشتداد الحرارة أو نقص الماء وحسب نوع هذه النباتات.

ب- كثافة الغطاء النباتي: (الشكل رقم 2)

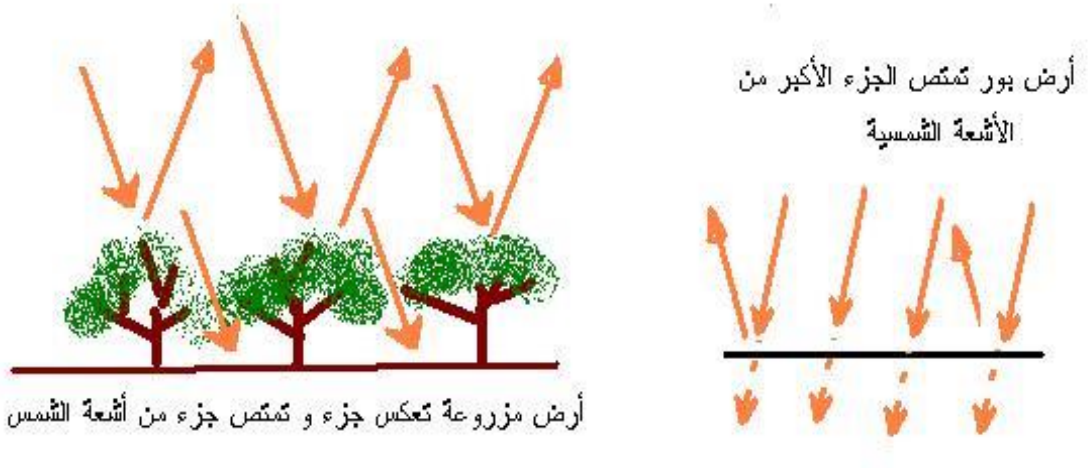
إنَّ كمية الغطاء النباتي تؤثّر على التبخُّر- نتح لسببين هما:

- **كمية الأشعة المنعكسة:** إنَّ كمية الأشعة المنعكسة من أرض بور غير مزروعة وخاصةً الرطبة منها تكون أقل من الأشعة المنعكسة في حالة الأرض المغطاة بغطاء نباتي كثيف، واعتماداً على هذه الخاصية فقط فإنَّ التبخُّر- نتح يتوقع أن يزيد كلما نقصت نسبة تغطية الأرض بالنباتات.
- **الفرق بين سرعة التبخُّر وسرعة النتح:** إنَّ سرعة التبخُّر من أرض بور تنخفض بسرعة بعد يوم أو يومين من الري أو هطول الأمطار، وتحت نفس الظروف فإنَّ النتح قد لا تقل سرعته قبل أسبوعين من نفس التاريخ، ولذلك فإنَّ رطوبة التربة قد تكون كافية لبقاء سرعة النتح ثابتة بينما تنخفض سرعة التبخُّر سريعاً ولذا فإنَّ النتح سوف يزداد بزيادة الغطاء النباتي، (الشكل رقم 3).

وقد تبيَّن من التجارب المختلفة أنَّ تغطية سطح التربة ببعض البقايا النباتية يقلل من التبخُّر وذلك لسببين هما:

1-حماية سطح التربة من أشعة الشمس المباشرة الأمر الذي يؤدّي إلى خفض حرارة التربة وتقليل التبخُّر المباشر منها.

2- رفع ضغط بخار الماء بين البقايا النباتية إلى درجة تقارب ضغط بخار الماء في هواء التربة.



الشكل رقم (2) مقارنة بين البور والأرض المزروعة من حيث التبخُّر- نتح

2- أنواع التبخُّر- نتح:

1-التبخُّر- نتح الأساسي أو الكامن Evapotranspiration potential (ETP):

عبارة عن كمية الماء المفقودة من التربة بالتبخُّر ومن النبات بالنتح في حال وجود غطاء نباتي أخضر ومورد مائي يمدّ التربة باستمرار بالماء جاعلاً إيّاها مشبعة دائماً. وقد وضَّح Penman أنَّ التبخُّر- نتح الأساسي يقارب من حيث القيمة التبخُّر من سطح ماء حر معرض لنفس الظروف المناخية.

2- التبخُّر - نتح الأعظمي :Evapotranspiration Maximum (ETM)

وهو التبخُّر- نتح لنبات معين خلال مراحل أطواره الفينولوجية وتحت ظروف مناخية محدَّدة وقيمته أقل أو تساوي ETP.

3- التبخُّر: نتح الحقيقي Actual Evapotranspiration (ETR):

عندما تنخفض رطوبة التربة فإنَّ معدَّل التبخُّر- نتح ينخفض عن معدّله الأعظمي وتصبح رطوبة التربة عاملاً محدّداً رئيسياً لكمية المياه المفقودة، ويُطلق على هذه الكمية اصطلاح التبخُّر- نتح الحقيقي تمييزاً عن التبخُّر- نتح الأساسي ويمكن أن نعرّف **التبخُّر- نتح الحقيقي:** بأنَّه التبخُّر- نتح لغطاء نباتي تحت الظروف المناخية الحقيقية، إلاّ أنّ الإمداد بالماء قد يكون محدوداً لسبب فيزيائي أو كيميائي أو بيولوجي وهذا يعني أنَّ ETM > ETR

وبالتالي: $ETP \geq ETM \geq ETR$

3- طرق تقدير التبخُّر – نتح:

يعتبر تقدير التبخُّر– نتح أمراً مهماً لأنَّه عامل مهم في الميزان الحراري لأي منطقة، كما أنَّه مفيد من أجل حساب المقننات المائية لمختلف المحاصيل، **يقول ثورنثوايت:** أنّه لا يمكن أن نصنّف مناخ منطقة على أنَّه رطب أو جاف من معرفة كمية الهطول وحدها، لكن يجب معرفة كمية الهطول هل هي أكبر أو أدنى من كمية الماء اللازمة للتبخُّر– نتح في تلك المنطقة.

هناك عدة طرق لتقدير التبخُّر – نتح ومن أهمها:

1- القياس المباشر بواسطة أجهزة الليزيمتر (Lysimeters).

2- استخدام معادلات رياضية بالاعتماد على عامل مناخي أو أكثر.

3- الطرق الإيروديناميكية.

4- طريقة الميزان الحراري.

5- استخدام مقياس التبخُّر.

4-الميزان المائي والميزان المائي الحقلي:

1 -الدورة الهيدرولوجية والميزان الهيدرولوجي:

الدورة الهيدرولوجية هي عبارة عن دورة الماء في الطبيعة أي تحوّل الماء من صورة إلى أخرى بسبب العوامل الجوية والطبيعية، (الشكل رقم 3).

يمكن أن نكتب معادلة الميزان الهيدرولوجي على الشكل التالي:

$$P = Q + E + \Delta R$$

حيث P: مجموع الهطولات.

Q: التدفق أو التصريف (مجموع الجريان).

ΔR : التغيّر في المخزون المائي والجوفي وماء التربة وكل عنصر من عناصر الدورة مرتبط بالوسط الطبيعي.

E: التبخُّر– نتح

2- الميزان المائي الحقلي:

يمكن التعبير عن معادلة الميزان المائي الحقلي بالمعادلة المبسطة التالية:

$$\Delta R = (P + I) - ETR$$

حيث ΔR : التغيير في المخزون المائي لمنطقة الجذور.

P: كمية الأمطار المتساقطة.

I: كمية الماء المضافة بالري.

ETR: التبخُّر – نتح الحقيقي ويقاس بالليزيمتر.

ومن هذه المعادلة يمكن حساب مقدار التغيّر في المخزون المائي لمنطقة الجذور، وكميّة الماء الواجب إضافتها للنبات في فترة الجفاف ما هي إلا لتحقيق التوازن بين ETR و(P+I) وجعل ΔR = الصفر.

الشكل رقم (3) الدورة الهيدرولوجية

5-الجفاف وقرائنه (Drought):

الجفاف:

يُعتبر الجفاف من أهم العوامل المؤثّرة في الإنتاج الزراعي وعلى توزّع النبات والحيوان ومفهوم الجفاف من وجهة النظر العلمية: عبارة عن ظاهرة متيورولوجية تسبب حدوث خلل في الميزان المائي للنبات نتيجة عدم كفاية الرطوبة في منطقة انتشار الجذور، وانحباس الأمطار لفترة طويلة، مع وجود ظروف مشجّعة على زيادة التبخُّر كارتفاع درجة الحرارة وتدني الرطوبة النسبية مما يؤدّي إلى تدني الإنتاجية وأحياناً موت النباتات.

ويمكن باختصار **تعريف الجفاف** على الشكل التالي:

عبارة عن الفترة التي يكون فيها التبخُّر الإجمالي في منطقة ما أكبر من كمية الأمطار الهاطلة خلال نفس الفترة.

يتوقف الجفاف على درجة الحرارة المحيطة، وكذلك الرطوبة النسبية، وعلى هذا الأساس، يختلف مفهوم الجفاف من منطقة إلى أخرى أو من مناخ لآخر.

ويمكن القول أنَّ الجفاف يسود منطقة ما خلال فترة معينة عندما يكون حاصل طرح الجريان من كمية الأمطار أقل من التبخُّر – نتح الحقيقي أي:

$$P-Q=ETR=D$$

حيث P: الهطول Q: التدفق D: عجز الجريان.

ونظراً لأهمية الجفاف فقد حاول العلماء وضع علاقات ومعادلات غايتها الوصول إلى النتيجة التي يمكن معها قراءة قرينة الجفاف ودرجات شدّتها في المنطقة التي تسيطر عليها الفترة الجافة وفيما يلي بعض أدلة الجفاف وطرق تقديره:

1- دليل جفاف ديمارتون (Demartonne): ويعبر عنه بالعلاقة:

$$I.A.D = \frac{1}{2}\left(\frac{P}{T+10} + \frac{12r}{t+10}\right)$$

حيث: p: متوسط الأمطار السنوية.

T: متوسط درجة الحرارة السنوية.

r: متوسط الأمطار الشهرية للشهر الأكثر جفافاً.

t: متوسط درجة الحرارة الشهرية للشهر الأكثر جفافاً.

أمَّا بالنسبة للمناطق التي تنعدم فيها الأمطار في بعض أشهر الصيف فيمكن أن تكتب معادلة ديمارتون بالشكل التالي:

$$I.A.D = \frac{Pm.m}{T.c^{0}+10}$$

استند ديمارتون في طريقته على العلاقة بين كمية الأمطار ومتوسط درجات الحرارة إلا أنَّه أضاف الرقم (10) إلى درجات الحرارة تحاشياً للأرقام السالبة وحتى يتمكن من العمل على نطاق أوسع وقد قسَّم ديمارتون الأرض ستة قيم دليل الجفاف إلى المناطق النباتية والمناخات التالية:

قيمة عامل جفاف ديمارتون	المنطقة النباتية	المناخ السائد
أقل من 5	صحارى	جاف جداً
10-5	سهوب زراعية	جاف
20-10	زراعات بعلية	نصف جاف
30-20	أعشاب وشجيرات شوكية	نصف رطب
40-30	غابات متفرقة	رطب
أكثر من 40	غابات كثيفة	رطب جداً

2- دليل جفاف مايير (Meyer Indix): يعبّر عن دليل جفاف مايير بالعلاقة التالية:

$$I.A.M = \frac{Pm.m}{eW - e}$$

حيث: I.A.M: دليل جفاف مايير. P: كمية الأمطار الساقطة خلال فترة معينة مقدرة بالملم.

Ew-e: البعد عن الإشباع خلال نفس الفترة مقدرة بالملم زئبقي.

3- دليل جفاف ترانسو (Transeu Index): ويعبّر عن هذا الدليل بالعلاقة:

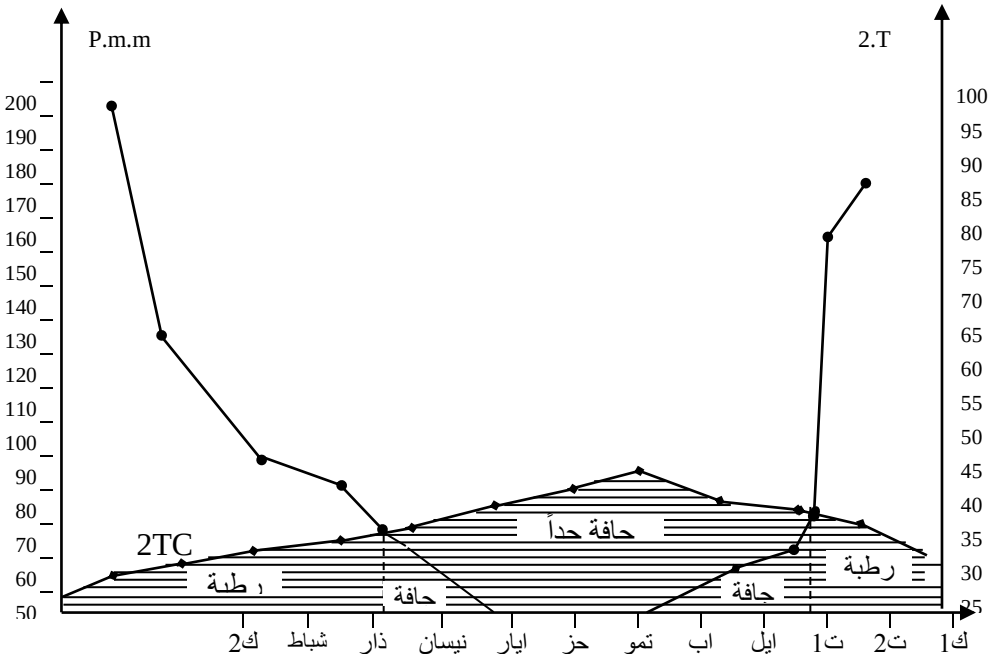
$$I.A.M = \frac{P}{E}$$

حيث: P: كمية الأمطار الساقطة خلال فترة زمنية معينة (بالإنش).

E: كمية الماء المتبخُّر خلال تلك الفترة (بالإنش).

4- دليل جفاف غوسين (Gaussen): يعرف غوسين الشهر الجاف بأنَّه الشهر الذي يكون فيه متوسط الأمطار لهذا الشهر أصغر أو يساوي ضعف متوسط درجات الحرارة لذلك الشهر مقدرة بالدرجات المئوية، ويعبّر عن ذلك بالعلاقة: $P \leq 2T.C^{\circ}$

ومن خلال رسم المخطط الحراري، حيث تمثل فيه الأشهر على محور السينات وعلى محور العينات تمثل رقم (P)كمية الأمطار الساقطة و(2T) ضعف متوسط درجات الحرارة في الجهة المقابلة ثم يصبح من السهل تمييز الأشهر الجافة من الأشهر الرطبة وتحديد الفترات الجافة والرطبة، والأشهر الجافة هي التي تقع تحت مخطط درجة الحرارة الذي يعلو مخطط كمية الأمطار الشهرية وإذا كان مخطط الأمطار الشهري يعلو مخطط (الخط البياني) لدرجات الحرارة الشهرية فالفترة تكون رطبة.



شكل رقم (4) يبين فترات الرطوبة والجفاف في محطة ساحلية شبه رطبة تقع في سورية

وحسب علاقة غوسين من السهل تمييز أشهر الجفاف عن بقية أشهر السنة وهذا مهم جداً للزراعة وري المحاصيل وتحديد مناطق الزراعات البعلية.

ومما تقدم نجد أنَّ الجفاف عامل يتوقف على عناصر مناخية مختلفة كالحرارة والأمطار والتبخُّر والرطوبة وتظهر أهمية هذه العناصر في مناطق الكرة الأرضية المختلفة.

5- معامل الجفاف لـ دفييف 1950 (Defief):

$$\text{معامل الجفاف} = \frac{\text{الأمطار/ملم}}{\text{التبخر/ملم}}$$

6- معامل امبرجية للجفاف: ويكتب بالشكل التالي:

$$7> \frac{\text{الأمطار الهاطلة صيفاً مم}}{\text{درجة الحرارة العظمى لأخر شهر في الصيف}}$$

وعن طريق هذا المعامل يمكن أن نحدّد إذا كانت المنطقة المدروسة تابعة لحوض المتوسط أم لا.

فإذا كانت القيمة الناتجة أكبر من 7 كانت المنطقة تابعة لحوض المتوسط وإن كانت اقل من 7 لا تكون تابعة لحوض المتوسط.

7- علاقة سالينوف أو معادلة المعامل المائي الحراري:

وتكتب المعادلة بالشكل التالي: $$k = \frac{\sum Pmm}{0.1\sum T\rangle 10c^0}$$

حيث: P: كمية الهطول للفترة مقدرة بالملم

$\sum T\rangle 10$: مجموع درجات الحرارة اليومية التي تزيد عن (10) محسوبة خلال نفس الفترة واعتماداً على قيمة k تم تحديد المناطق التالية أو الفترات التالية:

قيمة k	المنطقة أو الفترة
أكبر من 1.6	رطبة جداً
من 1.3 – 1.6	رطبة
من 1–1.3	شبه رطبة
من 0.7 – 1.0	شبه جافة
من 0.4 – 0.7	جافة
أقل من 0.4	جافة جداً

انتهت المحاضرة

المرجع: المناخ والأرصاد الزراعية (جامعة البعث) لـ: د. حسن شهاب و د. هيثم أحمد