كلية العلوم

القسم : **علم الحياة**

السنة : **الرابعة**

المادة : بيئة نباتية

المحاضرة : الثانية/نظري/ د.ميسون

{{ A to Z مكتبة }}

Facebook Group : A to Z مكتبة

2026

كلية العلوم

5

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

العوامل المناخيّة
الحرارة والنّبات – الجفاف – الاحتباس الحراريّ

درجة الحرارة Temperature

تعدّ درجة الحرارة أحد أهمّ العناصر البيئيّة تأثيراً في الكائنات الحيّة، إذ لا تقلّ أهميّتها عن أهميّة الماء، فالتّأثير المباشر لدرجة الحرارة يظهر جليّاً على التّوزع الجغرافيّ للنّباتات على سطح الكرة الأرضيّة، كما أنّها تتحكّم في جميع عناصر المناخ الأخرى بصورة مباشرة وغير مباشرة؛ فهي تؤثّر على توزيع الرّياح ونظام هبوبها، وتسبّب تبخّر المياه من البحار والمحيطات، كما تؤثّر على تكوين الأمطار وسقوطها، إضافةً إلى ذلك، تؤثّر الحرارة على العمليّات الفيزيولوجيّة داخل النّبات، حيث تتحكم في سير عمليّات النّتح والتّركيب الضّوئيّ والتّنفس، وقد تعرّفنا في السنة الثّانية بمقرّر أساسيّات علم البيئة النّباتيّة على أثر الحرارة المرتفعة والمنخفضة على النّبات، وكيف يحصل النّبات على احتياجاته الحراريّة لينتقل من طور فينولوجيّ إلى الطّور الّذي يليه من خلال التّعرف على التّراكمات الحراريّة، وسنتعرف بمحاضرة اليوم على مفهوم الحرارة المثلى للنّبات، وكيف أستطيع استخدام الحرارة لتشجيع النّبات على كسر طور السّكون والإزهار المبكّر، كما سيحصل مفهوم الجفاف على نصيب جيّد لأهميّة الظاهرة وارتباطها الوثيق بارتفاع درجة الحرارة، وأثرها العظيم على النّباتات، وسنمر على فكرة ظاهرة زيادة درجة حرارة الأرض (الاحتباس الحراريّ) ما أسبابها؟ وإلى أين؟ وما الحلول الممكنة؟

درجة الحرارة المثلى للنّباتات

تتحمّل معظم النباتات مدى واسع من درجات الحرارة، ويستطيع بعضها أن ينمو في درجات حرارة متطرّفة في الارتفاع، وبعضها في درجات حرارة متطرّفة في الانخفاض، وهناك أنواع تستطيع تحمّل درجات الحرارة المتطرّفة ما دام الماء متوفّراً بشكل كافٍ مثل بعض الطّحالب الّتي تستطيع أن تنمو وتتكاثر في المياه القطبيّة حيث تنخفض درجة الحرارة إلى تحت الصفر ويبقى الماء سائلاً رغم ذلك بسبب ملوحته العالية، ومن ناحية أخرى تزدهر أنواع معينة من الطحالب والبكتيريا في الينابيع الحارة تحت درجات حرارة تصل إلى ٧٧°م.
ومن المعروف أنّ أكثر درجات الحرارة ملاءمة لنمو النباتات هي الدرجات السّائدة في المواطن الطّبيعيّة لهذه النّباتات، فمعظم نباتات المناطق المعتدلة تنمو بشكل جيد بين درجتي ١٥°م و٢٠°م، بينما تزدهر نباتات المناطق الباردة وجبال الألب في درجات تعلو قليلاً درجة الصّفر المئويّ.
إذا تجاوزت درجات الحرارة حدود تحّمل النّبات صعوداً أو هبوطاً فإنّ النبات يلجأ للدّخول بحالة سكون لا يقوم خلالها بأيّ نشاط (بطريقة مشابهة لردّة فعل النّبات على نقص الماء في المناطق الجافّة).
لكل نبات درجة حرارة مثلى تحدث عندها العمليّات الفيزيولوجيّة أفضل ما يكون، ويقلّ معدّل سرعة نموّ النّبات بدرجة كبيرة إذا زادت درجة الحرارة عن الدرجة المثلى ووصلت إلى الدّرجة العظمى أو إذا انخفضت لحدود الدّرجة الصّغرى، أي لكلّ نبات مدى أو نطاق من درجات الحرارة ينمو ضمن حدوده بالشّكل الأمثل.

وتختلف درجة الحرارة المثلى لنموّ النّباتات باختلاف النّوع النّباتيّ، وباختلاف مرحلة نموّ النّبات، حتّى العمليآت الفيزيولوجيّة داخل النّباتات تحتاج لدرجات حرارة مثلى مختلفة بين عمليّة وأخرى، حيث أنّ الدّرجة

المثلى للتّنفس تفوق بكثير الدّرجة المثلى لعملية التّركيب الضّوئيّ، وهنا نلفت النّظر لأهميّة ظاهرة **الاستجابة للتّفاوت الحراريّ**، حيث أنّ بعض النّباتات قد لا تنمو بشكل جيّد إذا بقيت معرّضة لدرجات حرارة ثابتة خلال اليوم، أو قد تعجز عن تكوين الثّمار والبذور، ويمكن تفسير ذلك بأنّ العمليّات الفيزيولوجيّة كالنّمو والتّركيب الضّوئي والإزهار تعمل مجتمعةً في زمن واحد، رغم أنّها تحتاج إلى درجات حرارة مثلى مختلفة عن بعضها البعض.

لذلك فإنّ درجة الحرارة المثلى من وجهة النّظر البيئيّة هي درجة الحرارة الّتي يستطيع فيها النّبات أن يزدهر، وينمو أفضل نمو.

تمثّل **درجة الحرارة القصوى** أعلى درجة حرارة يتحمّلها النّبات، فإذا زادت عن هذا الحدّ يتوقّف نموّ النّبات، وتسمّى النّباتات التي تتحمّل درجات حرارة عالية مع نقص في كميّة الماء بالوسط المحيط، بالنّباتات المقاومة للجفاف Drought resistance.

تختلف درجة الحرارة التي يتحمّلها النبات دون أن يصيبه ضرر يعرّضه للهلاك باختلاف الأنواع النّباتية، فهي ٤٠°م عند القمح، و٤٥° عند الذّرة الصّفراء، ويبدو أنّ هذه الدرجة صفة مرتبطة بالبروتوبلازم ولزوجتها، وكذلك بالعلاقات المائيّة للنّبات من حيث المورد المائيّ المتاح للجذور، وفقد الماء عن طريق النّتح.

وحتّى في النّوع الواحد يكون النّبات أكثر احتمالاً لدرجات الحرارة المتطرّفة في بعض أطوار حياته منه في بعضها الآخر، وبشكلٍ عامّ فإنّ النّبات أقلّ ما يكون مقاومةً للحرارة العالية عندما تمتلئ أنسجته بالماء، وأكثر ما يكون مقاومةً للحرارة في طور السّكون، الّذي تتميّز به البذور والكورمات والبكتيريا.

تمثّل **درجة الحرارة الصّغرى** أخفض درجة حرارة يتحمّلها النّبات، فإذا قلّت عن هذا الحدّ يتوقّف نمو النّبات, وتسمّى النّباتات التي تتحمّل درجات حرارة دنيا دون أن تصاب بضرر بالنّباتات المقاومة للبرودة Chilling resistance.

تختلف درجات الحرارة الصّغرى بالنّسبة للنّباتات المختلفة والأطوار المختلفة لهذه النّباتات.

فالنّباتات الاستوائيّة يقلّ معدّل نموها إذا انخفضت درجة الحرارة إلى ٢٠°م، وتتوقّف عن النّمو تماماً إذا وصلت إلى ١٠°م، في حين تستطيع أن تنمو النّباتات القطبيّة في درجات حرارة التجمّد.

يؤدّي انخفاض درجة الحرارة إلى درجة الحرارة الصّغرى إلى حدوث اضطرابات في العمليّات الفيزيولوجيّة داخل النّبات، فمثلاً: تتغير حالة الصّانعات الخضراء والأصبغة النّباتيّة، وهذا ما يحدث في فترة الخريف وبداية الشّتاء، إذ يُلاحظ اصفرار في أوراق الشجر ثمّ تتساقط، وذلك بسبب تحلّل الأصبغة الخضراء وهجرتها إلى أجزاء النبات الأخرى, ولا يبقى في النبات سوى الأصبغة الملوّنة الحمراء والصفراء.

أمّا الانخفاض الشّديد في درجات الحرارة (حتى درجة التجمّد) فإنّه يؤدّي لأضرار بالغة على أنسجة النّبات، فيفقد البروتوبلازم صفته الغرويّة ويصبح عديم المرونة، ويحدث تلف الأنسجة النّباتية النّاشئ عن التجمّد بسبب تكوّن بللورات من الجليد داخل الخلية أو في المسافات البينيّة بين الخلايا، تعمل هذه البلورات برؤوسها الحادّة على الإضرار آليّاً وميكانيكيّاً بالبروتوبلازم مما يترتّب عليه موت الخلية.

التكيّف مع الحرارة المرتفعة والمنخفضة

تتكيّف بعض النّباتات من خلال امتلاكها بعض الصّفات التي تزيد من قدرتها على تحمّل الحرارة المرتفعة، منها:

١- زيادة سرعة النّتح.

٢- التوجّه الرأسيّ لأنصال الأوراق، الّذي يخفّف من مساحة النّبات المعرّضة للأشعة الشّمسيّة.

٣- اللون اللامع لسطوح الأوراق والسّوق، الّذي يزيد من عكس الأشعة.
٤- المحتوى المائيّ المنخفض للبروتوبلازم.
٥- المحتوى الكربوهيدراتيّ الكبير للنّبات.
أمّا الطرق التي تكيّفت بها بعض النباتات لمواجهة درجات الحرارة المنخفضة:
١- امتلاك بروتوبلازم متكيّف.
٢- تغطية أعضاء النبات بطبقة شمعية أو وبرية.
٣- صغر حجم الخلايا.

استخدام الحرارة للتّاثير على نموّ وإزهار النّبات وتكيّفه مع الظروف البيئيّة
تؤثّر درجة الحرارة تأثيراً مباشراً في تشكّل الأزهار والإسراع في نموّ الثّمار، وتختلف هذه الاستجابة باختلاف الأنواع النّباتية؛ ويمكن استخدام الحرارة بطرق ثلاث موجّهة للتأثير في دورة حياة النّبات، وهي:

أولاً: الإجبار (Forcing)
وذلك بنقل النّبات خلال فترة راحته الشتوية من الحرارة المنخفضة إلى الحرارة المرتفعة فيخرج من حالة السّبات إلى حالة النشاط الحيوي، فتظهر البراعم والأوراق والأزهار، ويستخدم المزارع هذه الطريقة عملياً للحصول على أزهار وثمار مبكرة خارج الموسم الطبيعي، خاصة في أبصال الزينة (كالزنبق والتوليب) وبعض أشجار الفاكهة ضمن البيوت المحمية، مما يحقق أرباحاً أعلى بسبب الطلب المرتفع في مواسم الأعياد.
ثانياً: التّربيع أو الإرتباع (Vernalization)
وفيه يتمّ تسريع قدرة النّبات على الإزهار من خلال تعريض بذوره أثناء إنباتها لدرجات حرارة منخفضة (٥-١٠°م) لفترة زمنية محدّدة، مع توفّر الماء والأكسجين، ثمّ تخزينها حتّى موسم الربيع، ويشترط لنجاح هذه العمليّة ألا تكون البذور جافة ولا محفوظة في جوّ خالٍ من الأكسجين، ويطبّق المُزارِع هذه التّقنية عمليّاً على المحاصيل ثنائيّة الحول (البصل، الجزر، الشّوندر، الملفوف) ليجعلها تُزهر وتثمر في عامها الأول بدلاً من انتظار موسمين، مما يوفر الوقت والأرض ويزيد الإنتاجية، كما يُستخدم التّربيع للقمح الشتوي لتحفيز الإزهار، كما توضع رؤوس الثّوم في تبريد ٤-٥°م لعدة أسابيع قبل الزراعة لتحفيز تكوين رؤوس كبيرة.
ثالثاً: التّقسية (Hardening)
تُعرّف عملية التقسية بأنها قدرة الأنسجة النّباتيّة على تحمّل ظروف إجهاديّة قصوى (سواء البرودة الشّديدة أو الحرارة العالية) دون أن تموت، وذلك من خلال تغييرات مؤقتة في البروتوبلازم تحمي النّبات من الأضرار، إذاً التّقسية هي تعريض النّباتات لدرجات حرارة **خارج مداها الطّبيعي** (سواء بالانخفاض أو الارتفاع) ممّا يؤدّي إلى تطوير مقاومة لهذه الظروف القاسية.
ويستخدم المُزارع هذه الطّريقة عملياً قبل نقل الشّتول من البيوت المحميّة إلى الحقل المكشوف، أو قبل حلول موجة صقيع متوقّعة على المحاصيل الحقلية القائمة، وذلك بخفض درجة الحرارة تدريجيّاً وتقليل الرّي على مدى ٧-١٤ يوماً، ممّا يزيد نسبة بقاء النّباتات ويقلّل الخسائر النّاجمة عن البرد.

إنّ لهذه التّقنيات الحراريّة الثّلاث أهميّة اقتصاديّة كبيرة، فهي تمكّن المُزارع من التّحكّم في دورة حياة النّبات، وتسريع إزهاره، وحمايته من الظّروف القاسية، ممّا ينعكس إيجاباً على الإنتاجيّة.

الجفاف Drought

يعدّ الجفاف من أهمّ الظواهر المؤثّرة على الإنتاج الزراعيّ، وتوزّع النّباتات والحيوانات، وهو ظاهرة ميتورولوجية (مناخية) خطرة تسبّب حدوث خلل في الميزان الهيدرولوجي (المائيّ) لأيّة منطقة تسود فيها، ويختلف مفهوم الجفاف من منطقة إلى أخرى في العالم.

اقترحت المنظّمة العالميّة للأرصاد الجويّة (WMO) تعريفين للجفاف:

الأوّل: تخلّف المطر عن السّقوط، أو سوء توزيعه لفترة طويلة.

الثّاني: فترة يسودها طقس جافّ بدرجة غير عاديّة، وتطول بما يكفي لكي تتسبّب بنقص في الأمطار يؤدّي لخلل هيدرولوجي.

تعريف الجفاف

يعرّف علم الأرصاد الزّراعيّة الجفاف بأنّه ظاهرة ميتيورولوجيّة تسبّب عدم توافق بين احتياجات النّباتات للماء وبين توفّر الماء في التّربة، وذلك كنتيجة لنقص كميّة الأمطار وزيادة التّبخر الممكن، ممّا يؤدّي إلى اضطراب الإمداد المائيّ الطّبيعي للنّباتات، الأمر الّذي يؤدّي إلى ضعف النّمو وتدنّي الإنتاجيّة.

هنا لابدّ أن نُفرّق بين الجفاف و**الرّياح الجافّة** والّتي هي حالة من الطّقس الجافّ الشّاذ الّذي يتميّز بانخفاض الرّطوبة النّسبية للهواء (أقلّ من ٣٠٪) وارتفاع الحرارة في طبقات الهواء القريبة من سطح الأرض (أكثر من ٢٥° وأحياناً ٣٥° أو ٤٠° م)، مع وجود رياح ملحوظة السّرعة (تزيد ٥ وغالباً عن ١٠ م/ثا) ممّا يؤدي إلى زيادة التّبخر- نتح الممكن وإحداث خلل في التّوازن المائيّ للنّبات.

غالباً ما ترافق الرّياح الجافّة الجفاف إلا أنّها لا تستمر إلا لعدّة أيّام بينما يستمرّ الجفاف أحياناً لفترات طويلة تمتد لأشهر أو لأكثر من عام وذلك بحسب طبيعة المنطقة وشدّة موجة الجفاف.

يمكن تمييز نوعين من الجفاف هما:

الجفاف الجويّ Atmospheric drought ويرتبط بالظّروف المناخيّة الجويّة ويتجلّى بانحباس الأمطار لفترات طويلة مع ارتفاع الحرارة وتدنّي الرّطوبة النّسبيّة للهواء.

الجفاف الأرضيّ Soil drought وينشأ عادةً كنتيجة للجفاف الجويّ، ويحدث عندما تعجز التّربة عن إمداد النّباتات بكميّات الماء الكافية لتعويض الفقد بالنّتح، ممّا يؤدّي إلى ضعف النّمو وتدني الإنتاج وأحيانا ذبول النّباتات وموتها.

يمكن تقدير شدّة الجفاف الجويّ بمقارنة قيم الحرارة العظمى مع قيم البعد عن الإشباع.

حالة الجفاف	الحرارة العظمى للهواء (°م)	البعد عن الإشباع في السّاعة ١٣ (هكتوباسكال)
متوسّطة الشّدة	<30	27–52
	31-35	27–40
شديدة	31-35	41-52
	36-40	27-52
شديدة جدّاً	36-40	53-80
	>40	>27

أثر الجفاف على المزروعات

يعدّ الجفاف من العوامل الفيزيائيّة الّتي تسبّب إجهاداً للنّباتات بسبب ارتفاع الحرارة ونقص الماء، وكان الاعتقاد السّائد أنّ الماء في التّرب المعرّضة للجفاف يبقى متاحاً حتّى ذلك الوقت الّذي يصل فيه محتوى التّربة من الرّطوبة إلى معامل الذّبول الدّائم، ولكن نتائج الأبحاث مؤخّراً أثبتت أنّ النّقص المائيّ يظهر في أنسجة النّبات قبل فترة طويلة من وصول التّربة إلى رطوبة الذّبول.

ومن آثار الجفاف على النبّاتات :

١- في حال تعرّض أنسجة النّباتات للإجهاد يرتفع تركيز بعض المركّبات الّتي تُثبّط تبادل الموادّ في النّبات فتتأثّر العمليّات الحيويّة.

٢- يحدث نقص في ماء أنسجة النّبات، نتيجة لزيادة التعرّق والنّتح، ممّا يؤدّي إلى انخفاض في عمليّة التمثيل الضّوئيّ، الّذي يحدث كنتيجة لعدّة أسباب أهمّها:

أ. نقص CO2 بسبب إغلاق الثّغور (للتخّفيف من فقد الماء).

ب. خلل في التّمثيل الضّوئيّ أو صناعة اليخضور.

ج. تخريب تركيب الكلوروبلاست.

٣- تُبدي النّباتات بشكل عامّ ردّ فعل تجاه الجفاف يتمثّل بانخفاض في المسطّح الورقيّ الكلّي وفي إنتاج الكتلة الحيّة.

٤- تتوقّف تحت ظروف العجز المائيّ عمليّات الانقسام الخلويّ وخاّصة الاستطالة، ممّا يؤدّي لتشكّل خلايا صغيرة.

٥- تختلف أضرار الجفاف باختلاف المرحلة الّتي يمرّ فيها النّبات، حيث تتأثّر النّباتات في المراحل الفينولوجيّة الحرجة (مراحل النّموّ).

٦- اختلال توازن العمليّات الاستقلابيّة، حيث تحدث زيادة في معدّل التّنفس أكثر من معدّل التّركيب الضّوئيّ اليوميّ، فيتمّ استهلاك كميّة كبيرة من الموادّ الغذائيّة، ويصبح النّبات عاجزاً عن تأمين هذه الموادّ، أي يتغيّر اتجاه العمليّات الأنزيميّة باتّجاه التّحليل والهدم بدلاً من التّركيب والبناء، وخاصّةً في المراحل الأولى لنموّ النّباتات.

تكيّف النّباتات الفيزيولوجيّ مع الجفاف: استراتيجيات التّمثيل الضّوئيّ (C3, C4, CAM)

طورّت النّباتات ثلاث مسارات رئيسة لعمليّة التّركيب الضّوئيّ، لكلّ منها درجة مختلفة من التّحمّل للجفاف وكفاءة استخدام الماء، النّباتات ذات مسارات C4 و CAM أكثر تكيّفاً مع المناطق المعرّضة للجفاف مقارنة بنباتات C3.

١- نباتات C3: تمثّل هذه المجموعة حوالي ٨٥٪ من الأنواع النّباتيّة، وتشمل المحاصيل الرّئيسة مثل القمح، الأرزّ، الشّعير، وفول الصوّيا، وخصائصها من حيث تحمّل الجفاف:

أ. كفاءة استخدام الماء: منخفضة نسبيّاً (تفقد ٤٠٠-٥٠٠ جزيء ماء لكلّ جزيء CO_2)، وقد تتغيّر وفق الظروف.

ب. حساسيّة الجفاف: عالية جداً، حيث يؤدّي الجفاف إلى إغلاق الثّغور، ممّا يسبب نقصاً في CO_2 ويزداد التّنفس الضّوئيّ (photorespiration)، وهو عمليّة تهدر الطّاقة.

في المناطق المعرّضة للجفاف، يوصى بزراعة أصناف القمح الرّبيعي بدلاً من الشّتوي، واستخدام تقنيّات الري التّكميليّ خلال مرحلة ملء الحبوب.

٢- نباتات C4 : تمثّل هذه المجموعة حوالي ٣٪ من الأنواع النّباتيّة، وتشمل محاصيل مهمّة مثل الذّرة، الذّرة الرّفيعة (السّورغم)، قصب السّكر، والدّخن، وخصائصها من حيث تحمّل الجفاف:

أ. كفاءة استخدام الماء: عالية (تفقد ٢٥٠-٣٠٠ جزيء ماء لكل جزيء CO_2)، أي حوالي ضعف كفاءة نباتات C3.

ب. تحمّل الجفاف: أعلى من C3 بسبب كفاءتها العالية في استخدام الماء وقدرتها على الحفاظ على التّمثيل الضوئي حتى مع إغلاق جزئيّ للثّغور.

في المناطق الجافّة وشبه الجافّة، تُعدّ محاصيل C4 مثل الذّرة الرّفيعة والدّخن خيارات أكثر أماناً من القمح، كما تُجرى أبحاث حاليّاً لنقل صفات C4 إلى محاصيل C3 (مثل الأرزّ) لتحسين تحمّلها للجفاف.

٣- النّباتات العصاريّة أو نباتات CAM : تمثّل هذه المجموعة حوالي ٦-٧٪ من الأنواع النّباتيّة، وتشمل الصّبار، الألوفيرا، الأناناس، والآغاف، وقد طوّرت هذه النّباتات آليّة فريدة تفصل فيها بين تثبيت CO_2 والتّركيب الضوئي زمانياً (ليلاً ونهاراً)، ومن خصائصها من حيث تحمل الجفاف:

أ. كفاءة استخدام الماء: عالية جداً (تفقد ٥٠-١٠٠ جزيء ماء فقط لكل جزيء CO_2)، أي أعلى بـ ٥-١٠ مرات من نباتات C3.

ب. آليّة العمل: تفتح الثّغور ليلاً لامتصاص CO_2 وتخزينه على شكل حمض الماليك في الفجوات العصاريّة، ثمّ تُغلق الثّغور بإحكام خلال النّهار (أشدّ ساعات الحرارة والجفاف)، ويُستخدم CO_2 المخزن في التمثيل الضوئي.

وبالتّالي يكون تحمّل الجفاف فيها استثنائيّاً، حيث يمكن لهذه النّباتات البقاء حيّة في صحارى قاحلة حيث لا تسقط الأمطار لعدّة أشهر أو سنوات، وتُستخدم نباتات CAM في مشاريع التّشجير في المناطق الصّحراوية (مثل الأغاف لإنتاج الوقود الحيوي)، وكزراعة تزيينيّة في الحدائق الصّخرية الجافّة، وفي برامج الهندسة الوراثيّة لنقل جينات CAM إلى محاصيل C3 لتحسين تحمّلها للجفاف.

ظاهرة الاحتباس الحراريّ أو الاحترار العالميّ

يتأثّر الغلاف الجويّ بالانبعاثات الغازيّة النّاتجة عن الفعاليّات والنّشاطات البشريّة، حيث يغيّر النّشاط البشريّ المزيج الغازيّ المعقّد في الغلاف الجويّ.
يسمح الغلاف الجويّ بمرور الأشعّة الشمسيّة بدرجة كبيرة، أمّا الإشعاع الأرضيّ الحراريّ الطّويل الموجة فَيَتُمُّ امتصاصه من قِبَل بخار الماء و Co2 المتواجدين في الهواء.
هذه الخاصيّة التي يتمتّع بها الغلاف الجويّ تسمّى **ظاهرة الدّفيئة**، وهي ظاهرة طبيعيّة إذ بدونها تصبح درجة حرارة الأرض منخفضة إلى الحدّ الّذي لا يسمح بالحياة على سطحها، حيث تُشير الدراسات إلى أنّه لولا وجود الغلاف الجويّ لكانت حرارة أيّة منطقة على سطح الأرض أقلّ ممّا هي عليه بحوالي ٣٨° م.

تعرّف ظاهرة الاحتباس الحراريّ (أو ظاهرة البيت الزجاجيّ) بأنّها الزيادة التّدريجيّة في درجة حرارة الطّبقة الدُّنيا من التروبوسفير، القريبة من سطح الأرض، نتيجةً لزيادة انبعاث الغازات النّزرة (غازات الدّفيئة)، الّتي تتمتّع بالقدرة على امتصاص الإشعاع الحراريّ الطّويل الموجة الصّادر عن الأرض.
ساهمت هذه الظّاهرة خلال آلاف السّنين في تحقيق التّوازن البيئيّ المطلوب، لكن منذ بداية الثورة الصناعية بدأت تراكيز غازات الدّفيئة تزداد بوتائر سريعة، نذكر من هذه الغازات ذات التّأثير المباشر على ارتفاع درجة حرارة الأرض:
Co_2 ، CH_4 (غاز الميثان)، N_2O (غاز أوكسيد النتروز)، بالإضافة إلى مركّبات كلورفلورالكربون CFC ، والأوزون O_3.

- **غاز ثاني أوكسيد الكربون:** يزداد تركيزه في الغلاف الجوي بمعدل حوالي ٠,٥٪ سنوياً (ما يعادل ٢-٣ جزء في المليون)، وبالإضافة للطّرق الطّبيعيّة لإضافة Co_2 للجوّ مثل تنفّس الأحياء، تزداد نسبته سنويّاً نتيجة:
١- الكميّات المتزايدة من احتراق الوقود الّتي تستخدم في كافّة مجالات النّشاط البشريّ (احتراق فحم، احتراق بترول، وغاز طبيعيّ).
٢- اقتطاع مساحات واسعة من الغابات الاستوائيّة والمداريّة، واحتراق الغابات.
٤- زيادة تلوّث المحيطات ممّا يحدّ من قدرتها الطبيعيّة على امتصاص هذا الغاز.
- **غاز الميتان:** تبلغ الزّيادة السّنوية في تركيز غاز CH4 حوالي ١,١ %، وهو ينتج عن العديد من النّشاطات البشرية، مثل:

١- تحلّل المواد العضويّة خاصّة في حقول الأرزّ.
٢- حرق الوقود.
٣- استغلال الغاز الطّبيعي، حيث يتسرّب الميتان.
٤- تربية الماشية.
٥-. استخراج الفحم من المناجم.
٦- المستنقعات.

- **غاز أوكسيد النتروز**: ينتج عن الاستخدام المتزايد للأسمدة الآزوتيّة والعضويّة، والزّيادة السّنوية تقدّر بحوالي ٠,٢٥٪.

كفاءة غازات الدّفيئة- قدرة الاحترار العالميّ (GWP)

فيما يتعلق بكفاءة غازات الدفيئة في امتصاص الإشعاع الحراريّ الأرضيّ، يُستخدم مقياس قدرة الاحترار العالمي (Global Warming Potential – GWP)، وهو مؤشّر يعبّر عن قدرة جزيء واحد من الغاز على حبس الحرارة في الغلاف الجوي خلال فترة زمنيّة محدّدة (عادة ١٠٠ عام) مقارنةً بجزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون، وتُعدّ قيمة GWP أداةً أساسيّةً لتحويل انبعاثات الغازات المختلفة إلى ما يعادل ثاني أكسيد الكربون (CO_2 eq)، ممّا يتيح مقارنة مساهماتها النّسبية في ظاهرة الاحتباس الحراريّ.

ووفقاً لأحدث تقارير الهيئة الحكوميّة الدوليّة المعنيّة بتغيّر المناخ (IPCC) :

- الميثان (CH_4): يبلغ GWP_{100} للميثان حوالي ٢٧-٣٠ (حسب المصدر الأحفوريّ أو غير الأحفوريّ)، وهذا يعني أن كفاءة جزيء الميثان أعلى بحوالي ٢٨ مرة من CO_2.

- أكسيد النّتروز (N_2O): يبلغ GWP_{100} حوالي ٢٧٣، أي أنّ كفاءته أعلى بحوالي ٢٧٠ مرة من CO_2 .

- مركّبات كلورفلوروكربون (CFCs): تتراوح قيم GWP_{100} لها بين ٤,٦٦٠ و ١٦,٣٠٠، ممّا يعني أنّ فعاليّة كل جزيء منها تعادل فعاليّة ما يصل إلى ١٦,٣٠٠ جزيء من CO_2.

الآثار الخطرة لظاهرة الاحتباس الحراريّ

١- مع كلّ زيادة في درجة الحرارة سوف يرافقها زيادة في التّبخر، وبالتّالي زيادة في معدل الهطول المطريّ، خاصّة في المناطق الواقعة فوق خط عرض ٤٠°، بينما ستشهد المناطق تحت خط عرض ٤٠° زيادة في حدّة وتكرار الجفاف.

٢- زيادة حدّة الظّواهر المتطرّفة كالفيضانات والجفاف في بعض المناطق.

٣- التأثير في النّظم البيئيّة الطّبيعيّة، وفي الزّراعات القائمة في المناطق المختلفة، وبالتّالي التّأثير في التّنوّع الحيويّ.

٤- التّأثير في التّوزّع الجغرافيّ للأنواع.

٥-التّأثير في نظام الحرائق.

٦- ذوبان جزء من القبّعات القطبية.

٧- ارتفاع منسوب مياه البحار والمحيطات.

٨- زيادة الحساسيّة لغزو الحشرات البريّة الضّارة، حيث يعدّ ثاني أوكسيد الكربون بمثابة مخصب طبيعيّ، لذلك فإنّ زيادته في الهواء تؤدّي لنموّ الأعشاب الضارة الّتي تنافس المزروعات، ممّا يضعف نموّها، ويجعلها أكثر عرضة للإصابة بالحشرات.

إجراءات وقائيّة للتّخفيف من ظاهرة الاحتباس الحراريّ

١- التوجّه نحو استخدام وقود انبعاثات Co2 النّاتجة عن حرقه أقل من تلك الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري.

٢- استخدام طاقة الرياح لتوليد الطاقة أي استخدام توربينات أو عنفات الهواء.

٣- تطوير أنظمة الطّاقة الشّمسيّة.

٤- زرع النّباتات في الفسحات وعلى الشّرفات لامتصاص Co2 من الهواء الجويّ.

٥- إعادة استخدام أكبر قدر من النّفايات، للحدّ من الطّرق البدائيّة في التّخلص من النّفايات كالحرق مثلاً.

٦- استخدام الأسمدة العضوية الطبيعية في الزراعة التي تخزّن الكربون بدلاً من إطلاقه في الجو.

٧- تحسين المناخ المحليّ (Microclimate) للحقول من خلال الزّراعة الحراجية، حيث تُزرع الأشجار داخل الحقل الزّراعيّ لتوفير ظلّ جزئيّ، وتقليل سرعة الرّياح، وخفض درجة حرارة الجوّ المحيط بالمحصول الأساسيّ بنحو ٢-٤°م، ممّا يقلّل من إجهاد الحرارة والجفاف.

٨- تخزين Co2 في تكوينات جيولوجيّة داخل الأرض، وهناك ثلاثة مشاريع لاحتجاز وتخزين غاز ثاني أوكسيد الكربون في الجزائر، كندا، بحر الشمال قبالة السّاحل النّرويجيّ، ويتمّ احتجاز CO_2 عن طريق حقنه على شكل سائل تحت ضغط عالٍ في صخور مساميّة عميقة (مثل طبقات الحجر الرّملي المملحة أو مكامن النّفط والغاز المستنفدة) على عمق يزيد عن ٨٠٠ متر، ومن مخاطر هذه التّقنيّة احتمال تسرب CO_2 إلى السّطح أو المياه الجوفية الضحلة عبر الصّدوع الجيولوجيّة أو الآبار غير المحكمة الإغلاق، ممّا قد يؤدّي إلى تلوّث مصادر المياه العذبة (بزيادة حموضتها) أو التّأثير على صحة الإنسان والكائنات الحية في حال تراكم الغاز في المناطق المنخفضة.

الاحتباس الحراريّ.... إلى أين؟

تستند التّوقّعات العلميّة لمستقبل الاحتباس الحراريّ إلى النّماذج المناخيّة المتقدّمة الّتي طوّرتها الهيئة الحكوميّة الدّولية المعنيّة بتغيّر المناخ، والّتي تعتمد على مجموعة من السّيناريوهات المرتبطة بمستويات انبعاثات غازات الدّفيئة ومسارات التّنمية العالميّة، وتشير هذه النّماذج إلى ثلاثة مسارات رئيسة:

المسار الأوّل: سيناريو **منخفض الانبعاثات** يفترض تحوّلاً سريعاً وجذريّاً نحو الطّاقة المتجدّدة وتحسين كفاءة استخدام الطّاقة وتبني تقنيّات احتجاز الكربون، ممّا يسمح بحصر الاحترار العالميّ عند حدود تقارب ١,٥ درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الثّورة الصّناعيّة، ويحدّ من المخاطر المناخيّة الكبرى.

المسار الثّاني: وهو **متوسّط الانبعاثات**، فيفترض استمرار السّياسات الحالية مع تحسين تدريجيّ، ما يؤدّي إلى ارتفاع يتراوح بين ٢ و٣ درجات مئويّة، ويترافق مع زيادة واضحة في شدّة وتكرار الظّواهر الجويّة المتطرّفة مثل موجات الحرّ والجفاف، إضافةً إلى ارتفاع تدريجيّ في مستوى سطح البحر.

في حين يحذّر المسار الثّالث: **مرتفع الانبعاثات**، من استمرار الاعتماد على الوقود الأحفوريّ، حيث قد يصل الاحترار إلى ٤–٥ درجات مئوية بحلول نهاية القرن، مع آثار واسعة تشمل ذوبان الصّفائح الجليديّة في غرينلاند وأنتاركتيكا، وتدهور النّظم البيئيّة، وتهديد قابليّة العيش في بعض المناطق.

وفي إطار تعقيد النّظام المناخيّ، تطرح بعض الدّراسات احتمال **حدوث تبريد إقليميّ نتيجة اضطراب أنظمة دوران المحيطات، خاصّة الدّوران الحراريّ الملحيّ**، بفعل تدفّق المياه العذبة النّاتجة عن ذوبان الجليد، ممّا قد يؤدّي إلى إضعاف نقل الحرارة نحو بعض المناطق مثل أوروبا، إلا أنّ هذا الطّرح لا يشير إلى انعكاس الاتجاه العامّ نحو التّبريد أو عودة عصر جليديّ، بل يعكس استجابة إقليمية ضمن نظام مناخيّ يتّجه إجمالاً نحو الاحترار، وتؤكّد الأدلّة العلميّة، من خلال قياسات تركيز غازات الدفيئة ودرجات الحرارة ومستويات البحار، أنّ النّشاط البشريّ هو العامل الرّئيس في هذا التّغير، وأنّ المسار المستقبليّ للمناخ سيبقى رهناً بمدى سرعة وفعاليّة الجهود العالميّة في خفض الانبعاثات والتّحوّل إلى أنظمة طاقة مستدامة.

مع تمنّياتي بالتّوفيق
د. ميسون زياده