الاشعاع الشمسي

يُعد الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي للطاقة على سطح الأرض، وهو المحرك الأساسي لجميع العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي تحدث في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض.

يعتبر فهم خصائص الإشعاع الشمسي وتفاعله مع الغلاف الجوي والنبات أمراً أساسياً لتحسين الإنتاجية الزراعية، وإدارة المحاصيل، وتصميم البيوت البلاستيكية، وفهم المناخ المحلي.

تتنوع تأثيرات الإشعاع الشمسي لتشمل:

- توفير الطاقة اللازمة لعملية البناء الضوئي (التمثيل الضوئي).
- تحديد توزيع درجات الحرارة على سطح الأرض، مما يؤثر على فترات النمو والزراعة.
- تحريك دورة الماء في الطبيعة من خلال التبخر والنتح.
- التأثير على تكوين السحب وهطول الأمطار والظواهر الجوية المختلفة.

في هذه المحاضرة، سنتعرف على طبيعة الشمس، وخصائص الإشعاع الصادر عنها، ومكوناته الطيفية، والعوامل التي تتحكم في كمية الإشعاع الواصلة إلى سطح الأرض، وأهمية كل جزء من الطيف في العمليات الزراعية، بالإضافة إلى مفهوم الميزان الإشعاعي وتطبيقاته في المجال الزراعي.

الشمس: مصدر الإشعاع:

طبيعة الشمس

الشمس هي كرة غازية متوهجة، ومصدر لكل أنواع الطاقة في الحياة الكونية. تتكون أساساً من الهيدروجين (حوالي 74%) والهيليوم (حوالي 24%)، مع كميات ضئيلة من العناصر الأخرى، تحدث في داخلها تفاعلات الاندماج النووي التي تحول الهيدروجين إلى هيليوم وتطلق كميات هائلة من الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي.

حجم الشمس أكبر من حجم الأرض بـ 1.3 مليون مرة تقريباً (حجمها أكبر بنحو 13×10^5 مرة من الأرض)، كتلة الشمس تشكل حوالي 99.87% من كتلة المجموعة الشمسية بأكملها، تدور الشمس حول نفسها مرة كل 25 يوماً.

الطاقة الكلية المنبعثة تشع الشمس طاقة قدرها حوالي 3.71×10^{26} واط في الفضاء الكوني. ومع أن الأرض تستقبل جزءاً ضئيلاً جداً من هذه الطاقة (حوالي جزء من 2000 مليون جزء)، إلا أن هذا الجزء كافٍ لدعم الحياة وتشغيل الأنظمة المناخية والبيئية.

💡 كمية الطاقة التي تصل إلى كيلومتر مربع واحد من سطح الأرض (مع الغلاف الجوي) تبلغ حوالي 3.3×10^{8} واط، وهي طاقة هائلة يمكن الاستفادة منها في تجفيف المحاصيل، أو تشغيل أنظمة الري بالطاقة الشمسية، أو تدفئة البيوت المحمية.

الثابت الشمسي:

الثابت الشمسي (Solar Constant): هو كمية الطاقة الإشعاعية الواصلة إلى السطح الخارجي للغلاف الجوي بشكل عمودي عندما تكون الأرض في بعدها المتوسط عن الشمس، ويساوي حوالي $1.97 \approx 2$ حريرة/سم^2 /دقيقة، أو 1377 واط/م^2.

يطلق على كل 1 حريرة/سم^2 اسم لانكلي (Langley) ويرمز لها بـ (Ly).

بما أن الأرض إهليلجية وليست دائرية فإن ذلك يسبب اختلافاً في قيمة هذا الثابت بحوالي +3% ويرمز للثابت ب (Io).

تم حساب الثابت الشمسي على أساس أن الشمس تشع ما يقارب من 56×10^{26} حريرة/دقيقة وأن متوسط المسافة بين الأرض والشمس حوالي 1.5×10^{13} سم وعليه فإن الثابت الشمسي يساوي:

$$\text{حريرة/سم}^2\text{/د} \; 2 = \frac{56 \times 10^{26}}{^2(1.5 \times 10^{13})4}$$

إذا فرضنا أن الطاقة تتوزع توزيعاً منتظماً فوق سطح الأرض فإن كمية الطاقة التي تصل وحدة المساحة من الأرض في وحدة الزمن تعرف بالتدفق الإشعاعي (Qs) وهي تساوي **نصف** لانكلي/دقيقة.

إلا أنه في الحقيقة توزع الطاقة غير منتظم والقيمة السنوية عند خط الاستواء = 2.4 أكبر من تلك التي قرب القطبين.

يمكن حساب الزمن الذي تستغرقه الطاقة الضوئية للانتقال من الشمس إلى الأرض باستخدام العلاقة:

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{سرعةالضوء}} = \frac{150 \times 10^{6} \text{ كم}}{3 \times 10^{5} \text{ كم/ث}} = 500 \text{ ثانية} \approx 8.33 \text{ دقيقة}$$

💡 هذا يعني أن كل فوتون يصل إلينا من الشمس قد غادر سطحها قبل حوالي 8 دقائق و20 ثانية.

التركيب الطيفي للإشعاع الشمسي:

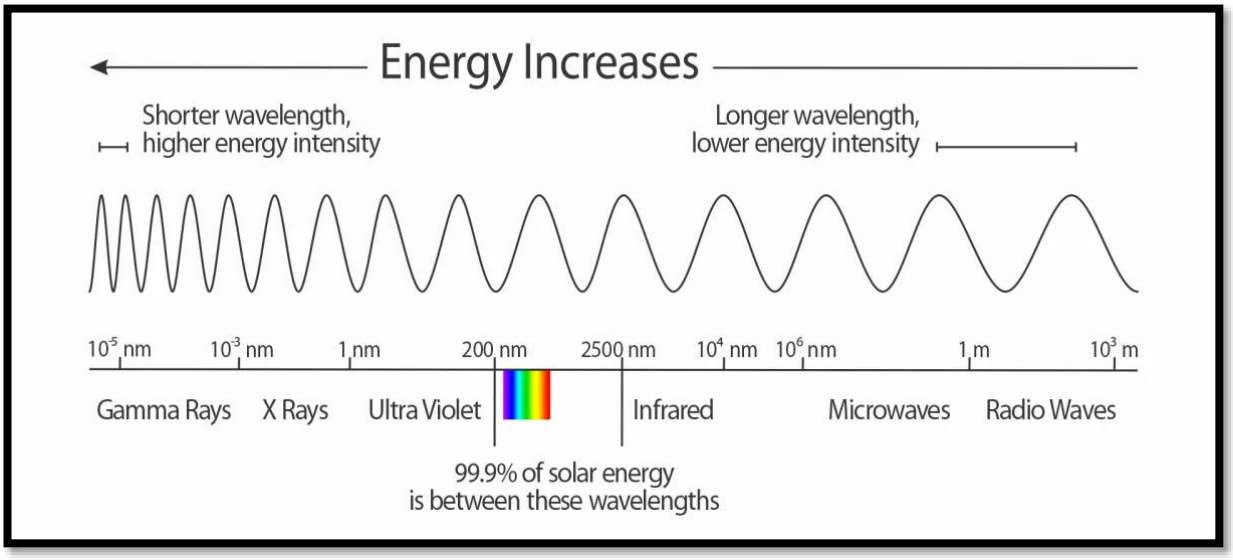
الإشعاع الشمسي ليس أحادي اللون، بل يتألف من مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية ذات الأطوال المختلفة. يقاس طول الموجة (λ) بالميكرون (μ) أو بالملم (mm) أو بالأنغستروم (Ao).

1 ميكرون = 10^{-3} مم = 10^{4} أنغستروم.

يستخدم البعض الميكرومتر (μm) بدلاً عن الميكرون، والنانومتر (nm) بدلاً عن الميليميكرون، يسمى توزع الطاقة الإشعاعية حسب طول الموجات بالطيف الشمسي (Solar Spectrum).

ويتألف هذا الطيف من الأشعة التالية:

1. الأشعة المرئية
2. الأشعة تحت الحمراء
3. الأشعة فوق البنفسجية
4. الأشعة المتبقية من الطيف الشمسي



أولاً: الأشعة المرئية (Visible Radiation):

مدى الموجة: يتراوح طول الموجة 0.4 – 0.76 ميكرون.

النسبة: حوالي 46% من مجموع الأشعة الشمسية الواردة (في أعلى الغلاف الجوي).

خصائصها: يتحلل ضوء الشمس عند مروره عبر الموشور إلى أشعة ملونة تتوزع حسب طول الموجة بالترتيب التالي: بنفسجي (0.4)، أزرق (0.45)، أخضر (0.5)، أصفر (0.55)، برتقالي (0.6)، أحمر (0.7).

الأهمية:

- هي المصدر الأساسي للنور والإضاءة الذي يجعلنا نرى الأشياء من حولنا.
- ضرورية لقيام النبات بعملية التمثيل الضوئي.

💡 أول من حلل الضوء الأبيض إلى ألوانه باستخدام المنشور هو العالم إسحاق نيوتن عام 1667.

ثانياً: الأشعة تحت الحمراء (Infrared Radiation):

مدى الموجة: يتراوح طول الموجة من 0.76 – 100 ميكرون.

النسبة: حوالي 47% من الطيف الشمسي.

خصائصها :غير مرئية، وتسمى بالأشعة الحرارية حيث تُحدث تأثيراً حرارياً قوياً (تسخين الأجسام).

الأهمية:

- في الدراسات المناخية لأنها المسؤولة عن معظم التغيرات الحرارية في الجو (الاحتباس الحراري).

ثالثاً: الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet Radiation):

مدى الموجة: أقل من 0.4 ميكرون (جزء منها قصير جداً أقل من 0.29 ميكرون لا يصل إلى الأرض يتم امتصاصه بطبقة الأوزون).

النسبة: حوالي 7% من الطيف الشمسي.

خصائصها:

- تسبب ارتفاع درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير.
- مفيدة لصحة الإنسان إذا وصلت **بكميات قليلة** إلى سطح الأرض بالتالي تساعد في تخليق فيتامين D في الجلد وتعطي البشرة اللون البرونزي.
- تترك آثاراً **سلبية عند زيادة الجرعة** تسبب حروقاً، تلفDNA ، شيخوخة مبكرة، سرطان الجلد، وتثبيط نمو النباتات وتقليل إنتاجيتها.

رابعاً: الأشعة المتبقية من الطيف الشمسي:

هي الأشعة السينية (X-rays) وأشعة غاما (Gamma rays) والأشعة الكهرطيسية (Microwaves) والأشعة اللاسلكية بالإضافة إلى كمية قليلة من الجزيئات على شكل الكترونات وأيونات أخرى تنطلق من الشمس.

النسبة: تشكل نسبة ضئيلة جداً من الطاقة الشمسية ولا تصل إلى سطح الأرض بكميات مؤثرة (تمتصها طبقات الجو العليا).

الأهمية: تستخدم في بعض التطبيقات الفضائية والاتصالات، لكن ليس لها أهمية زراعية مباشرة.

الأهمية البيولوجية للأجزاء الأساسية من الطيف - الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي (PhAR):

تؤدي الأشعة ذات طول الموجة أقل من 0.4 ميكرون، والتي تتضمن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الفعالة في التمثيل الضوئي والأشعة القريبة من تحت الحمراء دوراً هاماً في العمليات البيولوجية في النبات.

أ. الأشعة فوق البنفسجية (UV):

- تساعد في تمايز الخلايا والنسج، وتؤدي إلى بطء نموها.
- في الارتفاعات القريبة من سطح البحر تصل كميات غير كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية للنبات.
- في المناطق الجبلية العالية (أكثر من 4 كم) تكون طاقة الأشعة فوق البنفسجية أكبر بـ 2-3 مرة مما هو عند مستوى البحر.

ب. الأشعة تحت الحمراء(IR):

- ذات تأثير **حراري**.
- تمتص الماء الموجود في النبات مما يؤدي إلى **زيادة** معدل التبخر وهذا يلعب دوراً كبيراً في نظامها الحراري.
- **تزداد** طاقة الأشعة تحت الحمراء في المناطق الجبلية العالية، **تعوض** الأشعة تحت الحمراء القوية نقص الحرارة المحسوسة من الهواء البارد مما يسمح ببعض العمليات الحيوية.

ج. الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي (Photosynthetically Active Radiation):

- يستعمل جزء فقط من طيف الإشعاع الشمسي في التركيب الضوئي، والذي يقع في حدود موجات ذات طول من 0.38 – 0.71 ميكرون.
- يسمى هذا الجزء من الأشعة بالأشعة الفعالة (أو النشطة) في التركيب الضوئي.
- يستخدم فقط 10% من هذه الأشعة في عملية التركيب الضوئي لتكوين المادة العضوية.
- يعد الضوء من أهم العوامل المؤثرة في إنتاجية النباتات الزراعية، وبالتالي التصور الصحيح عن الأشعة الفعالة في التركيب الضوئي وحساب توزعها بالعلاقة مع المساحة والزمن له أهمية كبيرة للحصول على إنتاج عال.

العوامل المؤثرة في كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض:

هناك ثلاثة عوامل رئيسية تحدد كمية الإشعاع التي يستقبلها موقع معين على سطح الأرض:

1. زاوية ورود الأشعة الشمسية:

كلما ازداد ميل أشعة الشمس عن الوضع العمودي ضعف تأثيرها بسبب انتشار الأشعة على مساحة أكبر وتقطع مسافة أطول داخل الغلاف الجوي، مما يزيد من فرص الامتصاص والانتثار. لذلك الأشعة الواردة عمودياً (زاوية السقوط صفر) تكون أكثر شدةً وتركيزاً.

2. طول النهار:

كلما طالت فترة سطوع الشمس (عدد ساعات الإضاءة الفعلية) زادت كمية الطاقة الإشعاعية الكلية التي يستقبلها سطح الأرض. يتغير طول النهار حسب خط العرض والفصل:

- عند خط الاستواء: النهار ≈ 12 ساعة طوال العام.
- في خطوط العرض المتوسطة (مثل بلاد الشام): النهار أطول في الصيف (14-15 ساعة) وأقصر في الشتاء (9-10 ساعات).
- في المناطق القطبية: نهار مستمر في الصيف وليل مستمر في الشتاء.

💡 كثير من المحاصيل تزهر استجابة لطول النهار (نباتات طويلة النهار مثل القمح، قصيرة النهار مثل الذرة وفول الصويا، أو متعادلة).

3. العوامل الجوية (الغلاف الجوي):

تتمثل بالعمليات الجوية الثلاثة: الانتثار، الامتصاص والانعكاس. ويمكن القول أن الأشعة الشمسية عند اختراقها الطبقة العليا من الجو 7% منها يتجه نحو الأعلى بفعل الانتثار و16% من الأشعة يمتص من قبل الجو و25% ينعكس من قمة الغيوم و1% تمتصه الغيوم و5% ينعكس من سطح الأرض و46% تمتصه سطح الأرض (ينفذ إلى التربة بشكل مباشر 31% وغير مباشر 15%). تعمل مكونات الغلاف الجوي على تخفيف الإشعاع من خلال:

- **الانتثار** :هو تبعثر الأشعة أو تشتتها في اتجاهات مختلفة عند اصطدامها ببعض المركبات الجوية مما يجعلها تصل إلى سطح الأرض من اتجاهات مغايرة للاتجاه الأصلي للأشعة. ويتوقف الانتثار على النسبة بين نصف قطر الجسيمات في الجو وطول الموجات الاشعاعية.
- **الامتصاص:** تمتص بعض مركبات الجو والمواد العالقة فيه جزءاً كبيراً من الأشعة الشمسية، ويتوقف الجزء الممتص على طول الموجة الاشعاعية من جهة وعلى نوعية المواد العالقة في الجو من جهة أخرى.
- **الانعكاس** :عندما تكون الجزيئات العالقة في الجو ذات أنصاف أقطار أكبر من طول موجات الأشعة القادمة من الشمس فإن الأشعة تتعرض لانعكاس عام وشامل لأنواعها كافة. وهكذا تنعكس الأشعة

على سطوح الغيوم والجزيئات العالقة في الجو والمسطحات المائية واليابسة. وتتوقف نسبة الأشعة المنعكسة على عاملين رئيسين هما: طبيعة السطح العاكس وزاوية سقوط الاشعاع الشمسي.

يستخدم مصطلح **ألبيدو** (Albedo) لمعامل انعكاس موجات الأشعة القصيرة ويختلف معامل الانعكاس وفقاً لاختلاف السطوح الطبيعية والألوان .....

ألبيدو (البياض): هو النسبة المئوية للإشعاع الشمسي (قصير الموجة) المنعكس عن سطح ما إلى الإشعاع الكلي الساقط عليه.

$$\text{Albedo} = \frac{R_r}{Q} \times 100\%$$

- البياض للمسطحات المائية **يزداد** عندما تكون الشمس منخفضة (صباحاً/مساءً) أو عندما يكون البحر هائجاً.
- الأراضي الزراعية ذات السطح الخشن (محروثة، مزروعة) لها بياض أعلى صباحاً ومساءً بسبب زيادة الإشعاع المنتشر.
- يمكن استخدام مواد عالية البياض (كالطلاء الأبيض) على أسطح البيوت البلاستيكية أو التربة لتقليل ارتفاع الحرارة في المناطق الحارة، أو مواد منخفضة البياض في المناطق الباردة لزيادة امتصاص الحرارة.

جدول (1): قيمة معامل الانعكاس

نوع السطح	Albedo%	نوع السطح	Albedo%
تربة قاتمة	15 - 5	حقول بطاطا	25 – 15
تربة رمادية رطبة	20 - 10	حقول قطن	25 – 20
تربة طينية	35 - 20	أراضي المروج	25 – 15
تربة رملية جافة ذات لون فاتح	40 - 35	ثلج جاف جديد	95 – 85
غابات صنوبر	15 - 10	ثلج رطب نظيف	70 – 60
غابات ورقية	20 - 15	ثلج غير نظيف	50 – 40
حقول قمح	25 - 10	جليد بحري	40 - 30

تأثير الإشعاع الشمسي على التركيب الكيميائي للنبات والإنتاج الحيواني

يعد الإشعاع الشمسي عاملاً بيئياً حاسماً لا يقتصر تأثيره على عملية التمثيل الضوئي فحسب، بل يمتد ليشمل التركيب الكيميائي للنباتات وإنتاجية الكائنات الحية. فقد ثبت علمياً وجود علاقة طردية وثيقة بين عدد الأيام المشمسة ومحتوى بعض المحاصيل من المركبات العضوية الأساسية فالسكر في جذور الشوندر السكري وحبات العنب تزداد بشكل ملحوظ مع ازدياد عدد ساعات السطوع الشمسي، وذلك لأن الضوء يعزز عملية

البناء الضوئي ويحفز تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى سكريات. وبالمثل يرتبط محتوى **البروتين** في حبوب القمح بالإشعاع الشمسي إذ يعمل الضوء على تنشيط إنزيمات اختزال النترات، مما يزيد من امتصاص النبات للنيتروجين وإدماجه في الأحماض الأمينية والبروتينات.

كما أظهرت الدراسات أن شدة الإشعاع الشمسي تؤثر مباشرة في جودة الثمار؛ فنسبة السكر في التفاح والعنب والإجاص والبطيخ ترتبط إيجاباً بزيادة شدة الضوء خلال فترة النضج، حيث يعمل الضوء على تعزيز عملية التمثيل الضوئي في الأوراق وتوجيه النواتج السكرية نحو الثمار. وعلى النقيض بينت التجارب الزراعية أن نقص وصول الإشعاع الشمسي (كما يحدث تحت ظل الأشجار الكثيفة أو في البيوت الزجاجية غير المضاءة بشكل كافٍ) يعيق قدرة نبات البندورة على الاستفادة من عنصري الفوسفور والبوتاسيوم الهامين لنمو الجذور وجودة الثمار ومقاومة الأمراض؛ فالضوء ينظم التعبير الجيني للناقلات الأيونية في الجذور، ونقصه يضعف امتصاص هذه المغذيات.

أما على صعيد الإنتاج الحيواني، فقد ثبت أن تعريض الحيوانات الزراعية (كالأبقار والدواجن والأغنام) للأشعة فوق البنفسجية، وخاصة في فصل الشتاء عندما يكون الضوء الطبيعي ضعيفاً، يؤدي إلى زيادة إنتاجيتها (من حليب وبيض ولحم) والحفاظ على صحتها بشكل جيد. تفسر هذه الفائدة بأن الأشعة فوق البنفسجية تحفز تصنيع فيتامين D3 في الجلد الضروري لامتصاص الكالسيوم والفوسفور، مما يقوي العظام ويعزز المناعة ويقلل من مشكلات الكساح والعقم. لذلك يوصى في الأنظمة الحديثة بتوفير إضاءة تحاكي طيف الشمس لضمان تحقيق هذه الفوائد حتى في ظل قلة الإشعاع الطبيعي.

مما سبق يتضح أن الإشعاع الشمسي ليس مجرد مصدر للطاقة بل هو منظم حيوي يؤثر في كيمياء النباتات وجودة المحاصيل، وصحة وإنتاجية الماشية، مما يستوجب إدارة دقيقة لتعرض النباتات والحيوانات للضوء في الأنظمة الزراعية المكثفة.

تأثير الإشعاع الشمسي على العمليات الجوية والغلاف الجوي:

يعد الإشعاع الشمسي المصدر الأساسي للطاقة التي تدفع جميع العمليات الجوية والظواهر المناخية على كوكب الأرض، ويمتد تأثيره ليشمل النظم البيئية بأكملها. يمكن فهم هذا التأثير من خلال:

1. **لون السماء:**

يفسر لون السماء **الأزرق** خلال النهار بظاهرة انتثار رايلي (Rayleigh Scattering)، حيث تتعرض الموجات القصيرة (الزرقاء) للانتثار في جزيئات الهواء أكثر من الموجات الطويلة (الحمراء)، فتتوزع في كل الاتجاهات وتصل إلى أعيننا من السماء بأكملها. أما ألوان **الغسق** والحمراء عند شروق الشمس وغروبها فسببها زيادة مسار الأشعة في طبقات سميكة من الجو مما يؤدي إلى تبدد معظم الموجات الزرقاء والبنفسجية تاركاً الموجات الطويلة (الحمراء والبرتقالية) لتسيطر على المشهد.

2. **الظواهر البصرية الأخرى:**

يؤدي انكسار الضوء داخل قطرات الماء المعلقة في الجو إلى تشكل ظاهرة **قوس قزح**، حيث يفصل الضوء الأبيض إلى أطيافه المكونة له. بينما تسبب بلورات الجليد السداسية الشكل في الغلاف الجوي العلوي ظاهرة **الهالة والدوائر الضوئية** (halos) حول الشمس أو القمر نتيجة انكسار الضوء بزوايا محددة (عادة 22 درجة).

3. **التسخين غير المنتظم للأرض (أساس الرياح والتيارات):**

لا يتوزع الإشعاع الشمسي بشكل متساوٍ على سطح الأرض، فتسخن **اليابسة** أسرع من **الماء** (بسبب انخفاض حرارتها النوعية)، وتستقبل **المناطق الاستوائية** كمية من الإشعاع أكبر بكثير من **المناطق القطبية** (بسبب زاوية سقوط الأشعة). هذا التفاوت في التسخين يعد **المحرك الرئيسي** لحركة الرياح والتيارات الهوائية والدورة العامة للغلاف الجوي (General Circulation)، حيث يرتفع الهواء الدافئ الخفيف في المناطق الحارة، ويتدفق الهواء البارد الكثيف ليحل محله، مولّداً أنظمة الضغط الجوي والرياح التجارية والأعاصير.

4. **دورة الماء (الهيدرولوجية):**

يعمل الإشعاع الشمسي على تزويد سطح الأرض بالطاقة اللازمة لـ **تبخر** المياه من المحيطات والبحيرات والتربة، كما يحفز **نتح** النباتات، يحمل بخار الماء الناتج بواسطة الرياح (المتولدة بدورها من التسخين غير المنتظم) إلى اليابسة، حيث يبرد في طبقات الجو العليا، فيتكاثف حول نوى التكاثف (كجزيئات الغبار) ليشكل السحب. ثم **يهطل** على شكل مطر أو ثلج، وهو المصدر الأساسي للمياه العذبة التي تعتمد عليها الزراعة والأنهار والبحيرات الجوفية.

أنواع الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض:

عندما تخترق الأشعة الشمسية الغلاف الجوي للأرض، تتفاعل مع مكونات الغلاف الجوي (جزيئات الهواء، الغبار، بخار الماء، قطرات السحب) من خلال ثلاث عمليات رئيسية: **الامتصاص (Absorption)**، **الانتثار(Scattering)** ، و**الانعكاس** .**(Reflection)** ونتيجة لذلك يمكن تقسيم الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض إلى ثلاثة أنواع:

1. الإشعاع المباشر (Direct Radiation):

هو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض مباشرةً من قرص الشمس على شكل حزم متوازية من الأشعة دون أن يتعرض لأي تغيير في اتجاهه أو شدته نتيجة الامتصاص أو الانتثار. تعتمد شدته على صفاء الجو وارتفاع الشمس في السماء.

2. الإشعاع المنتشر أو المبعثر (Diffuse/Scattered Radiation):

هو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يتناثر (يغير اتجاهه) بواسطة جزيئات الهواء (خاصة النيتروجين والأكسجين) والغبار والهباء الجوي (Aerosols).

يصل إلى سطح الأرض من جميع اتجاهات السماء، وليس من قرص الشمس فقط. في الأيام الغائمة قد يكون الإشعاع المنتشر هو المصدر الوحيد للإشعاع (غياب الظل).

الإشعاع المنتشر يخترق مظلة النبات (Canopy) بشكل أفضل من الإشعاع المباشر، مما يحسن توزيع الضوء على الأوراق السفلية ويحسن كفاءة التمثيل الضوئي الكلية للمحصول.

3. الإشعاع المنعكس (Reflected Radiation):

هو الجزء من الإشعاع الشمسي الذي ينعكس (يرتد) عن سطح الأرض والغيوم إلى الغلاف الجوي.

يعتمد مقدار الانعكاس على خصائص السطح (نوع التربة، لونها، رطوبتها، الغطاء النباتي، الثلوج).

يُعبّر عن نسبة الانعكاس بـ **البياض (Albedo).**

4. الإشعاع الكلي (Global Radiation):

هو مجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتثر الذي يصل الأرض:

$$Q = S + D$$

حيث:

- Q :الإشعاع الكلي (واط/م^2 أو حريرة/سم^2/يوم).
- S :الإشعاع المباشر على سطح أفقي (معامل جيب تمام زاوية السقوط).
- D :الإشعاع المنتشر.

الميزان الإشعاعي (Radiation Balance / Net Radiation):

الميزان الإشعاعي هو الفرق بين الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض والإشعاع الصادر منه. وهو الذي يحدد صافي الطاقة المتاحة لتسخين التربة والهواء، ولعمليات التبخر والنتح.

ويتألف الميزان الإشعاعي من إشعاعات قصيرة الموجة وأخرى طويلة الموجة ويتضمن العناصر التالية كما هو مبين في المعادلة:

$$R_n = (S' + D) - R_r + (E_a \downarrow - E_e \uparrow)$$

حيث:

- R_n :صافي الإشعاع (Net Radiation) واط/م^2.

- S' :الإشعاع المباشر على سطح أفقي.
- D :الإشعاع المنتشر.
- R_r :الإشعاع المنعكس (الموجات القصيرة المنعكسة عن سطح الأرض).
- $E_a \downarrow$:الإشعاع الحراري (طويل الموجة) الوارد من الغلاف الجوي (الانبعاث الجوي).
- $E_e \uparrow$:الإشعاع الحراري (طويل الموجة) الصادر من سطح الأرض.

بشكل مبسط، يمكن كتابة:

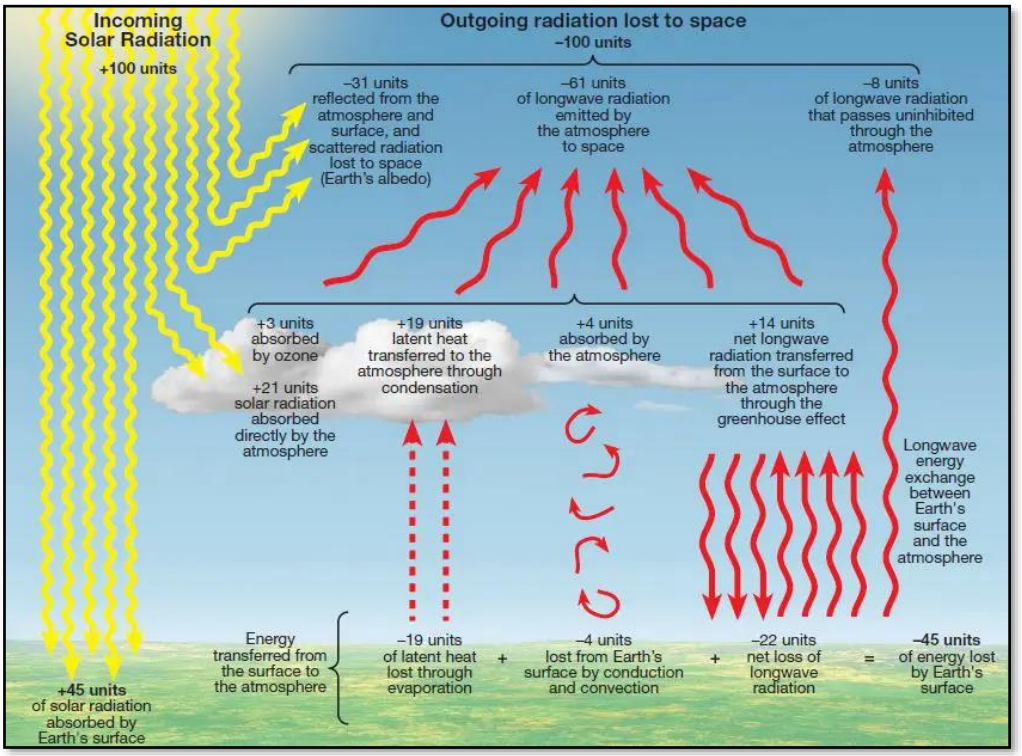
$$R_n = K\downarrow - K\uparrow + L\downarrow - L\uparrow$$

حيث K تشير للإشعاع قصير الموجة، و L للإشعاع طويل الموجة.

إذا كان ورود الإشعاع أكبر من استهلاكه فإن الميزان الإشعاعي يكون **موجباً** وتسخن طبقة الأرض الفعالة.

وعندما يكون الميزان الإشعاعي **سالباً** تبرد هذه الطبقة.

إن دراسة الميزان الإشعاعي للأراضي الزراعية يسمح بحساب كمية الإشعاع الذي تمتصه المزروعات بالعلاقة مع ارتفاع الشمس وتركيب المزروعات ومراحل نمو النبات.



الشكل (2): يوضح ميزان الاشعاع الشمسي

الإشعاع الجوي والأرضي (ظاهرة الدفيئة):

الإشعاع الأرضي هو أقل بقليل من إشعاع الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة.

- يسمح الغلاف الجوي بدرجة كبيرة بمرور الأشعة الشمسية قصيرة الموجة إلى سطح الأرض، ولكنه يحتجز الإشعاع الحراري الأرضي طويل الموجة بسبب تركيز بخار الماء وCO_2 في الطبقات القريبة من سطح الأرض، والتي تمتص بكفاءة عالية هذه الإشعاعات وتمنع جزء كبير منها من التسرب إلى الفضاء الخارجي. وبذلك تحافظ الأرض على حرارتها وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الدفيئة.
- يشبه الغلاف الجوي في هذه الحالة البيت الزجاجي أو البلاستيكي، لأنه يسمح للأشعة القصيرة بالمرور وتسخين الأرض والنباتات ولا يسمح للأشعة الطويلة بالخروج إلا بشكل قليل.