جامعة حماه
كلية الزراعة

مقرَّر الأرصاد الجوية والمناخ الزراعي
المحاضرة النظرية الثالثة 2018/10/24

الإشعاع الشمسي والتوازن الحراري

1- الشمس وأنواع تيارات الإشعاع الشمسي:

الشمس: هي كرة غازية متوهجة، ومصدر لكل أنواع الطاقة في الحياة الكونية وحجمها أكبر من حجم الأرض بـ10×13^{5} مرة. وتبلغ كتلتها 99.87% من كتلة كامل المجموعة الشمسية.

تشع الشمس ما يقارب10×3.71^{26} واط في الفراغ الكوني، ولكن ما يصل الأرض من هذه الكمية هو جزء من 2000 مليون حيث يصل إلى 1 كم^2 من سطح الأرض (مع الجو) حوالي $10\ x\ 3.3^{8}$ واط، وهذا يساوي استطاعة 330 ألف كيلو واط. وللمقارنة فإن استطاعة محطة براتسكي المائية لتوليد الطاقة (حوالي 4 مليون كيلو واط) تعادل تقريباً استطاعة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى 12 كم^2 من سطح الأرض.

ويُعبَّر عن استطاعة تيار الإشعاع الشمسي في النظام الدولي بالواط على 1 متر مربع (واط/م^2). ويُعبَّر عنه في الأرصاد الجوية بالحريرات (كالوري) على مساحة 1 سم^2 خلال دقيقة واحدة (حريرة/سم^2/د).

وتشع الشمس أشعة بنسبة ثابتة تقدّر بحوالي 2 حريرة/سم^2/دقيقة لسطح عمودي على شعاع الشمس، وهذه النسبة تعرف باسم الثابت الشمسي solar constant، وبما أنَّ الأرض إهليلجيه وليست دائرية فإن ذلك يسبّب اختلافاً في قيمة هذا الثابت بحوالي +3% ونرمز للثابت (Io). ولقد حسب هذا الثابت الشمسي على أساس أنَّ الشمس تشعّ ما يقرب من $10\ x\ 56^{26}$ حريرة في الدقيقة وأنَّ متوسط المسافة بين الأرض والشمس يقرب من $10\ x1.5^{13}$ سم (93 مليون ميل) وعليه فإنَّ الثابت الشمسي يساوي:

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

إذاً يمكن تعريف الثابت الشمسي بأنه الطاقة الإشعاعية الواصلة إلى السطح الخارجي للغلاف الجوي بشكل عامودي عندما تكون الأرض في بعدها المتوسط عن الشمس ويساوي 1.97 حريرة/سم^2/د أو 1377 واط/م^2.

ويطلق على كل سعر حراري/ سم^2 اسم لانكلي Langley ويُرمز له بـ (Ly). وإذا فرضنا أنَّ نصف قطر الأرض (r) يساوي 6.37×10^{8} سم فإن كمية الطاقة الشمسية Solar energy التي تصل الأرض في وحدة الزمن تساوي:

$$2 \times (6.37 \times 10^{8})^2 = 2.55 \times 10^{18} \text{ حريرة/د}$$

$$= 3.67 \times 10^{21} \text{ حريرة / اليوم}$$

وإذا فرضنا أنَّ هذه الطاقة تتوزع توزيعاً منتظماً فوق سطح الأرض فإنَّ كمية الطاقة التي تصل وحدة المساحة من هذه الأرض في وحدة الزمن والتي تعرف بالتدفق الإشعاعي (Qs) تساوي:

$$Qs = \pi r^2 \, Io/4 \quad \pi r^2 = Io/4 = 0.5 \text{ Ly/min}$$

أي أنَّه يساوي نصف لانكلي في الدقيقة. وحقيقةً فإنَّ توزيع الطاقة غير منتظم والقيمة السنوية عند خط الاستواء = 2.4 أكبر من تلك التي قرب القطبين.

وإذا قسّمنا على كمية الأشعة التي تصدرها الشمس تلك التي تصل الأرض من الشمس لوجدنا أنَّها تساوي:

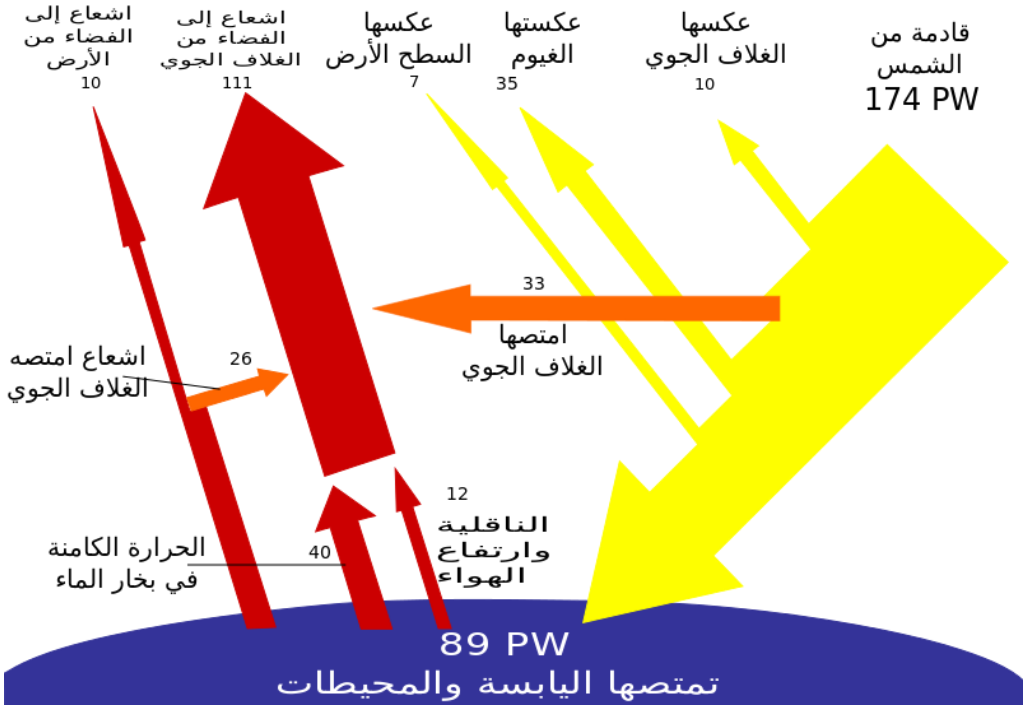
$$2.55 \times 10^{18} / 56 \times 10^{26} = 1 / 22 \times 10^{8}$$ حريرة / د

أي أنَّ كمية الأشعة التي تصل الأرض من الشمس كما ذكرنا سابقاً تمثّل جزءاً صغيراً جداً من الأشعة الشمسية الكلية.

ويُصادَف في الغلاف الجوي ثلاثة أشكال من الإشعاع الشمسي: إشعاع مباشر وإشعاع منتثر وإشعاع منعكس:

- **الأشعة المباشرة:** هي تلك الأشعة التي تصل الكرة الأرضية مباشرة من قرص الشمس على شكل حزم متوازية من الأشعة.
- **الأشعة المتناثرة (المبعثرة) Scattered radiation:** هي الجزء من الإشعاع الشمسي الذي يتناثر بوساطة جزيئات الغاز والايروسول الموجودة في الجو عندما يمر من خلاله.
- **الأشعة المنعكسة Reflected radiation:** وهي الجزء من الإشعاع الشمسي الذي ينعكس من سطح الأرض والغيوم وغيرها.

ومجموع الإشعاع المباشر والإشعاع المنتثر الذي يصل الأرض يشكل الإشعاع الإجمالي (الكلي). انظر الشكل (1)



الشكل رقم (1) كيفية توزّع أشعة الشمس على الأرض

2- تأثير الإشعاع الشمسي على العمليات الجوية والغلاف الحيوي:

إنَّ الإشعاع الشمسي هو المصدر الأساسي للطاقة ولجميع العمليات الطبيعية التي تجري في الجو وعلى سطح الأرض تقريباً. وهو عنصر رئيسي من عناصر المناخ. فالأشعة الشمسية التي تمر خلال الجو تسبّب العديد من الظواهر الجوية، فنلاحظ اللون الأزرق للسماء وظاهرة الغسق واللون الأحمر للشمس عند الأفق هو نتيجة تناثر الأشعة الشمسية.

وعند انكسار الأشعة في قطيرات الماء وحبيبات الجليد الكريستالية نشاهد قوس قزح وهالة ودوائر حول الشمس، وظواهر جوية أخرى. ويؤدّي الإشعاع الشمسي إلى تسخين سطح اليابسة والمحيط العالمي

بصورة غير منتظمة، وهذا يسبّب نقل الكتل الهوائية والتيارات الصاعدة من الهواء وخلطه وينتج عن ذلك ثبات التركيب الأساسي لغازات الجو واستقراره.

تتبخَّر كمية كبيرة من الماء من سطح الأحواض المائية ومن التربة والنبات وذلك تحت تأثير الأشعة الشمسية. ويعدّ بخار الماء المحمول بوساطة الرياح من المحيطات والبحار إلى اليابسة مصدراً أساسياً للأمطار التي تغذي الأنهار وتروي الحقول والبساتين والغابات.

- الطاقة الشمسية: هي مصدر الحياة على الكرة الأرضية. والنبات الأخضر هو الوسيط الذي يربط الطاقة الشمسية بحياة الإنسان. وقد بيَّن العالم تيمريازف دور النبات الأخضر في عملية التمثيل الضوئي الذي يحوّل طاقة الشمس إلى مادة عضوية مطلقاً الأوكسجين. وتعد المواد العضوية في النباتات الغذاء الرئيس لجميع الكائنات الحية ومصدراً هاماً للطاقة البشرية (فحم حجري - نفط - خث -...).

- ضوء الشمس: هو عامل لا بديل عنه في حياة النبات والحيوان. ولذلك تتأثر الكائنات الحية بتغير شدة الإشعاع الشمسي وتركيب طيفه على طول اليوم بصورة كبيرة. وتتحدَّد شدة الإشعاع الشمسي بطبيعة النبت. حيث تُقسم جميع أشكال النبت حسب تفاعل الشدة المختلفة للإشعاع إلى محبة للضوء ومتحملة للظل.

وتسبّب الإضاءة غير الكافية في المزروعات خلال عدة أيام غائمة إلى تمايز ضعيف في أنسجة المحاصيل الحبية مما يؤدّي إلى رقادها. وكذلك يضعف تشكيل أكواز الذرة الصفراء عند الزراعة الكثيفة بسبب ضعف شدة الإشعاع الشمسي.

ويؤثّر الإشعاع الشمسي على التركيب الكيميائي للنباتات. فمثلاً ترتبط نسبة السكر في الشوندر والعنب ومحتوى البروتين في حبوب القمح بصورة وثيقة مع عدد الأيام المشمسة. وكذلك نسبة السكر في التفاح وثمار أخرى لها علاقة بشدة الإشعاع الشمسي. وقد بيَّنت التجارب أنَّ نقصان ورود الإشعاع الشمسي يعيق استعمال الفوسفات والبوتاسيوم في البندورة. وثبت أيضاً أنَّ تعريض الحيوانات الزراعية للأشعة فوق البنفسجية في فترة الشتاء يؤدي إلى زيادة انتاجيتها والحفاظ على صحتها بصورة جيدة.

3-التركيب الطيفي للإشعاع الشمسي:

يتألف الإشعاع الشمسي من موجات كهرومغناطيسية مختلفة الأطوال. ويقاس طول الموجة λ بالميكرون (μ) أو بالمم (mm) أو بالأنغستروم (Ao).

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

ويستخدم البعض الميكرومتر μm عوضاً عن الميكرون والنانومتر nm عوضاً عن الميليميكرون. ويُسمى توزّع الطاقة الإشعاعية حسب طول الموجات بالطيف الشمسي solar spectrum. **ويتألف هذا الطيف من الأشعة التالية:**

أ- الأشعة المرئية (الضوئية) Visible:

يتراوح طول موجاتها من 0.4- 0.76 ميكرون. وتبلغ نسبة الأشعة المرئية من الطيف في الحد الأعلى من الجو 46% من مجموع الأشعة الشمسية الواردة. وعند مرور ضوء الشمس عبر موشور يتحلل إلى أشعة ملونة تتوزع حسب تناقص طول الموجة في الترتيب التالي: أحمر – برتقالي – أصفر – أخضر – أزرق فاتح – أزرق غامق – بنفسجي. وعند التأثير المشترك لكامل هذه الأشعة على عيون الإنسان يشعر كلون أبيض. وأوّل من قام بتحليل الضوء هو نيوتن عام 1667.

يعطي الجزء المرئي من الطيف الإضاءة، وبالتالي فالأشعة المرئية هي مصدر النور والإضاءة وتجعلنا نرى الأشياء من حولنا. وهي ضرورية لقيام النبات بعملية التمثيل الضوئي.

ب- الأشعة تحت الحمراء Infra-red waves:

تصل طول موجاتها من 0.76 – 100 ميكرون، وتؤلّف بذلك نسبة تقارب 47 % من الطيف الشمسي. والأشعة تحت الحمراء غير مرئية وتحدث أثراً حرارياً. ولهذه الأشعة أهمية كبرى في الدراسات المناخية لكونها مسؤولة عن معظم التغيرات التي تحدث في الجو.

ت- الأشعة فوق البنفسجية Ultra-violet:

طـول موجاتهـا أقـل مـن 0.4 ميكـرون، وهـي أشـعة قصـيرة الموجـة غيـر مرئيـة وتشـكّل 7% من الطيف الشمسي. والأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة أقل من 0.29 ميكرون لاتصل إلى سطح الأرض لأنَّ الأوزون يمتصها بصورة كاملة في طبقات الجو العليا.

وتمتاز هذه الأشعة بأنَّها:

- تسبّب ارتفاع درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير.
- مفيدة لصحة الانسان إذا وصلت بكميات قليلة إلى سطح الأرض وبالتالي تعطي البشرة لوناً برونزياً عند التعرض لأشعة الشمس فترة طويلة من الزمن.
- تتـرك آثـاراً سـلبية خطيـرة علـى الإنسـان والأحيـاء الأخـرى إذا زادت نسـبتها عـن الحد المسموح.

ث- الأشعة المتبقية من الطيف الشمسي:

هـي الأشـعة السـينية X-rays وأشـعة غامـاGamma rays والأشـعة الدقيقـة أو الكهرطيسـية Micro waves واللاسلكية بالإضافة إلى كمية قليلة من الجزيئات على شكل الكترونات وأيونات أخرى تنطلق أحياناً من الشمس.

وتتمركز حوالي 90% من الأشعة الكلية في النطاق الضيق للأشعة المرئية. ويُفسَّر ذلك على أساس قانون فين للإزاحة Wein الذي ينص على أنَّ طول الموجة التي ينتشر عندها أعظم طاقة تتناسب عكساً مع درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود المشع.

أي أنَّ:

$$\lambda max = 2897/T$$

حيث λ max : طول الموجة بالميكرون الذي ينطلق عندها أعظم طاقة.

T: درجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود المشع.

فإذا اعتبرنا أنَّ الشمس جسم أسود Black body والذي يُعرف بأنَّه الجسم الذي يمتص كل الأشعة التـي تسـقط علـى سـطحه أمكـن تقـدير درجـة حـرارة جسـمه مـن قـانون سـتيفان- بولتزمـان Stefan-Boltzmann والذي ينص على أنَّ تدفُّق الإشعاع Flux of radiation(E) لجسم أسود يتناسب طرداً مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقة Absolute temperature أي:

$$E = \sigma T^4$$

حيث: σ تسمى ثابت ستيفان بولتزمان وتساوي 8.14×10^{-11} لانكلي/د

وفي حالة الشمس فإنَّ:

$$\text{التدفق} = \frac{56 \times 10^{26} \text{ (الإشعاع الشمسي في الدقيقة)}}{6.093 \times 10^{22} \text{ (مساحة سطح الشمس)}} \quad 9.2 \times 10^4 \text{ لانكلي/ د}$$

ويمكن حساب درجة حرارة الشمس من قانون ستيفان بولتزمان كما يلي:

$$9.2 \times 10^4 = (8.11 \times 10^{-11}) T^4$$

ومنه $T = 5800\ K^0$ درجة مطلقة (كالفن)

وبتطبيق قانون فين فإننا نجد تقريباً أن:

$$\lambda \text{ max} = 0.5\ \mu$$

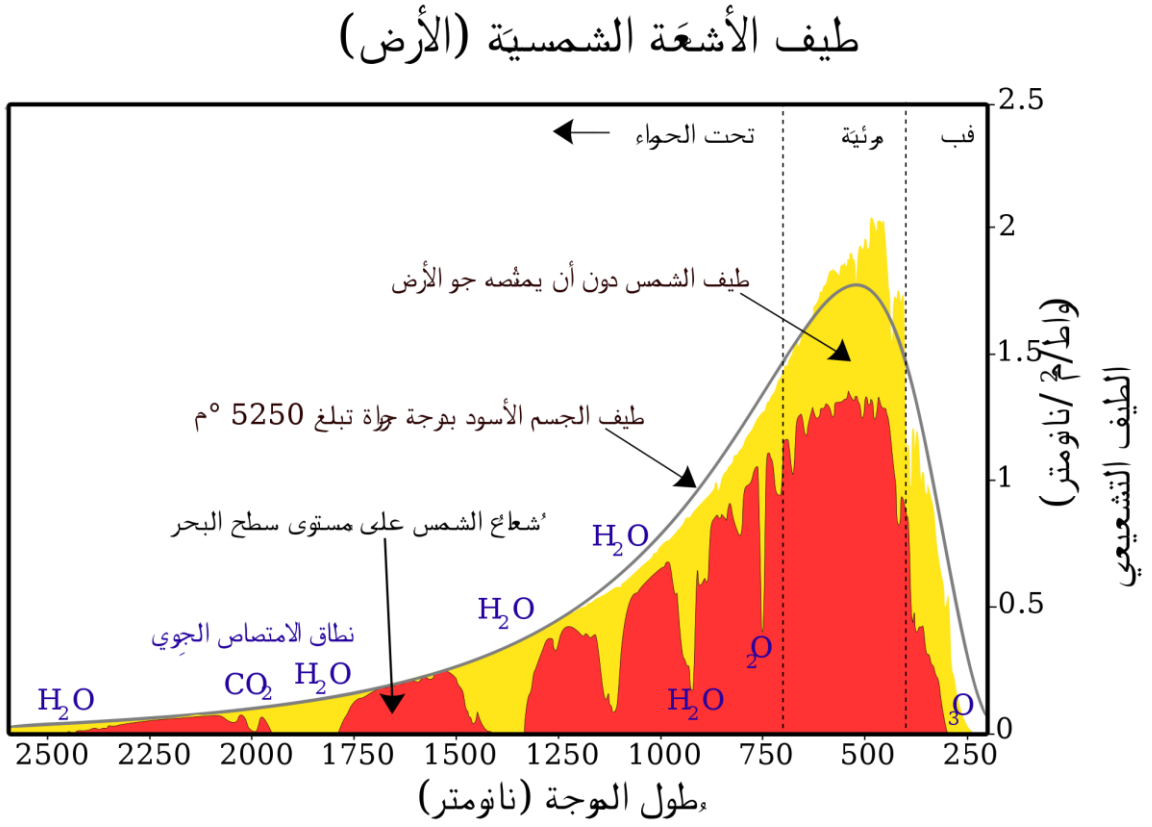
وهذه الموجة تقع ضمن نطاق الأشعة المرئية. وغالباً فإن 99% من الأشعة الشمسية تقع طول موجاتها بين 0.15 و4 ميكرون وهي موجات قصيرة.

4- امتصاص وانتشار الأشعة الشمسية في الغلاف الجوي بالعلاقة مع ارتفاع الشمس:

عند مرور الأشعة الشمسية خلال الجو تضعف بسبب عملية الامتصاص والانتشار من قبل الغازات الجوية والايروسول. وبالتالي يتغير التركيب الطيفي لأشعة الشمس. ويوضح الشكل رقم (2) توزع الطاقة في الطيف الشمسي خارج حدود العلاف الجوي وعند سطح الأرض على ارتفاعات مختلفة من الشمس.

ونتيجة التناثر يضعف الجزء قصير الموجة كثيراً في الجزء المرئي من الطيف (الأزرق والبنفسجي) بصورة أساسية، ويضعف الجزء طويل الموجة (برتقالي وأحمر) بدرجة أقل. ويحوي جزء من الأشعة تحت الحمراء من الطيف مجموعة من الأقسام ذات الطاقة المنخفضة والمرتبطة بامتصاص بخار الماء وCO_2.

وإنَّ الطريق الذي تمر فيه الأشعة الشمسية عبر الغلاف الجوي غير متساوٍ وذلك لاختلاف ارتفاع الشمس أو زاوية الورود. فكلما ازداد طول مسار الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي قلَّت الكمية الواصلة من الأشعة إلى سطح الأرض. وتُستخدم الكتلة الجوية m لقياس وحدة المسار الذي تمر فيه الأشعة الشمسية عند وضع الشمس في السمت تماماً (أي عند ورود الأشعة بزاوية 90˚ على سطح الأرض). وعندما تقع الشمس في الأفق تكون كتلة الهواء air mass التي تمر فيها الأشعة أكبر بحوالي 35 مرة تقريباً من وضع الشمس في السمت. فكلما كانت كتلة الجو كبيرة كان امتصاص وانتشار الأشعة الشمسية التي تمر من خلالها كبيراً، وبالتالي يتغير تركيبها الطيفي بشكل كبير.



شكل (2) توزع الطاقة في الطيف الشمسي طيف الشمس المأخوذ بالقمر الصناعي (أصفر) وعلى الأرض (أحمر) بالمقارنة بطيف الجسم الأسود. ينطبق طيف القمر الصناعي مع النظرية.

إنَّ تبعثر الإشعاع في الجو بوساطة جزيئات الغاز التي حجمها أقل من 0.1 من طول موجات الإشعاع الشمسي يجري وفق قانون التناثر الجزيئي (قانون ريلي). حيث تتناسب شدة التناثر الجزيئي عكساً مع الدرجة الرابعة لطول الموجة. ولهذا السبب كلما كان طول الموجة أصغر كان تناثر الأشعة أقوى. وهكذا تكون أصغر الموجات القصيرة من الأشعة المرئية المنتثرة (البنفسجية التي طول موجاتها أقل بمرتين تقريباً من أطول الموجات أي الحمراء) أقوى بـ 16 مرة ($2^4 = 16$). وعلى الرغم من أنَّ طول موجات الأشعة البنفسجية أقصر من طول موجات الأشعة الزرقاء فإنَّ السماء تكتسب اللون الأزرق السماوي لأن الطاقة الأولية (قبل التناثر) للأشعة الزرقاء أكبر من البنفسجية. وهذا يفسر اللون الأزرق للسماء الصافية عند رؤيتها من سطح الأرض.

وتنتج ظاهرة الغسق (الشفق) عن تناثر الإشعاع الشمسي أيضاً. وذلك بعد غروب الشمس فإن الطبقات العليا من الجو ما تزال مضاءة بأشعة الشمس، وبالتالي تؤدّي إلى تناثرها حيث يصل جزء من الإشعاع المتناثر إلى سطح الأرض مسبباً الإضاءة المعتمة. ويتوقف طول فترة الغسق على خطوط العرض الجغرافية للمكان، وعلى الفترة من السنة. فتمتد فترة الغسق حوالي 20-25 دقيقة في المناطق الاستوائية، وتزداد هذه الفترة بزيادة خطوط العرض أي عند خط العرض 60˚ إلى الشمال تمتد فترة الغسق طوال الليل في وسط الصيف، وتسمى بذلك الليالي البيضاء.

يتوقف تبعثر الإشعاع عن طريق الايروسول (غبار– قطيرات الغيوم والأمطار– بلورات الجليد.....) على طول الموجات الضوئية. فالجزيئات التي قطرها $< 10^{-3}$ ميكرون (قطيرات الضباب والغيوم) تؤدّي إلى تناثر جميع أجزاء الطيف الشمسي بصورة متساوية. ولهذا السبب يملك الضباب والغيوم لوناً أبيض.

كلما ازداد طول مسار الأشعة الشمسية في الجو قل ارتفاع الشمس وازداد تناثر الموجات الضوئية (بنفسجية، زرقاء غامقة، زرقاء فاتحة)، وأصبحت حصة الموجات الطويلة السابقة أكبر (حمراء، برتقالية). ولهذا السبب تبدو الشمس عند الأفق محمرة. ويوضّح الجدول رقم (1) علاقة التركيب الطيفي للإشعاع الشمسي- الواصل إلى سطح الأرض - بكتل الغازات التي تجتازها الأشعة.

يتبيّن من معطيات هذا الجدول أنّه عندما تكون m =10(ارتفاع الشمس حوالي 5˚) تغيب الأشعة فوق البنفسجية تقريباً، وتتجاوز طاقة جزء الأشعة تحت الحمراء أكثر بمرتين طاقة الجزء المرئي من الطيف. وتنتقل أعلى طاقة من الأزرق الفاتح والأزرق الغامق إلى المجال الأحمر في الطيف.

كلما كانت الجزيئات وبخار الماء التي تصادف طريق الأشعة والتي تؤدّي إلى تناثرها وامتصاصها أكبر كانت شفافية الجو أقل. ويعبّر عن شفافية الجو بعامل الشفافية P الذي يشير إلى مقدار ما يصل من إشعاع شمسي واصل إلى سطح الغلاف الجوي بشكل مباشر إلى سطح الأرض عند وضع الشمس في السمت تماماً. ويتراوح معامل الشفافية في الظروف الفعلية بحدود 0.60- 0.85.

جدول (1) توزع الطاقة في تيار الإشعاع المباشر من لشمس
بين أجزاء الطيف عند القيم المختلفة لـ m.

جزء الطيف الإشعاعي	m							
	0	1	2	3	4	6	8	10
فوق البنفسجي%	6.7	4.2	2.7	1.8	1.1	0.5	0.2	0.1
المرئي %	46.5	45.8	44.8	42.0	40.8	36.5	32.2	30.3
تحت الحمراء %	46.8	50.0	53.5	56.2	58.1	63.0	66.6	69.6
طول الموجة (NM)، الموافقة لورود الطاقة الأعظمي	475	500	525	585	615	625	645	665

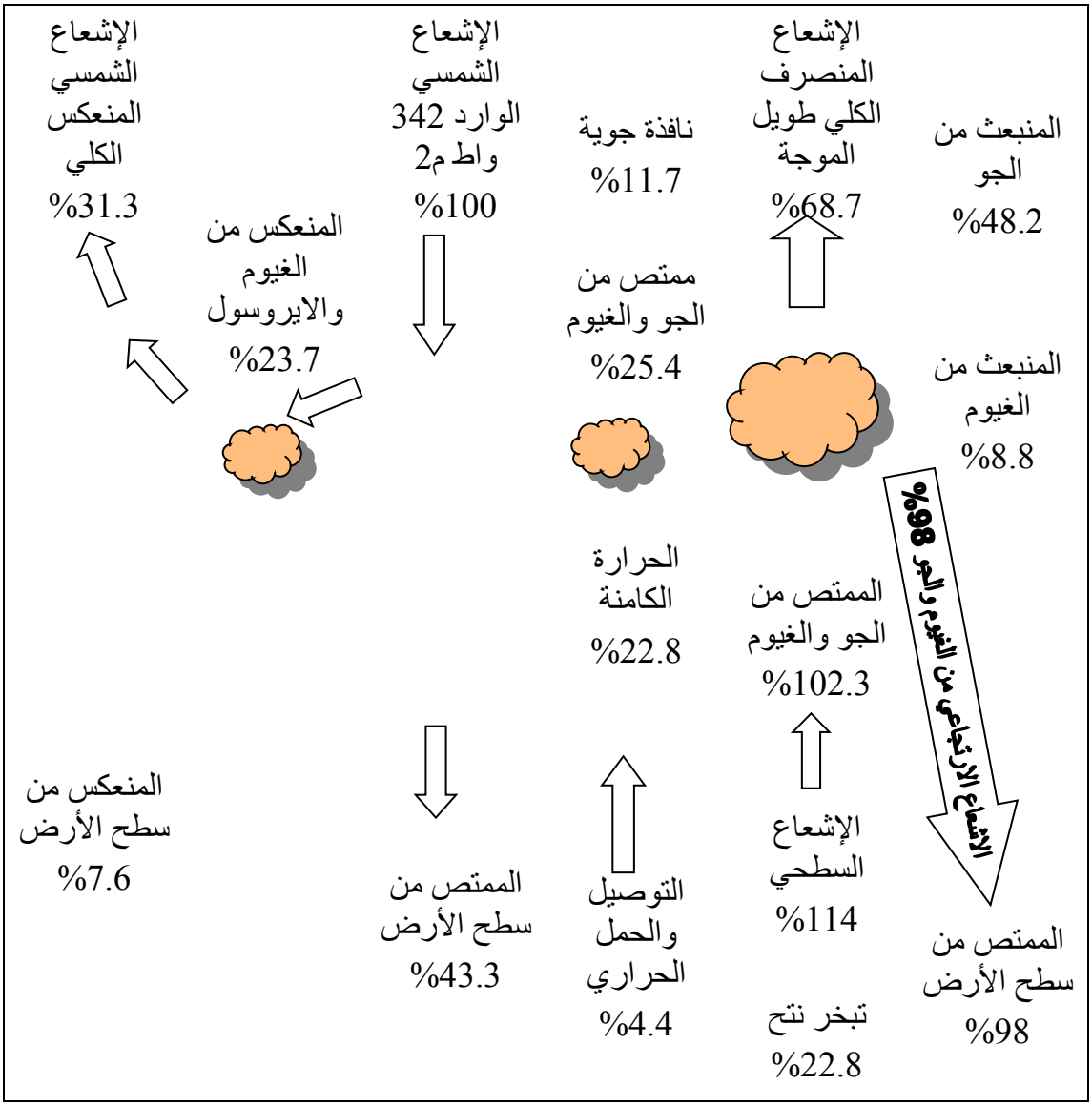
ويكون معامل الشفافية P غير مساوٍ للموجات مختلفة الطول. فعند طول الموجة 0.7 ميكرون يصبح P = 0.97. وبذلك يحصل الضعف النسبي للطاقة الإشعاعية بزيادة كتلة الجو في المجال الأزرق – البنفسجي.

ويمكن تلخيص العوامل الرئيسية المحددة لكمية الأشعة الشمسية التي تصل سطح الأرض، والتي تؤثر على توزع الطاقة الشمسية بما يلي:

أ- زاوية ورود أشعة الشمس: أي كلما ازداد ميل الأشعة عن الوضع العمودي ضعف تأثيرها بسبب انتشار الأشعة على مسافة أكبر من سطح الأرض، وازدياد المسافة التي تقطعها الأشعة خلال الجو، ولذلك نجد أن الأشعة الساقطة عمودياً تكون أكثر شدة وتركيزاً.

ب- طول النهار (فترة الإضاءة): أي كلما زاد طول النهار زادت كمية الأشعة الواصلة خلال النهار لمنطقة معينة من الأرض. وطول النهار والليل يختلف حسب الفصول وحسب خط العرض.

جـ- العوامل الجوية: وتتمثل بالعمليات الجوية الثلاثة: الانتثار والامتصاص والانعكاس. وهذا ما يوضحه الشكل التالي:



شكل (3) العمليات التي تخضع لها الأشعة الشمسية أثناء عبورها الغلاف الجوي إلى سطح الأرض.
(التوازن الحراري والإشعاعي للكرة الأرضية)

يمكننا القول بأنَّ الأشعة الشمسية الممثلة بـ 100 وحدة شمسية (وتساوي 263 كيلو لانكلي لأن كل وحدة شمسية = 2.63 كيلو لانكلي) عند اختراقها الطبقة العليا من الجو فإنَّ 7% من الأشعة تتجه 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 وينفذ إلى داخل التربة بشكل مباشر31% وغير مباشر 15%.

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

تؤدّي الأشعة ذات طول الموجة أقل من 4 ميكرون، والتي تتضمن الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الفعالة في التمثيل الضوئي والأشعة القريبة من تحت الحمراء دوراً هاماً في العمليات البيولوجية في النبات.

آ- الأشعة فوق البنفسجية:

تساعد على تمايز الخلايا والنسج، وتؤدّي إلى بطء نموها. وفي الارتفاعات القريبة من سطح البحر تصل كميات غير كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية إلى النباتات. أما في المناطق الجبلية العالية (أعلى من 4 كم) فتكون طاقة الأشعة فوق البنفسجية أكبر بـ 2-3 مرة مما هي عليه عند مستوى البحر.

ب-الأشعة تحت الحمراء:

وهي ذات تأثير حراري، وتمتص الماء الموجود في النباتات مسبّبةً زيادة التبخر، وهذا يلعب دوراً كبيراً في نظامها الحراري. وتزداد طاقة الأشعة تحت الحمراء في المناطق الجبلية العالية. وهذا يعادل الكمية غير الكافية من الحرارة التي يحصل عليها النبات من الهواء بدرجة كبيرة.

جـ-الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي Photosynthetic Active Radiation (PhAR)

يُستعمل جزء فقط من طيف الإشعاع الشمسي في التركيب الضوئي، والذي يقع في حدود موجات ذات طول من 0.38 – 0.71 ميكرون. ويسمى هذا الجزء من الأشعة بالأشعة الفعالة (أو النشطة) في التركيب الضوئي. ويستخدم في عملية التركيب الضوئي لتكوين المادة العضوية فقط 10% من هذه الأشعة.

ويعد الفار (PhAR) 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 عالٍ.

وقد تبيّن أنَّه يلزم لعملية التمثيل الضوئي شدة إشعاع شمسي تتجاوز قيمة محددة. وهذه القيمة التي تسمى نقطة التكافؤ تقع في حدود 20.9-34.9 واط/م^2 لكثير من النباتات. وأقل من هذه القيمة المشار إليها يصبح استهلاك المادة العضوية لأجل التنفس أكبر من تشكيل المادة العضوية في عملية التمثيل الضوئي.

ويوضّح الشكل رقم (4) منحنيات ضوئية لنباتات مختلفة. وهذه المنحنيات تصف علاقة شدة التمثيل الضوئي بشدة الإشعاع الشمسي.

وعند زيادة شدة PhAR عن نقطة التكافؤ حتى 209.4-279.2 واط/م^2 نجد أنَّ إنتاجية التمثيل الضوئي تزداد. وعند الزيادة التالية لـ PhAR. لا يُلاحظ زيادة نشاط التمثيل الضوئي تقريباً إلا إذا ازداد تركيز CO_2 في الوسط حيث يصبح المجال الأمثل من 280-300 واط/م^2.

ويتعدى ورود الفار هذه القيم في النهار عادة، ولكن تكون شدة الفار غير كافية في الأيام الغائمة في المزروعات والمغروسات والبيوت المحمية. ويظهر ذلك خاصة في المزروعات النامية الكثيفة، وهذا يؤدي إلى نقصان التمثيل الضوئي وإلى انخفاض إنتاجية المزروعات. وقد حُدِّد في الآونة الأخيرة أن أخفض نقطة تكافؤ توجد في الأوراق الفتية للمحاصيل الحبية.

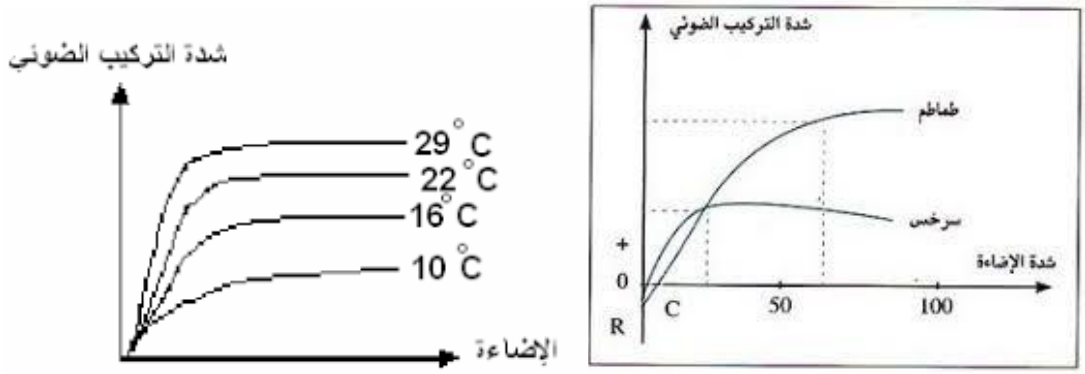
ولحساب محصلة الأشعة الفعالة في التركيب الضوئي حسب معطيات الإشعاع المباشر والمتناثر اقترحت المعادلة التالية من قبل جولايف وتومينغ وإيفيموف:

$$Qphar = 0.43\sum S' + 0.57\sum D$$

حيث $\sum S'$: محصلة الإشعاع المباشر الوارد على السطح الأفقي للمنطقة خلال فترة معينة.

$\sum D$: الإيراد الإجمالي للإشعاع المتناثر الوارد على نفس السطح خلال نفس الفترة.

وهناك خرائط وُزِّعَ عليها الإشعاع الفعال في التركيب الضوئي حسب مساحات البلد خلال فترة النمو وحسب الشهور.



شكل رقم (4) المنحنيات الضوئية لشدة التمثيل الضوئي في نباتات مختلفة.

6- الميزان الإشعاعي ومكوناته:

إنَّ الأشعة الشمسية الواردة إلى سطح الأرض تتعرض جزئياً للامتصاص كما ينعكس جزء آخر منها. ولكن الأرض لا تقوم بامتصاص الإشعاع فقط فهي نفسها تشعه في الجو المحيط. وعندما يمتص الغلاف الجوي بعض أجزاء الإشعاع الشمسي وجزءاً كبيراً من إشعاعات الأرض، فهو أيضاً يشع أشعة تحت الحمراء، وجزء كبير من هذه الإشعاعات الجوية موجَّة إلى سطح الأرض، وتسمى عند ذلك الإشعاع المعاكس الجوي (الإشعاع الحراري للغلاف الجوي).

إذن المحصلة بين الوارد من الطاقة الإشعاعية إلى سطح الأرض والخارج منها يسمى بالميزان الإشعاعي Radiation Balance أو محصلة الإشعاع Net Radiation. ويتألّف الميزان الإشعاعي من إشعاعات قصيرة الموجة وإشعاعات طويلة. ويتضمن العناصر التالية التي تسمى مكونات محصلة الإشعاع:

- الإشعاع المباشر S'
- الإشعاع المتناثر D
- الإشعاع المنعكس Rr
- الإشعاع الحراري الأرضي ($Ee\uparrow$)
- الإشعاع الحراري للغلاف الجوي ($Ea\downarrow$)

6-1- الإشعاع المباشر:

تتوقَّف شدة الإشعاع المباشر على ارتفاع الشمس وشفافية الجو، كما تزداد بارتفاع المكان عن سطح البحر. فعلى ارتفاع 1 كم تشكل هذه الزيادة 69.8-139.6 واط / م2، وعلى ارتفاع 4-5 كم تتجاوز شدة الإشعاع المباشر 1186.6 واط/م^2. وغيوم الطبقة السفلى لا تسمح بوصول الإشعاع المباشر بصورة كاملة أو تقريبية.

ويعبَّر عن تغير الإشعاع المباشر خلال اليوم الصافي (أي بدون غيوم) بمنحنى وحيد القمة ذي نهاية عظمى في منتصف النهار. ويمكن أن تصبح النهاية العظمى قبل منتصف النهار صيفاً فوق اليابسة لأن كمية الغبار الجوي وبخار الماء تزداد في منتصف النهار.

وعندما يكون ارتفاع الشمس قليلاً فإن الفرق في محصلة الإشعاع الواصل إلى هذه السطوح تكون كبيرةً في الشتاء. وتزداد النهاية العظمى للإشعاع الشمسي في أي وقت من السنة عند التقدم من القطب إلى خط الاستواء لأنه عند ذلك يزداد ارتفاع الشمس عند الظهيرة.

ويلاحظ أنَّ المسار السنوي للإشعاع المباشر يكون أكثر حدة في القطبين لأن الإشعاع الشمسي يغيب في الشتاء بشكل عام، أما في الصيف فيبلغ وروده 907.4 واط/م^2 ويلاحظ أحياناً الحد الأعظمي للإشعاع المباشر في خطوط العرض الوسطى في الربيع وليس في الصيف لأن شفافية الجو تقل في أشهر الصيف بسبب زيادة المحتوى من بخار الماء والغبار.

6-2-الإشعاع المتناثر:

إنَّ النهاية العظمى للإشعاع المتناثر أقل عادةً من النهاية العظمى للإشعاع المباشر، ولكن يمكن أن تبلغ 150-250 واط/م^2. فكلما كان ارتفاع الشمس أقل، وتلوث الجو أكبر كان حظ الإشعاع المتناثر أكبر في تيار الإشعاع الكلي. والغيوم التي لا تغطي الشمس تزيد ورود الإشعاع المتناثر عدة مرات بالمقارنة مع السماء الصافية. كذلك الغطاء الثلجي يزيد الإشعاع المتناثر ويعكس حتى 70-90 % من الإشعاع المباشر، ومن ثم ينتثر في الجو. ويقل الإشعاع المتناثر في السماء الصافية بزيادة ارتفاع المكان فوق سطح البحر.

وبشكل عام يتوافق المسار اليومي والسنوي للإشعاع المتناثر في السماء الصافية مع مسار الإشعاع المباشر. إلا أنَّ الإشعاع المتناثر يظهر في الصباح قبل شروق الشمس وفي المساء في فترة الغسق أي بعد الغروب. وتلاحظ النهاية العظمى للإشعاع المتناثر صيفاً في المسار السنوي.

6-3-الإشعاع الكلي Q:

هو مجموع الإشعاع المتناثر D والإشعاع المباشر S الساقط على السطح الأفقي.

$$Q = S' + D$$

تتوقف النسبة بين الإشعاع المباشر والإشعاع المتناثر في تركيب الإشعاع الكلي على ارتفاع الشمس ونسبة الغيوم وتلوث الجو.

6-4-الإشعاع المنعكس:

هو جزء من الإشعاع الكلي الذي يصل إلى سطح الأرض وينعكس عنها. ونسبة الجزء المنعكس Rs إلى كامل الإشعاع الكلي الوارد Q يسمى بالقدرة العاكسية أو الألبيدو a.

$$a = Rs / Q$$

يعبّر عادة عن الألبيدو بنسبة مئوية (عند ضرب هذه النسبة بـ 100). وتتوقف عاكسية السطح (الألبيدو) على لونه وخشونته ورطوبته وخواصه الأخرى. ويوضّح الجدول رقم (2) قيمة الألبيدو لمختلف السطوح الطبيعية. حيث نجد ألبيدو الأراضي الزراعية كبيراً جداً في الصباح والمساء لازدياد حصة الإشعاع المتناثر في محتوى الإشعاع الكلي عند الارتفاع القليل للشمس، التي هي أقوى من الإشعاع المباشر وتنعكس من السطح الخشن للمزروعات والأراضي المحروثة والمروج.

ويلاحظ أيضاً أن ألبيدو السطوح المائية أقل من ألبيدو اليابسة لأن الأشعة الشمسية تتغلغل بمقدار كبير في الماء فيمتصها وتنتثر فيها.

تجري مراقبة ألبيدو اليابسة والبحار والغيوم من أقمار صناعية تطلق من الأرض. حيث يسمح ألبيدو البحر بقياس ارتفاع أمواج البحر، وألبيدو الغيوم يصف استطاعتها، ويعطي التباين في ألبيدو المناطق المختلفة من اليابسة تصوراً عن تغطية الأراضي بالثلوج وعن حالة الغطاء النباتي.

ويسمى الجزء من الإشعاع الكلي الذي يمتص من قبل سطح الأرض بأشعة الامتصاص.

جدول (2) ألبيدو السطوح الطبيعية المختلفة (%).

السطح	ألبيدو	السطح	ألبيدو
ثلج جاف حديث	90-80	حقل بطاطا	20-15
ثلج ملوث	50-40	حقول قطن	25-20
جليد بحري	40-30	مروج	25-15
تربة غامقة	15-5	سهب جاف	30-20
ترب طينية جافة	35-20	غابات صنوبرية	15-10
ترب رملية جافة	45-25	غابات ورقية	20-15
حقل قمح	25-10		

6-5-الإشعاع الأرضي والإشعاع الجوي:

الإشعاع الأرضي هو أقل بعض الشيء من إشعاع الجسم الأسود بصورة مطلقة عند نفس درجة الحرارة ويتناسب مع الدرجة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة (T^4). ويُعبّر عن الإشعاع الأرضي بمعادلة ستيفان- بولتزمان:

$$Ee = \delta\sigma T^4$$

حيث δ: القدرة الإشعاعية النسبية (وتسمى أيضاً بعامل إشعاعية الجسم الرمادي أو بالمبتعثية emissivity) التي تشير إلى أي نصيب من إشعاع الجسم الأسود المطلق (σT4) يشكل إشعاع هذا السطح. وهذا المقدار مختلف حسب السطوح المتنوعة (كما في الجدول رقم3).

σ : يسمى بثابت ستيفان بولتزمان ويساوي 5.67×10^{-8} واط / ($م^2 \times K^4$) .

جدول (3) القدرة الإشعاعية لمختلف السطوح

نوع السطح	δ	نوع السطح	δ
الترب السوداء	0.87	الماء	0.96
الرمال	0.89	الثلج	0.995
المروج	0.94		

تحدث إشعاعات سطح الأرض بصورة مستمرة. وإنَّ الجو الذي يمتص جزءاً من الإشعاع الشمسي وجزءاً كبيراً من الإشعاع الأرضي هو نفسه يشع إشعاعات طويلة الموجة. وإنَّ حوالي 62-64 % من هذه الأشعة تتوجه إلى سطح الأرض وتشكل إشعاعاً جوياً معاكساً Ea. وتسمى محصلة هذين الإشعاعين التي تمثل الفقد في حرارة سطح الأرض الإشعاع الفعال Eε، ويعبر عنه بالمعادلة التالية:

$$E\varepsilon = Ee - Ea$$

يتوقف الإشعاع الفعال لمنطقة معينة على درجة الحرارة والرطوبة وشفافية الهواء ونسبة الغيوم وبزيادة حرارة سطح الإشعاع الفعال يزداد، وبزيادة حرارة ورطوبة الهواء ينخفض. وتؤثّر الغيوم بصورة خاصة على الإشعاع الفعال لأن قطيرات الغيوم تشع تقريباً نفس الكمية التي تشعها الطبقة الفعالة من الأرض. وإذا كانت الغيوم كثيفة وحرارتها قريبة من حرارة الطبقة الفعالة فإن Ea تساوي تقريباً Ee وحينئذ Eε تساوي تقريباً الصفر.

يسمح الغلاف الجوي بدرجة كبيرة بمرور الأشعة الشمسية قصيرة الموجة (والتي تشكّل معظم الأشعة الواردة) إلى سطح الأرض، ولكنه يحتجز الإشعاع الحراري الأرضي طويل الموجه بسبب تركز 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 حيث يشبه الغلاف الجوي في هذه الحالة بالبيت الزجاجي أو البلاستيكي لأنه يسمح للأشعة القصيرة بالمرور وتسخين الأرض والنباتات ولا يسمح للأشعة الطويلة بالخروج إلا بشكل قليل.

معادلة التوازن الإشعاعي:

$$Rn = S' + D - Rr - Ee + Ea$$

أو

$$Rn = Q - Rr - E\varepsilon$$

وعند غياب الإشعاع المباشر في الطقس الغائم فإنَّ:

$$Rn = D - Rr - Ee + Ea$$

أو $$Rn = D - Rr - E\varepsilon$$

وليلاً $$Rn = Ea - Ee = -E\varepsilon$$

وإذا كان ورود الإشعاع أكبر من استهلاكه فإن الميزان الإشعاعي يكون موجباً وتسخن طبقة الأرض الفعالة. وعندما يكون الميزان الإشعاعي سالباً تبرد هذه الطبقة. وفي الفترة الدافئة من العام يكون الميزان الإشعاعي موجباً نهاراً. فمثلاً، خلال 1-2 ساعة قبل غروب الشمس يصبح الميزان الإشعاعي سالباً، أما في الصباح فيصبح من جديد موجباً أي وسطياً خلال ساعة بعد شروق الشمس.

يتشابه مسار الميزان الإشعاعي نهاراً عند السماء الصافية مع مسار الإشعاع المباشر. ودراسة الميزان الإشعاعي للأراضي الزراعية يسمح بحساب كمية الإشعاع التي تمتصه المزروعات بالعلاقة مع ارتفاع الشمس، ومع تركيب المزروعات ومراحل نمو النباتات.

إذاً يمكن حساب محصلة الإشعاع بطريقتين:

آ- طريقة استخدام الأشعة القصيرة والأشعة الطويلة الموجة:

$$Rn=(1-a)\ Rs+R1$$

حيث: Rn محصلة الإشعاع

Rs أشعة قصيرة الموجة

Rl أشعة طويلة الموجة

a معامل الانعكاس (ألبيدو)

ب-طريقة استخدام الإشعاع الجوي والأرضي والأشعة الكلية:

$$Rn =(1-a)\ Rg + Ra - Rt$$

حيث: Rg الإشعاع الكلي

Ra الإشعاع الجوي

Rt الإشعاع الأرضي

انتهت المحاضرة الثالثة