

الفصل الاول

1-1 الإشعاع الشمسي Solar Radiation

الشمس هي عبارة عن كرة هائلة من الغاز الذي يختلف اختلافا كبيرا عن أي غاز موجود في الأرض إذ أن درجة حرارته وضغطه وكثافته أكبر بكثير منها للغازات الموجودة في جونا ومع هذا فالغازات في الشمس تتقاد لقوانين الغازات التي نجدها على الأرض. هذه الكرة الغازية متهيجة حراريا بواسطة تفاعل الاندماج النووي في مركزها ، وينبعث من الاجسام الساخنة عادة اشعاع كهرومغناطيسي بتوزيع طيفي من الاطوال الموجية المختلفة تحدده درجة حرارة الجسم . وهذا التوزيع يتبع قانون بلانك الذي يبين انه عند تسخين الجسم تتراد الطاقة الكلية للإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث ويتناقص الطول الموجي لذروة الطيف المنبعث.

ان الشعاع القوي المنبعث من مركز الشمس يمتص بواسطة طبقة من ايونات الهيدروجين السالبة قرب سطح الشمس حيث تقوم هذه الايونات بامتصاص متواصل لمدى كبير من الاطوال الموجية فينشأ من تجمع الحرارة في هذه الطبقة تيارات الحمل الحرارية والتي تنقل الطاقة الفائضة خلال الحاجز البصري وحال نفاذها خلال هذه الطبقة تعود الطاقة فتشع مرة ثانية خلال الغازات الشفافة نسبيا والواقعة فوق هذه الطبقة.

ان المستوى الذي يهيمن عنده الإشعاع على النقل بواسطة تيارات الحمل يعرف بالكرة الضوئية وتكون درجة حرارة هذه الكرة 6000 درجة مئوية . تشع هذه الكرة طيف مستمر من الإشعاع الكهرومغناطيسي وهذا الإشعاع المنبعث من الشمس خارج الغلاف الشمسي هو تقريبا يساوي الإشعاع المنبعث من الجسم الاسود عند درجة حرارة 5762 كلفن وكما هو موضح في شكل (1-1) ، وهنالك تغير في قيمة هذا الإشعاع نتيجة التغير في قيمة الإشعاع الشمسي المنبعث من الشمس وافترضت قيمته بحدود $\pm 1\%$ كذلك تغير المسافة بين الأرض والشمس بمقدار $\pm 3\%$. يبلغ قطر الشمس 864000 ميل وتبلغ كتلتها 333000 من كتلة الأرض وحجمها 1300000 مرة من حجم الأرض وتصل درجة الحرارة في باطن الشمس الى 15 -

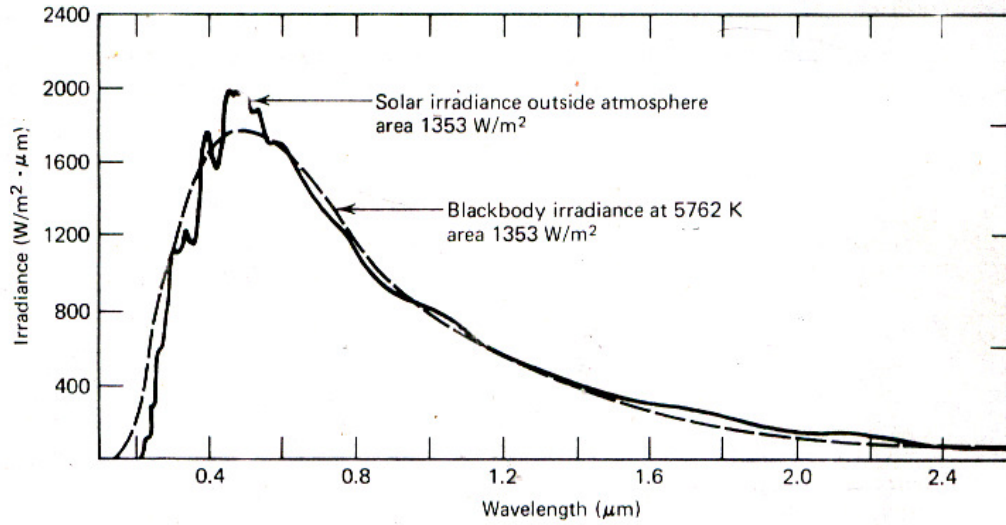
20 مليون درجة مئوية ، ودرجة حرارة السطح الخارجي للشمس تصل الى 6000 درجة مئوية . أما مقدار الطاقة المحررة من الشمس فتبلغ $1.2 * 10^{41}$ أيرج \ سنة ومجموع الاشعاع الشمسي الواصل الى الارض هو $1.33 * 10^{21}$ كيلو سرعة \ سنة .

ان اداء أي منظومة حرارية شمسية يعتمد على الاشعاع الشمسي المتوفر لها ، ويتميز الاشعاع الشمسي بتوفره بصورة غزيرة وهو متغير الشدة خلال ساعات النهار ويصل الى قيمته العظمى عند منتصف النهار حيث يكون طول الطريق الذي يقطعه خلال الغلاف الجوي قصير وكما هو موضح في جدول (1-1). ويجب ان يكون المجمع الشمسي مواجهاً للشمس ، وان تغيير زاوية الارتفاع للشمس وزاوية السمات سوف يقلل من الحرارة المتجمعة . كذلك فان ساعات النهار المشمسة متغيرة مع الفصول حيث تكون اقصر في فصل الشتاء الذي تكون فيه الحرارة المطلوبة اكبر. يكون المجمع الشمسي خاملاً لمدة ثلث او ثلثي اليوم مما يؤدي الى زيادة كلفة المنظومة .

هنالك عوامل تؤدي الى تقليل كمية الاشعاع الشمسي المستلمة مثل امتصاص جزء من الاشعاع الشمسي من قبل الطبقة الجوية المحتوية على الغازات مثل الاوكسجين والنيتروجين وثنائي اوكسيد الكاربون ومعظم هذه الطاقة تمتص من قبل بخار الماء وكذلك التلوث الذي يخفّضه بمقدار 10 % وهذا يخفّض من كفاءة المجمع الشمسي.

جدول (1-1): معدل طاقة الإشعاع الشمسي (W/m^2) المساقطة على سطح مائل باتجاه 20 درجة

الشهر	ساعات النهار									
	الميل	16	15	14	13	12	11	10	9	الدرجة
1	655.90	240.96	522.00	763.00	883.53	923.69	843.37	763.00	602.40	1
2	711.70	361.44	602.40	883.53	1004.0	1024.0	943.70	763.00	542.16	2
3	646.77	321.30	602.00	763.00	843.37	905.00	823.29	700.00	500.00	3
4	720.87	401.60	702.81	803.20	923.69	983.93	923.70	783.13	602.40	4
5	746.71	481.90	644.50	819.20	945.70	963.80	925.70	803.20	662.60	5
6	782.71	544.17	765.00	863.45	945.78	885.94	945.70	825.30	722.00	6
7	774.97	544.10	724.80	885.50	985.90	1018.0	945.79	823.20	624.00	7
8	737.83	483.93	644.57	845.38	945.78	965.86	903.61	803.21	584.33	8
9	726.23	443.77	644.57	825.30	925.70	945.78	784.14	803.21	622.48	9
10	575.18	263.05	401.60	644.57	744.97	825.30	865.46	644.57	524.09	10
11	687.41	265.06	546.18	724.89	925.70	925.70	943.77	785.14	524.49	11
12	664.86	261.00	542.16	702.81	903.61	983.93	943.77	763.00	542.16	12



شكل 1-1 : الإشعاع الشمسي والإشعاع المنبعث من الجسم الأسود خلال أطوال موجبة مختلفة. (Lunde, 1980).

يحسب الإشعاع الشمسي الظاهري من المعادلة الآتية (Lunde, 1980)

$$I_o = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos \frac{360N}{370} \right] \dots\dots\dots (1-1)$$

I_{sc} : الثابت الشمسي وهو شدة الإشعاع الشمسي الواصل الى طبقة الجو المحيط

بالارض وهي متغيرة نوعا ما ومعدل قيمته 1353 واطام²

N : رقم اليوم في السنة

I_o : الإشعاع الشمسي الظاهري *apparent extraterrestrial solar radiation*

ان الإشعاع الشمسي الساقط على مستوي افقي يقسم عادة الى اشعاع شمسي واشعاع مصدره الارض *terrestrial radiation* الذي يشمل على الإشعاع المنعكس من سطح الارض والمنبعث منه . وتعتمد خصائص الإشعاع على نوع المصدر المولد له ، حيث ينبعث الإشعاع بموجات مختلفة الطول حسب درجات الحرارة وفيما يخص الإشعاع المنبعث من الشمس فهو يتضمن الانواع الإشعاعية الآتية:

1-الإشعاع فوق البنفسجي *ultraviolet radiation* ويمتاز بموجات يتراوح

طولها من 0.3 – 0.4 ميكرومتر .

2-الاشعاع المرئي *visible radiation* وطول موجاته من 0.4 - 0.8 ميكروميتر.

3-الاشعة تحت الحمراء *infra-red radiation* وطول موجاتها اكبر من 0.8 ميكروميتر مع العلم بان القيمة العظمى لشدة الاشعاع في المنطقة المرئية تحدث قريبا من 0.5 ميكروميتر.

يصل الاشعاع الشمسي الى الارض بشكلين اولهما : الاشعاع المباشر وهو الاشعاع الشمسي الذي يصل الارض بدون تعرضه للتبعثر في طبقات الجو ، ويصل من الشمس بزاوية مخروطية *con angle* مقدارها 0.5 درجة . وثانيهما: الاشعاع المنتشر الذي يصل الارض بعد تعرضه لعدة عمليات منها البعثرة *scattering* بواسطة الدقائق العالقة في الجو ، والامتصاص بواسطة بخار الماء وبعض الغازات مثل ثاني اوكسيد الكربون والانعكاسات بسبب الغيوم والعوالق الاخرى في طبقات الجو ويدعى الاشعاع المنتشر احيانا الاشعاع السماوي *sky radiation* ويسمى مجموع الاشعاعين المباشر والمنتشر على أي مستو موضوع على سطح الارض بالاشعاع الشمسي الكلي وتعنى معظم القياسات العامة بالاشعاع الشمسي الكلي على سطح افقي ويطلق عليه احيانا بالاشعاع الكروي *global radiation*.

يمكن حساب شدة الإشعاع الشمسي عمليا باستخدام جهاز البايرونوميتر *pyranometer* الذي يربط مع جهاز المكاملة الشمسي لقياس شدة الاشعاع الشمسي . وهذا الجهاز عبارة عن قطعة مصبوعة بطلاء اسود تحتوي على سلسلة من المزدوجات الحرارية تسمى عمود الحرارة *thermopile* وتغطي هذه القطعة بغطائين زجاجيين احدهما داخلي والاخر خارجي . شكل (2-1) .وهناك طريقة اخرى يستخدم فيها جهاز الاكتينوكراف *Bimetlic actinography* الذي يتكون من صفيحتين معدنيتين ذات معامل حراري مختلف احدهما بيضاء والاخرى سوداء اللون يعمل على حساب المجموع اليومي لشدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح افقي بالسعرة اسم².



شكل (1-2) : جهاز البايرونوميتر لقياس شدة الاشعاع الشمسي.(الحلفي, 2006)

اما الطريقة النظرية لحساب شدة الاشعاع الشمسي فيمكن استخدام الطريقة المتبعة من قبل (1980) Lunde وهي كالآتي :

يحسب الاشعاع العمودي المباشر على سطح الارض I_{DN} ليوم مشمس *direct normal irradiance* كالآتي:

$$I_{DN} = A \exp\left(\frac{-B}{\cos \theta_z}\right) \dots \dots \dots (1-2)$$

A : شدة الأشعة الشمسية خارج الغلاف الجوي *Apparent Extraterrestrial Solar Radiation*

B : معامل الاضمحلال الجوي *Extinction Coefficient*

θ_z : زاوية السميت الراسي *Solar Zenith Angle* وهي الزاوية المحصورة بين اشعة الشمس والعمود القائم على مستوي افقي فوق سطح الارض وللسطح الافقي فإن :

$$\cos \theta_z = \sin \alpha \dots \dots \dots (1-3)$$

وتحسب زاوية ارتفاع الشمس كالآتي : (Lunde , 1980)

$$\cos \theta_z = \sin \alpha = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \dots \dots \dots (1-4)$$

تؤخذ قيم كل من A و B من جدول (1-2).

α : زاوية ارتفاع الشمس (*Suns Altitude (deg.)*) وهي الزاوية المحصورة بين اتجاه الاشعة الشمسية وخط الافق وتحسب:

$$\theta_z + \alpha = 90 \dots\dots\dots (1-5)$$

كما تحسب زاوية السقوط كالآتي:

$$\cos \theta_1 = \cos (\varphi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin (\varphi - \beta) \sin \delta \dots\dots\dots (1-6)$$

θ_1 : زاوية السقوط *incident angle*

φ : خط عرض الموقع او زاوية العرض وهي المسافة الزاوية لنقطة تقع شمال او جنوب خط الاستواء وهي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بين نقطة على سطح الارض ومركز الارض ومسقطه على الاستواء.

δ : الميل الزاوي او زاوية انحراف الشمس *declination angle* وهي الزاوية المحصورة بين اشعة الشمس والمستوي المار في خط الاستواء .وتحسب كالآتي:

$$\delta = 23.45 \sin \left(\frac{n-80}{370} \times 360 \right) \dots\dots\dots (1-7)$$

β : زاوية ميل المجمع الشمسي *Inclination Angle (deg.)*

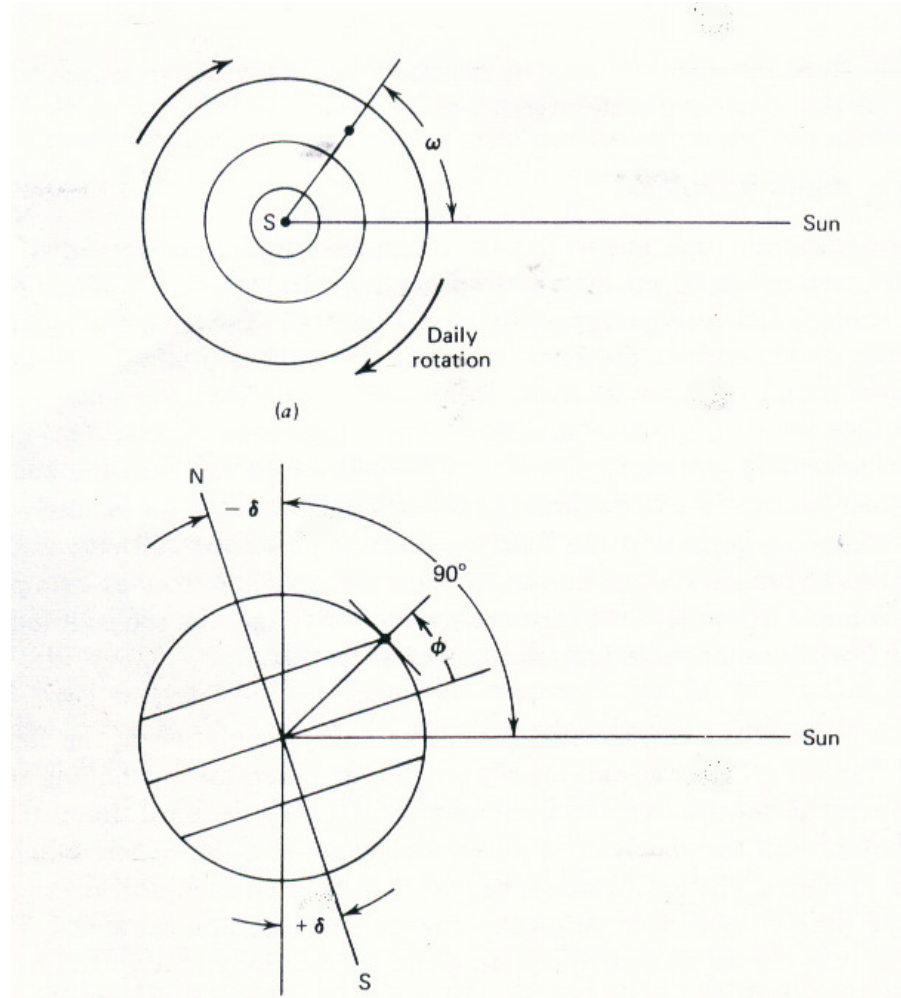
h : الزاوية الساعية *Hour Angle* وهي الزاوية التي تدور بها الارض لتجعل خط الزوال *meridian* لنقطة معينة منطبقا مع خطوط الاشعاع الشمسي وهي تقاس بالدرجات من غرب جنوب خط الزوال او الظهر ونتيجة لدوران الارض فان زاوية الساعة تتغير من صفر عند الظهر الى قيمتها العظمى عند الشروق او الغروب او هي الازاحة للشمس من الظهر وتحسب كالآتي (Farber , 1977):

$$h = 15(12 - ST) \dots\dots\dots (1-8)$$

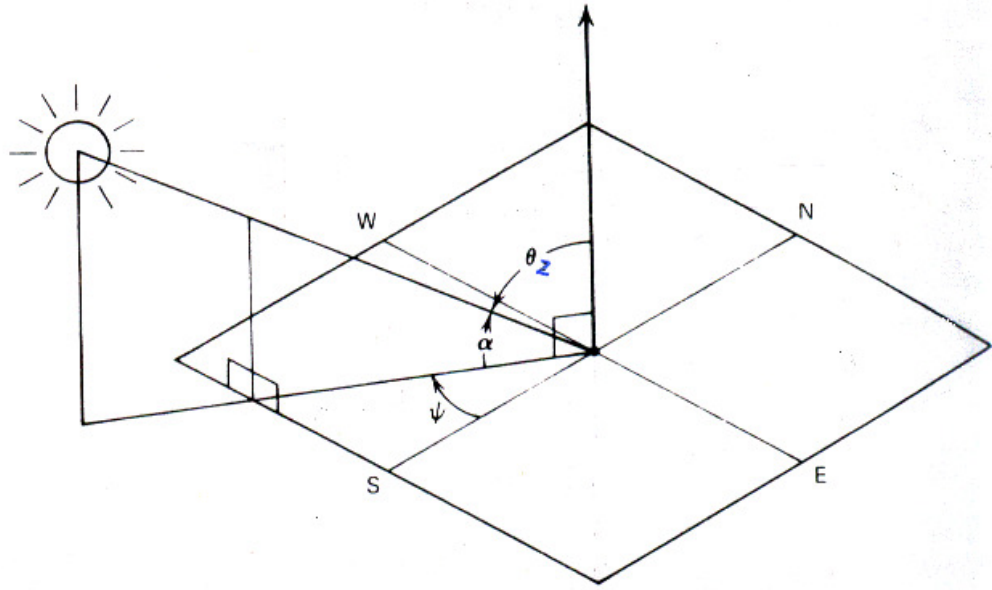
زاوية السميت (Ψ) *Azimuth angle* هي الزاوية في المستوى الافقي المحصورة بين خط الشمال الجنوبي ومسقط الشعاع الشمسي في المستوى الافقي وتحسب كالآتي:

$$\sin \Psi = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \dots\dots\dots (1-9)$$

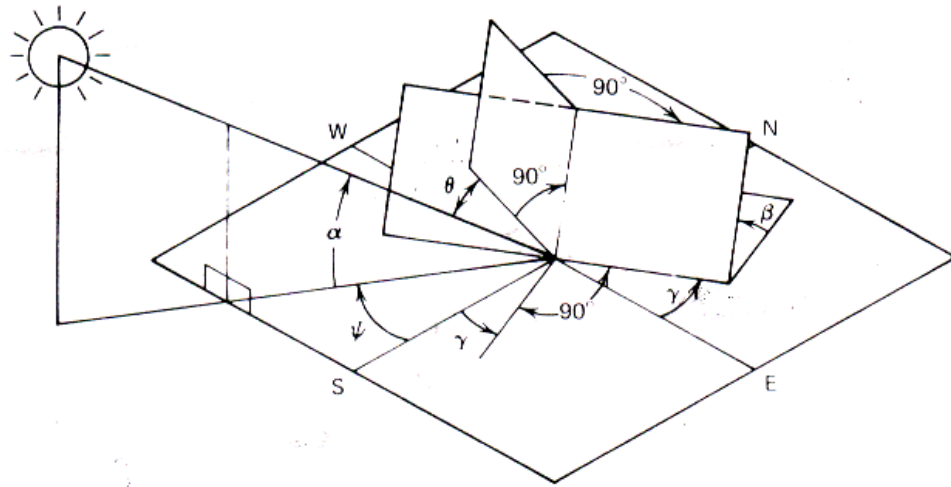
تكون زاوية السميت سالبة في الصباح وموجبة في المساء. و $|\Psi| \geq 0$ عندما زاوية ارتفاع الشمس هي اقل منها وزاوية السميت للشمس ± 90 .



شكل (1-3) : الزوايا المستخدمة لحساب الاشعاع الشمسي العمودي المباشر.
(مرزوق، 1985)



شكل (1-4): الزوايا الناتجة عن سقوط الاشعاع الشمسي على سطح افقي.



شكل (1-5): الزوايا المستخدمة لحساب الاشعاع الشمسي الساقط على سطح مائل. (Lunde, 1980).

الوقت الشمسي (ST) *solar time*

وهو الوقت بالساعات قبل او بعد الظهر الشمسي ويعرف الظهر بانه الوقت الذي تكون فيه الشمس اعلى مايمكن في السماء .ومن العلاقة الآتية يمكن حساب الوقت الشمسي

$$ST = Z \pm (O - I) + EQT \dots \dots \dots (1-10)$$

:

ST: الوقت الشمسي

Z: الوقت القياسي المحلي

O: خط الطول القياسي المحلي

I: خط الطول المحلي

EQT: معادلة الوقت

تؤخذ الأشارة الموجبة عندما تقع المدينة شرق خط الطول القياسي المحلي المعتمد في التوقيت المحلي وسالبة عندما تكون المدينة غربه .

اما معادلة الوقت فتحسب بالطريقة المقترحة من قبل (Lamm 1980):

$$EQT = \sum_{k=0}^5 (A_k \cos(\frac{2 \pi k_i n}{365.25}) + B_k \sin(\frac{2 \pi k_i n}{365.25}) \dots \dots \dots (1-11)$$

n : رقم اليوم في السنة بالنبة لدورة اربع سنوات ويبدأ من اليوم الاول للسنة الكبيسة

لتلك الدورة . لذا تكون قيم n من 1 - 1461 . ثوابت A_k, B_k تؤخذ من جدول

(1-3).

تحسب المركبة الراسية للاشعاع المباشر الساقط على سطح افقي كالآتي:

$$I_H = I_{DN} \sin \alpha \dots \dots \dots (1-12)$$

يحسب الاشعاع المنتشر الساقط على سطح افقي كالآتي:

$$I_D = C \times I_{DN} \dots \dots \dots (1-13)$$

I_D : الاشعاع المنتشر الساقط على السطح الافقي.

C : نسبة الاشعاع المنتشر الى الاشعاع العمودي المباشر الساقط على سطح افقي او معامل الأشعة الشمسية المنتشرة ويؤخذ من جدول (1-2). ويحسب الاشعاع الكلي الساقط على سطح افقي كالآتي:

$$I_{TH} = I_H \times I_D \dots\dots\dots(1-14)$$

كما يمكن كتابتها بصيغة اخرى:

$$I_{TH} = I_{DN}(\sin \alpha + C) \dots\dots\dots(1-15)$$

حيث:

I_H : شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح افقي

I_{DN} : شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح عمودي على مساره

اما في حالة شدة الاشعاع الشمسي الساقط على السطح المائل ، فتحسب مركبة الاشعاع المباشر على سطح مائل بزاوية β عن الافق كالآتي:

$$I_T = I_{DN} \times \cos \theta \dots\dots\dots(1-16)$$

تحسب مركبة الاشعاع المنتشر على السطح المائل كالآتي:

$$I_{DT} = I_H \times F_{sg} + \rho(I_H + I_D)F_{ss} \dots\dots\dots(1-17)$$

I_D : مركبة الاشعاع المنتشر على سطح افقي.

F_{SG} : معامل الشكل *shape factor* الذي يخص السطوح المستطيلة ويعطى من المعادلة الآتية:

$$F_{sg} = \frac{1 - \cos \beta}{2} \dots\dots\dots(1-18)$$

F_{ss} : معامل الزاوية *angle factor* وهو معامل يخص الزاوية بين السطح المعرض للاشعاع والسماء والذي يعطى من :

$$F_{ss} = 1 - F_{sg} = \frac{1 + \cos \beta}{2} \dots\dots\dots(1-19)$$

اما شدة الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مائل بزاوية مقدارها (β) عن الافق فتساوي مجموع الأشعة الشمسية المباشرة والأشعة الشمسية المنتشرة والأشعة الشمسية المنعكسة من الارض وحسب المعادلة الآتية :

$$I_T = I_{DN} * \left[\cos \theta_1 + C \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \rho_1 (\sin \alpha + C) \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \right] \dots (1-20)$$

حيث:

I_T : شدة الأشعة الشمسية الكلية الساقطة على سطح مائل

ρ_1 : الانعكاسية الأرضية *Surface Reflectivity* وتساوي 0.2 للتربة الاعتيادية.

θ_1 : زاوية سقوط الإشعاع الشمسي على المجمع الشمسي *Incidence Angle*

عامل التوجيه *Orientation Factor (OF)*

يمكن من خلال قياس شدة الإشعاع الشمسي على سطح افقي استنتاج شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على سطح مائل وكالاتي:

$$OF = \frac{I_T}{I_{TH}} \dots (1-21)$$

$$OF = \frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_z} = \frac{\cos (\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega + \sin (\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta} \dots (1-22)$$

جدول (1-2): شدة الأشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي (A) (واط/م²)
ومعامل الاضمحلال الجوي (B) (م⁻¹) والثابت (C).

اشهر السنة	A	B	C	اشهر السنة	A	B	C
كانون الثاني	1230	0.142	0.058	تموز	1085	0.207	0.136
شباط	1215	0.144	0.060	اب	1107	0.201	0.122
اذار	1186	0.156	0.071	ايلول	1151	0.177	0.092
نيسان	1136	0.180	0.097	تشرين اول	1192	0.160	0.073
مايس	1104	0.196	0.121	تشرين ثاني	1221	0.149	0.063
حزيران	1088	0.205	0.134	كانون اول	1233	0.142	0.057

جدول (1-3): الثوابت المتعلقة بحساب معادلة الوقت.

B_K	A_K	K_t
0	$2.0870 * 10^{-4}$	0
$-1.2229 * 10^{-1}$	$9.2869 * 10^{-3}$	1
$-1.2698 * 10^{-1}$	$-52258 * 10^{-2}$	2
$-2.9823 * 10^{-3}$	$-2.1867 * 10^{-3}$	3
$-2.9823 * 10^{-3}$	$-2.1867 * 10^{-3}$	4
$-2.4363 * 10^{-4}$	$-1.5100 * 10^{-4}$	5