الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع وطاقة

من إعداد الطالبتين: ببوخة سامية_ احميم مريم

الموضوع

تقدير كمية الإشعاع الجوي طويل الموجة النازل على السطح تحت ظروف السماء الصافية

نوقشت يوم: 21 /6 /2021

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

بوراس فتحي	أستاذ تعليم عالي	جامعة الوادي	رئيسا
حاج عمار محمد علي	أستاذ محاضر قسم أ	جامعة الوادي	مناقشا
اللبي عبد القادر	أستاذ محاضر قسم أ	جامعة الوادي	مؤطرا

الموسم الجامعي 2021/2020

الإهداء

إلى من تعهداني بالتربية في الصغر وكانا لي نبراسا يضيء فكري بالنصح والتوجيه في الكبر أمي وأبي

حفظهما الله

إلى من شملوني بالعطف وامدوني بالعون وحفزوني للتقدم إخوتي وأخواتي والى كل انسان تميز في حياتي

رعاهم الله

إلى من استهوتهم روحي الى جميلاتي الى صديقاتي الى أفضل جزء من حياتي

دمتم لروحي شقيقات

إلى كل من علمني حرفا واخذ بيدي في سبيل تحصيل العلم والمعرفة إليهم جميعا اهدي ثمرة جهدي ونتائج بحثي المتواضع.

سامية ببوخة
مريم احميم

شكـــــــر وعـرفـان

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيدنا محمد المبعوث رحمة للعالمين

ومنار الهداية ودليل رشاد للناس اجمعين الشكر والفضل لله

الذي أعانني ووفقني في إتمام هذه المذكرة

كما أتقدم بالشكر الجزيل للأستاذ المشرف الدكتور **"اللبي عبد القادر"** على ما بذله

من جهد ونصح وتوجيه ومتابعه طوال مدة الإشراف.

وأتقدم بالشكر إلى كل من كان عونا وسندا لي

ولا أستثني من كلية العلوم الدقيقة أحدا

من أساتذتها وطلبتها وعامليها

وإلى كل من مد لي يد المساعدة من بعيد أو قريب.

سامية ببوخة

مريم احميم

فهرس المحتويات

الإهداء.....II

شكر وعرفان.....III

الفهرس العام.....IV

فهرس الأشكال..... VII

فهرس الجداول..... X

قائمة الرموز..... XI

1.المقدمة العامة: 2

الفصل الأول: عموميات حول الإشعاع الحراري

1.1 المقدمة: 5

2.1 تعريف الأشعة الكهرومغناطيسية: 5

3.1 مصادر الأشعة الكهرومغناطيسية: 6

4.1 الطيف الكهرومغناطيسي: 6

1.4.1 الأشعة الفوق البنفسجية: 7

2.4.1 الأشعة المرئية: 7

3.4.1 الأشعة تحت الحمراء: 8

4.4.1 أشعة المايكروويف: 8

5.1 خصائص الموجات الكهرومغناطيسية: 9

1.5.1 الامتصاص: 9

2.5.1 الانبعاث: 9

3.5.1 الانتشار: 9

4.5.1 الانعكاس: 9

5.5.1 الانتقال(النفاذية): 10

6.1 قياس الإشعاع الكهرومغناطيسي: 10

7.1 الإشعاع الحراري: 10
8.1 مفاهيم أساسية في الإشعاع الحراري: 11
1.8.1 الزاوية الصلبة: 11
2.8.1 التدفق الإشعاعي الكلي لمنبع Φ: 11
3.8.1 شدة الإشعاع: 11
4.8.1 الانبعاثية: 11
5.8.1 درجة اللمعان: 12
6.8.1 قانون لا مبير: 12
7.8.1 الاستنارة: 12
9.1 قوانين الإشعاع الحراري: 12
1.9.1 الجسم الأسود وقانون بلانك: 12
2.9.1 قوانين فين: 13
1) قانون فين الأول: 13
2) قانون فين الثاني: 14
3.9.1 قانون ستيفان بولتزمان: 14
4.9.1 انبعاثية الجسم الحقيقي: 15
10.1 الخلاصة.....15

الفصل الثاني: النماذج الحسابية

1.2 المقدمة: 18
2.2 الغلاف الجوي: 18
1.2.2 بنية الغلاف الجوي: 18
1) طبقة التروبوسفير(Troposphère): 18
2) طبقة الستراتوسفير(Stratosphère): 18
3) طبقة الميزوسفير(Mèsosphère): 18
4) طبقة الترموسفير (Thermosphère): 19
5) طبقة الأكسوسفير(Exosphère): 19

2-3 التركيب الكيميائي للغلاف الجوي: 19
2-3-1 الأوزون: 20
2-3-2 ثاني أكسيد الكربون: 21
2-3-3 بخار الماء: 21
2-4 الهباء الجوي: 21
2-5 رصد إشعاع الغلاف الجوي: 21
2-6 ديناميات الغلاف الجوي: 22
2-7 السحاب Clouds: 22
2-8 طريقة حساب الإشعاع طويل الموجة النازل: 23
2-9 قياس الإشعاع طويل الموجة النازل (جهاز البيرجيومتر): 24
2-10 المسابير الراديوية أو الراديوسوند (Radiosonde): 25
2-11 نماذج حساب معامل انبعاثية الجو والمستخدمة في تقدير كمية الإشعاع. طويل الموجة النازل في ظروف السماء الصافية: 26
2-12 الخلاصة: 28

الفصل الثالث: تحليل ومناقشة النتائج

1.3 المقدمة: 30
2.3 تقدير ودراسة كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في ظروف السماء الصافية: 30
3.3 مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس: 32
4.3 حساب الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب: 38
5.3 دقة النماذج المستخدمة لحساب للإشعاع طويل الموجة النازل: 40
6.3 الخلاصة: 43
الخاتمة العامة 45
قائمة المصادر والمراجع 48

ترتيب الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
	الفصل الأول	
(1.1)	الأشعة الكهرومغناطيسية	5
(2.1)	مناطق الطيف الكهرومغناطيسي بدلالة الطول الموجي	7
(3.1)	موضع الإشعاع الحراري والأشعة التي يحتويها	11
(4.1)	تغير طاقة الانبعاث الطيفية بدلالة الطول الموجي في درجات حرارة مختلفة	14
(5.1)	مقارنة بين انبعاثية الجسم الاسود والجسم الحقيقي	16
	الفصل الثاني	
(1.2)	طبقات الغلاف الجوي	19
(2.2)	الإشعاعات الأساسية المقاسة بواسطة البيرجيومتر	25
(3.2)	مثال على نظام الراديوسوند و منطاد الإطلاق (VaisalaRS92)	26
	الفصل الثالث	
(1.3)	تغير كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي في يوم 01 جانفي 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي	31
(2.3)	تغير كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن وذلك ليوم 8 أوت 2020 باستخدام نموذج سوينبانك	32

(3.3)	تغير كمية الاشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي يوم 15 مارس 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي	33
(4.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.	34
(5.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006	35
(6.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.	36
(7.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.	337
(8.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى	38

	في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.	
(9.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.	39
(10.3)	تغير الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.	40
(11.3)	تغير الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006	41
(12.3)	مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب والمقاس باستخدام النماذج السبعة المختلفة لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي لسنة 2006 في ظروف السماء الصافية.	42

فهرس الجداول

ترتيب الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
	الفصل الثاني	
(1-2)	المكونات الدائمة والمتغيرة للغلاف الجوي الأرضي	20
	الفصل الثالث	
(1.3)	القيمة المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي سنة 2006 في ظروف السماء الصافية	43

فهرس الرموز

C	سرعة الضوء في الفراغ (m/s).
E	الاستنارة (W/m^2).
E	الحقل الكهربائي (V/m).
$E(\%)$	الخطأ النسبي (بدون وحدة).
$E_{moy}(\%)$	القيمة المتوسطة للخطأ النسبي (بدون وحدة) .
e_a	ضغط بخار الماء في الجو ومعبر عنه بـ (Pa) .
e_s	ضغط التشبع لبخار الماء في الجو ومعبر عنه بـ (Pa).
H	ثابت بلانك (J/s) .
HR	الرطوبة النسبية ومعبر عنها بـ (%).
I_{Ox}	شدة الإشعاع في الاتجاه ox (W/sr).
K	ثابت بولتزمان (J/K).
L_{OX}	درجة اللمعان (($W/(m^2. sr)$).
L_d , $LW\downarrow$, LW_{in}	الإشعاع طويل الموجة النازل ($W.m^{-2}$).
LW_{out}	الإشعاع طويل الموجة الصاعد ($W.m^{-2}$).
M	الحقل المغناطيسي (T).
M	الانبعاثية (التدفق الكلي المنبعث) ($W.m^{-2}$).
M^o	الانبعاثية الكلية للجسم الاسود ($W.m^{-2}$).
N	عدد العينات المختارة (بدون وحدة).
T	درجة الحرارة (k).
T_a	درجة حرارة الهواء ومعبر عنها بـ (K).
T_{atm}	درجة الحرارة الفعالة للجو (k).
V_c	القيمة المحسوبة للإشعاع طويل الموجة النازل ($W.m^{-2}$).
V_m	القيمة المقاسة للإشعاع طويل الموجة النازل ($W.m^{-2}$).
λ	طول الموجة (m).

ν	التردد (HZ).
Φ	التدفق الإشعاعي الكلي لمنبع (W).
ε	معامل الانبعاثية (بدون وحدة).
ε_{atm}	معامل الإنبعاثية للجو (بدون وحدة) .
σ	ثابت ستيفان بولتزمان ($W.m^{-2}.K^{-4}$).

المقدمة العامة

المقدمة العامة

تعد الشمس المصدر الرئيسي للحرارة الجوية فهي جسم هائل ملتهب شديدة الحرارة ولها القدرة على أن تضئ نفسها بنفسها ورغم المسافة الفاصلة بين الارض والشمس إلا أن الارض تستمد منها كمية من الطاقة الضوئية والحرارية مع أنها ضئيلة إلا أن الحياة لا تستمر على سطح الارض بدون هذه الطاقة التي تصل إلى الارض من الشمس والمعروف بالإشعاع الشمسي وهو سبب حصول كل تفاعلات الطبيعية والعمليات الفيزيائية والتغيرات الجوية في الغلاف الجوي للأرض. "الإشعاع الشمسي هو اشعاع كهرومغناطيسي ينبعث من الشمس باتجاه سطح الارض ليصل إلى الغلاف الجوي الارضي في ثمان دقائق تقريبا وهو اشعاع ذو اطوال موجية مختلفة المجال وتسمي بالطيف الشمسي وتقسم هذه الأشعة الى ثلاثة أنواع:

- الموجات القصيرة (اشعه اكس واشعه غاما والأشعة فوق البنفسجية).
- الأشعة الضوئية وهي الأشعة المرئية وتتراوح اطوالها الموجية بين (0.4-0.7µm).
- الموجات الطويلة وهي الأشعة الحرارية [1].

يعتمد انتقال الحرارة في عمليتي التوصيل والحمل الحراري على حركة الجسيمات الساخنة ولكن في حالة الإشعاع يمكن أن تنتقل الحرارة خلال الفراغ، فتولد الذرات أو الجزيئات المتحركة داخل أي جسم موجات من الطاقة الاشعاعية تسمى بالأشعة تحت الحمراء. وكذلك فإن جميع أشكال المادة تبعث إشعاعات عندما تكون في درجة حرارة غير صفرية [2]. ولم يتم حتى الان تحديد طبيعة الإشعاع والية نقله بشكل كامل [3]. يسمى النقل في حالة الإشعاع بالإشعاع الحراري.

الإشعاع الحراري عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي يصدر عن المادة تلقائياً عند درجة حرارة معينة، وهو ناجم عن الحركة الاهتزازية والدورانية للجزيئات والذرات والإلكترونات، ولا يحتاج إلى وسط مادي للانتشار. وقد اكتشف عند تحليل أشعة الشمس أو الأشعة الصادرة عن أقواس كهربائية بواسطة موشور زجاجي. يعطي الإشعاع الحراري طيفاً متصلاً يحوي جميع الأطوال الموجية المرئية وغير المرئية التي تتضمن الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية [4].

إن قياسات الإشعاع طويل الموجة على سطح الارض ترجع بشكل رئيسي إلى الاختلافات في مكونات الغلاف الجوي مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والهباء الجوي (الجسيمات الصلبة العالقة في الغلاف الجوي) وينبعث منها بما يسمي بالإشعاع الجوي [5]. يقصد بالإشعاع الجوي تلك الموجات الاشعاعية التي تنطلق من الغازات التي يتكون منها الغلاف الجوي. ويجب أن نعرف أن المصدر الأصلي للإشعاع الجوي هو ما استمدته مكونات الغلاف الجوي من الإشعاع الشمسي [6]. إن معرفة الاشعاع الجوي ذو الطول الموجي الطويل مهم في العديد من التطبيقات نذكر منها الدراسات البيئية، تغيرات المناخ ....

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم أداء بعض النماذج التي تسمح بتقدير الإشعاعات الجوية طويلة الموجة تحت ظروف السماء الصافية، باستخدام بيانات ضغط البخار ودرجة حرارة الهواء المرصودة. تم أخذ معطيات الأرصاد الجوية خلال فترات مختلفة منها أشهر أوت 2020 وجانفي ومارس 2021 وفي مناطق مختلفة منها عنابة وأدرار والوادي وقمار.

تم انجاز هذا العمل في ثلاثة فصول، الفصل الأول بعنوان عموميات حول الإشعاع الحراري وهو يعتبر بمثابة مقدمة لبقية الفصول والذي تعرفنا من خلاله على الطيف الكهرومغناطيسي وخصائصه. وكذلك الإشعاع الحراري وبعض مفاهيمه وقوانينه، أما الفصل الثاني فهو يعتبر بمثابة مقدمة للفصل الثالث والذي

كان بعنوان النماذج الحسابية وتطرقنا فيه إلى بنية الغلاف الجوي وتركيبه الكيميائي وبعض أجهزة القياس المستعملة في قياس الضغط الجوي وتطرقنا فيه أيضا إلى النماذج الحسابية، أما الفصل الثالث فهو عبارة عن عرض للنتائج المتحصل عليها فيما يخص تقدير كمية الإشعاع الجوي الطويل الموجي النازل ومناقشتها وتحليلها. وكذلك التحقق من دقة النماذج الحسابية.

الفصل الأول

عموميات حول

الإشعاع الحراري

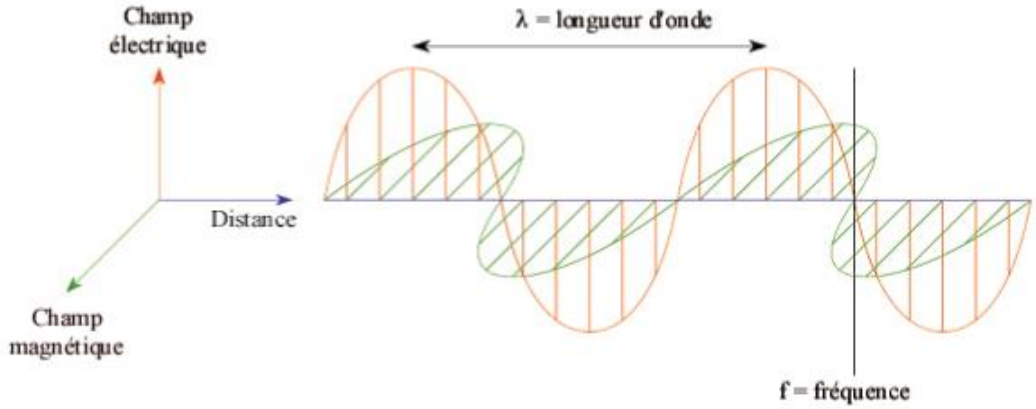
1-1 المقدمة:

نحتاج في حياتنا اليومية إلى طاقة ومصدرها يكون إما طبيعيا كأشعة الشمس أو صناعيا من صنع الإنسان فالطبيعية تتمثل في الإشعاع الكهرومغناطيسي وله خصائص أساسية ويتصرف بشكل متوقع. يتكون الاشعاع الكهرومغناطيسي من حقل كهربائي (E) وحقل مغناطيسي (M). يختلف الحقل الكهربائي من حيث الحجم ويتم توجيهه بشكل متعامد مع اتجاه انتشار الاشعاع [7].

ويستخدم مصطلح "الإشعاع" كثيرا للإشارة للطاقة الحرارية المشعة، حيث يأخذ الإشعاع شكل الموجات الكهرومغناطيسية والتي تشمل خصوصا الأشعة تحت الحمراء. في حالة الإشعاع يمكن أن تنتقل الحرارة خلال الفراغ الذي لا يحوي جسيمات. ويمكن فيه إحساس الأشعة على شكل حرارة وهو ما يسمى بالإشعاع الحراري الذي نركز عليه في هذا الفصل [8].

2-1 تعريف الأشعة الكهرومغناطيسية:

هي عبارة عن إشعاع يتكون من حركتين متوافقتين تتحركان في مستويين متعامدين. تتألف الأشعة الكهرومغناطيسية من حقل كهربائي والذي يتغير في اتجاه عمودي على اتجاه سريان الإشعاع وحقل مغناطيسي يتعامد على الحقل الكهربائي وكلا الحقلين يسيران بسرعة الضوء وتأخذ الرمز c [9].



الشكل (1.1): الأشعة الكهرومغناطيسية [10].

يتميز الإشعاع الكهرومغناطيسي بميزتين أساسيتين وهما الطول الموجي والتردد. حيث الطول الموجي يعادل طول دورة الموجة، والتي تقابل المسافة بين قمتين متتاليتين للموجة عادة ما يرمز لطول الموجة بالرمز λ يتم قياسه بالمتر أو إحدى أجزاءه: النانومتر، ميكروميتر، سنتمتر.

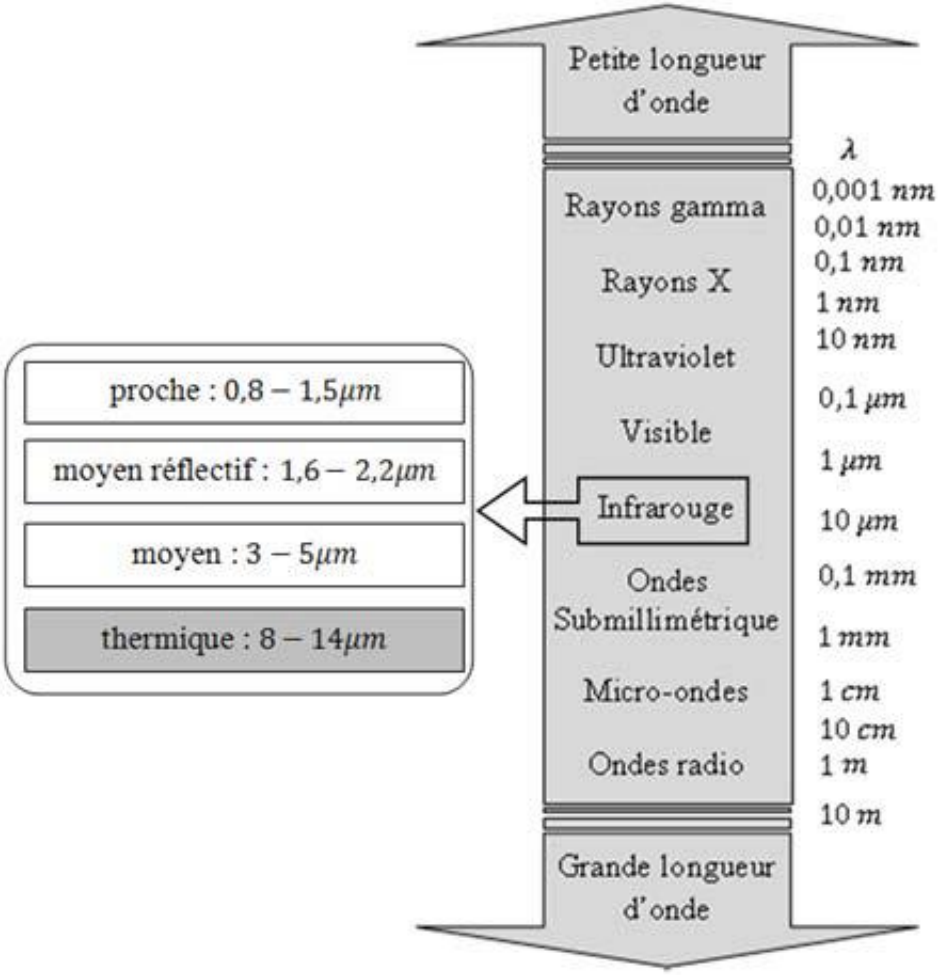
وهذه العلاقة تربط بين الطول الموجي والتردد للإشعاع وهي $\lambda=C/\nu$ حيث λ هو الطول الموجي للموجة الكهرومغناطيسية (μm) كما هو موضح في الشكل (1.1)، ν تمثل التردد(HZ) وC سرعة الضوء في الفراغ (3.10^8 m/s). وبالتالي فإن الطول الموجي والتردد يتناسبان عكسيا كلما كان طول الموجة أقصر كلما كان التردد أكبر.

1-3 مصادر الأشعة الكهرومغناطيسية:

أهم عملية مسؤولة عن نقل الطاقة في الغلاف الجوي هي الإشعاع الكهرومغناطيسي، يعرف الإشعاع الكهرومغناطيسي بأنه الطاقة المنبعثة من مصدر في شكل موجة أو جسيم ويمكن أن يكون مصدر هذا الإشعاع طبيعيا مثل أشعة الشمس أو الأشعة تحت الحمراء الحرارية المنبعثة من الأرض أي سطح الأرض أو الغلاف الجوي أو أن تكون من صنع الانسان (صناعية) مثل أشعة الرادار. يسمح لنا تحلل الإشعاع الكهرومغناطيسي كدالة لطول الموجة أو التردد بالحصول على طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي له خاصية خاصة على سبيل المثال في الاستشعار عن بعد: النطاق المرئي يسمح لنا بتقدير الإشعاع الشمسي على مستوى الأرض ويسمح لنا النطاق الحراري للأشعة تحت الحمراء بتقدير درجة حرارة السطح [11].

1-4 الطيف الكهرومغناطيسي:

يمثل الطيف الكهرومغناطيسي توزع الطاقة الكهرومغناطيسية عند الأطوال الموجية المختلفة، أي تمثيل الإشعاع الكهرومغناطيسي وفقا لطول الموجة λ حيث يعطي الخصائص الخاصة بالإشعاع التي سيتم استغلالها حسب الحاجة وقد أدت هذه الخصائص إلى تقسيم الطيف إلى عدد قليل من النطاقات الكبيرة وهناك ثلاث مناطق مرئية والأشعة تحت الحمراء القريبة، والاشعة تحت الحمراء الحرارية والميكروويف [12].
ويمتد الطيف الكهرومغناطيسي انطلاقا من الأطوال الموجية الراديوية الطويلة جدا وصولا إلى أشعة غاما القصيرة جدا حيث تستطيع العين البشرية كشف قسم صغير من هذا الطيف وهو القسم المعروف بالطيف المرئي [13]. الشكل (2.1) يوضح مناطق الطيف الكهرومغناطيسي.



الشكل (2.1): مناطق الطيف الكهرومغناطيسي بدلالة الطول الموجي [14].

1-4-1 الأشعة الفوق البنفسجية:

الأشعة فوق البنفسجية هي أشعة غير مرئية وتمثل هذه الأشعة 9%من جملة الإشعاع الشمسي عبارة عن موجة كهرومغناطيسية طول موجتها ما بين 0.2 و0.4 مايكرومتر [6]. أقصر من الطول الموجي المرئي وسميت بالفوق البنفسجية لأن طول موجتها هو اللون البنفسجي وهو الأقصر في ألوان الطيف [15].

1-4-2 الأشعة المرئية:

الأشعة المرئية هي الأشعة الضوئية والتي تعرف بضوء النهار [6]. الطيف المرئي هو جزء من الطيف الكهرومغناطيسي وسميا مرئيا لأنه يرى ويكتشف من طرف عين الانسان. والأطوال الموجية من هذا الطيف الكهرومغناطيسي لهذا المجال هو الضوء، الطيف المرئي يتواجد في نطاق صغير مع المقارنة ببقية المجال

الكهرومغناطيسي، ويقع في مجال يتراوح بين 400 و700 مايكرومتر، علما أن أطول موجة في الضوء المرئي هو الأحمر وأقصرها هو البنفسجي وبالتالي يمكن تقسيم المجال المرئي إلى الأقسام التالية:

البنفسجي: 400-446 نانومتر

الأزرق :446-500 نانومتر

الأخضر :500-578 نانومتر

الأصفر :578-592 نانومتر

البرتقالي :592-620 نانومتر

الأحمر :620-750 نانومتر

ويعد اللون الأزرق والأخضر الألوان الأساسية في المجال المرئي لأن أي لون أساسي لا يمكن أن يتكون من الألوان الأخرى. كما يمكن رؤية مكونات الطيف المرئي من الإشعاع الكهرومغناطيسي عندما نمرره خلال موشور الذي يقسم كميات متمايزة حسب طولها الموجي [15].

1-4-3 الأشعة تحت الحمراء:

وهي الجزء الأهم في المجال الكهرومغناطيسي ورمزها (RI) والتي تغطي أطوال الموجات من 700تقريبا إلى 100.000نانومتر، أي تقريبا مائة مرة أعرض من الجزء المرئي.

يمكن تقسيم الأشعة تحت الحمراء إلى مجموعتين حسب خصائصها الإشعاعية وهما:

الأشعة تحت الحمراء الانعكاسية: وهي أشعة منعكسة تستخدم في الاستشعار عن بعد بطريقة تماثل استخدام الضوء المرئي وهي تقع في المجال 700-3000نانومتر.

الأشعة تحت الحمراء الحرارية: وهي التي تسمح لنا في هذا النطاق الحراري بتقدير درجة حرارة السطح في مجال الاستشعار عن بعد [11]. وهي عبارة عن الأشعة التي تشعها الأجسام الطبيعية على شكل حرارة فهي تختلف تماما عن الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء الانعكاسية، تعطى في المجال 3-100مايكرومتر [15،16].

1-4-4 أشعة المايكروويف:

تتراوح ما بين 1 مليمتر الى 1 متر، تمثل أطوال الموجات للأشعة المستخدمة في الاستشعار عن بعد وأشعة المايكرويف قصيرة الطول الموجي لها خصائص الأشعة تحت الحمراء الحرارية [15].

5-1 خصائص الموجات الكهرومغناطيسية:

الخصائص المتنوعة للموجات الكهرومغناطيسية منها ما هو مهم لفهم المبادئ الأساسية للاستشعار عن بعد. هذه في حالة الامتصاص والانبعاث والانتشار والانعكاس والانتقال. هناك العديد من الخصاص الأخرى كالتداخل والحيود والاستقطاب أو تأثير دوبلر وجميعهم لديهم أهمية كبيرة بما في ذلك رادار الاستشعار عن بعد [17].

1-5-1 الامتصاص:

الإشعاع الذي تتلقاه المادة يمكن أن يمتص كمية منه ويتم تحويل هذه الطاقة الممتصة وتعديل الطاقة الداخلية للجسم. وهكذا، تزداد درجة حرارة المادة زيادة طفيفة ويكون هناك مصدر انبعاثات أكبر في الأطوال الموجية الأخرى (على سبيل المثال الأشعة تحت الحمراء الحرارية أي إحساس الاشعاع على شكل حرارة) [17].

2-5-1 الانبعاث:

أي جسم يمتلك درجة حرارة أكبر من الصفر المطلق يصدر إشعاعاً كهرومغناطيسي. يمكن للمرسل أي المصدر أن يكون شمس أو قمر صناعي (رادار) أو هدف (الأشعة تحت الحمراء الحرارية) [17].

3-5-1 الانتشار:

هذه الظاهرة مهمة جدا في مجال استشعار عن بعد. الجسيمات المجهرية تلك الواردة في الغلاف الجوي تسبب الانتشار في جميع الاتجاهات لجزء من الإشعاعات الكهرومغناطيسية. تبدو السماء زرقاء لأن انتشار الضوء يتم بشكل تفضيلي بأطوال موجية قصيرة (أزرق). إذ لم يكن هذا الانتشار بسبب الغلاف الجوي موجودا. فستكون السماء سوداء وستكون المناطق المظلمة أيضاً سوداء مطلقة. وينتشر حوالي 25%من الإشعاع الشمسي الذي يمر عبر الغلاف الجوي. يمكن أن يكون هذا الرقم أعلى بكثير عندما يتم تحميل الغلاف الجوي مع الهباء الجوي وبخار الماء [17].

4-5-1 الانعكاس:

عندما يتلقى الجسم كمية من الإشعاع يعكس بعضاً منها. عندما يتعلق الأمر بالطاقة الشمسية التي يعكسها جزء من الفضاء الأرضي، فإننا نتحدث عن الألبيدو. يتم التعبير عنه بنسبة مئوية من الطاقة المنعكسة، قد يكون الانعكاس براق، أي أنه موجود بالكامل في اتجاه واحد، أو منتشر عند توجيهه في جميع الاتجاهات [17].

1-5-5 الانتقال (النفاذية):

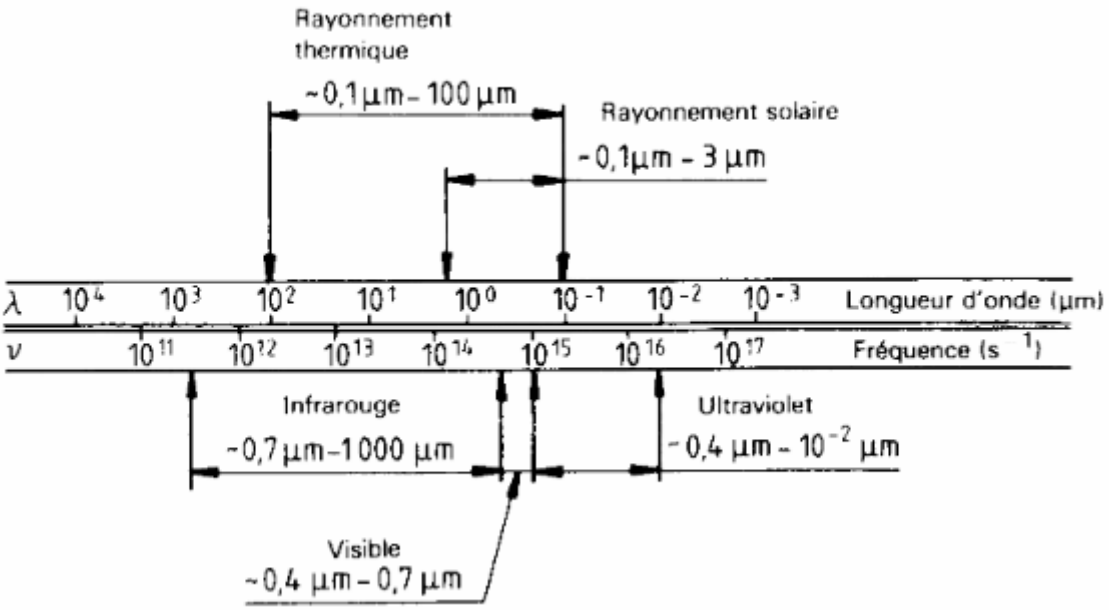
عندما يتلقى الجسم كمية من الإشعاع يمكن أن ينقل بعضاً منها. الجسم الشفاف ذو نفاذية عالية في الأطوال الموجية المرئية. الأسطح التي يمكن أن تنقل بعض الإشعاع الكهرومغناطيسي على سبيل المثال سطح من الماء النقي أو أوراق الشجر [17].

1-6 قياس الإشعاع الكهرومغناطيسي:

يتم قياس الاشعاعات الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من سطح الأرض، المحيطات أو الغلاف الجوي عن طريق مستشعر الأقمار الصناعية. إن الطاقة المسجلة في هذا المستشعر تسمى بدرجة اللمعان (نذكرها فيما بعد) حيث أن اللمعان يجعل من الممكن التمييز بين السطوح على الصورة [17].

1-7 الإشعاع الحراري:

الإشعاع الحراري هو الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من جميع المواد التي تكون في درجة حرارة غير صفرية في نطاق الطول الموجي من 0.1 ميكروميتر إلى 100 ميكروميتر وهو المجال الذي يمكن فيه إحساس الأشعة على شكل حرارة ويشمل جزءًا من الأشعة فوق البنفسجية(UV) ، وكل الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء (RI) .و يطلق عليه الإشعاع الحراري لأنه ناتج عن الحالة الحرارية للمادة ويؤثر عليها، و لا يتطلب وجود وسط مادي لانتقال الحرارة[2].



الشكل (3.1): موضع الإشعاع الحراري والأشعة التي يحتويها [3].

8-1 مفاهيم أساسيه في الإشعاع الحراري:

1-8-1 الزاوية الصلبة:

الزاوية الصلبة هي تعميم لمفهوم الزاوية المستوية وذلك في الفضاء الثلاثي الأبعاد. تُعرَّف زاوية المستوى بأنها نسبة القوس المقطوع إلى نصف قطر الدائرة، الوحدة هي راديان (rd). الزاوية الصلبة هي نسبة المساحة التي تم اعتراضها على الكرة إلى مربع نصف قطر الكرة، الوحدة هي الستيراديان. الزاوية الصلبة لكل الفضاء هي 4 استيراديان. هذه الكمية مفيدة جدًا لتقدير "الطريقة" التي يرى بها المرء جزءًا من الفضاء أو سطحًا معينًا من نقطة ما.

2-8-1 التدفق الإشعاعي الكلي لمنبع Φ :

وهو يمثل إجمالي القدرة التي يشعها مصدر في جميع أنحاء الفضاء. ينبعث هذا التدفق لأطوال موجية مختلفة لذلك يمكننا تفكيك هذا التدفق إلى تدفق أحادي اللون الأولي Φ_λ مما يجعل من الممكن تحديد "الطريقة" التي يشع بها الجسم على كل الطيف كالآتي:

$$\Phi = \int_0^\infty \Phi_\lambda . d\lambda \qquad (1.1)$$

حيث وحدة التدفق الإشعاعي الكلي لمنبع Φ هي W.

3-8-1 شدة الإشعاع I_{Ox} :

وهي تمثل التدفق الإشعاعي المنبعث في الاتجاه $\boldsymbol{Ox}$ في وحدة الزاوية الصلبة ونكتب:

$$I_{Ox} = \frac{d\emptyset_{Ox}}{d\Omega} \qquad (2.1)$$

حيث وحدة شدة الإشعاع I_{Ox}هي W/sr.

4-8-1 الإنبعاثية :

وهي تمثل التدفق الكلي المنبعث في وحدة السطح الباث في كل الاتجاهات:

$$M = \frac{d\emptyset}{ds} \qquad (3.1)$$

حيث وحدة الإنبعاثية هي W/m^2

يمكن تعريف الإنبعاثية أيضًا على أنها دالة لطول الموجة (إنها إذن مسألة الانبعاث أحادي اللون) بحيث أن:

$$M = \int_0^\infty M_\lambda . d\lambda \qquad (4.1)$$

1-8-5 درجة اللمعان:

وهي تمثل التدفق الاشعاعي المنبعث في الاتجاه ox في وحدة الزاوية الصلبة في وحدة السطح [14]. ونكتب:

$$Lox = \frac{d\emptyset oxLox}{d\Omega dS\cos^2\theta} \qquad (5.1)$$

حيث وحدة درجة اللمعان هي($W/(m^2.sr)$

1-8-6 قانون لامبير:

نسمي المصادر التي تكون فيها درجة اللمعان مستقلة عن الاتجاه بانها تخضع لقانون لامبير. تربط علاقة بسيطة بين الإنبعاثية ودرجة اللمعان في حالة البث المتشتت:

$$M = \pi.L \qquad (6.1)$$

1-8-7 الاستنارة :

وهي تمثل الكمية المتعلقة باستقبال الإشعاع. إذا كان السطح يصدر إشعاعًا فإنه يتلقى أيضًا إشعاعًا. تتوافق الإضاءة E (بالواط / المتر مربع) مع التدفق الكلي dΦ الذي يستقبله السطح dS [14].

$$E = \frac{d\emptyset}{ds} \qquad (7.1)$$

1-9 قوانين الإشعاع الحراري:

1-9-1الجسم الأسود وقانون بلانك:

الجسم الأسود هو السطح المثالي الذي يمتص كل الإشعاع الحادث، على جميع الأطوال الموجية وكل الاتجاهات .لذلك، فهو الماص المثالي .نتيجة لهذا التعريف، يمتلك الجسم الأسود عدة خصائص من بينها:

- هو جسم يبث الاشعاع نتيجة لدرجة حرارته
- لا يعتمد على الاتجاه، أي أن إشعاع الجسم الأسود منتشر، في جميع الاتجاهات

نظرًا لأن الجسم الأسود هو يمثل الماص والباعث المثاليين، فسيتم استخدامه كمرجع لمقارنة الخصائص الإشعاعية للأسطح الحقيقية.

تم الحصول على الطاقة الطيفية الإنبعاثية لجسم أسود عند درجة حرارة T بواسطة بلانك:

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda} \cdot \frac{1}{e^{hv/kT}-1} \qquad (8.1)$$

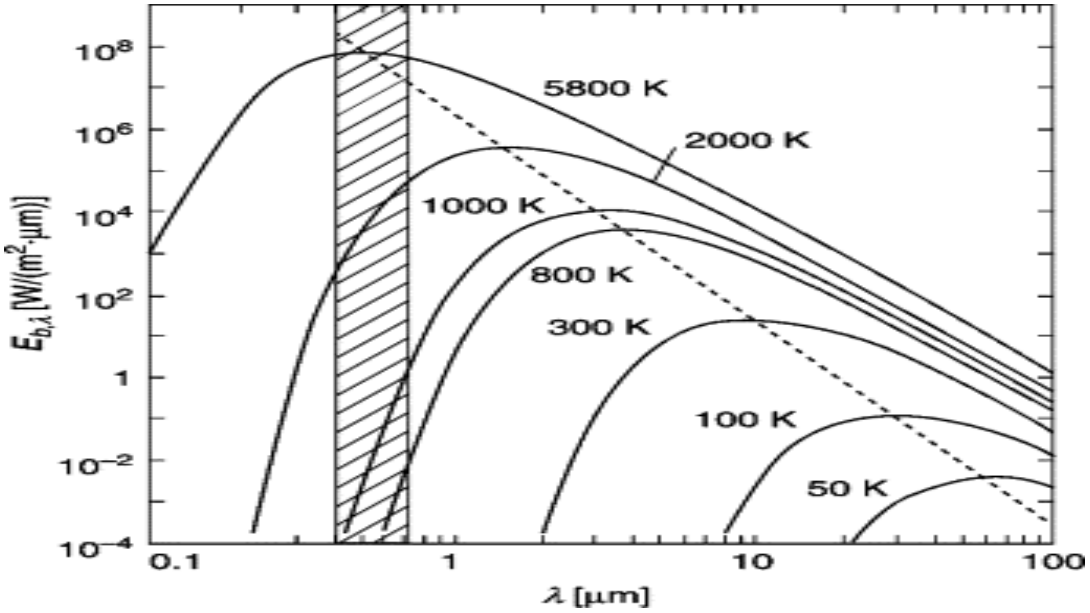
حيث ثابت بلانك يساوي: $h = 6.6261 \times 10^{-34}\ \mathrm{J \cdot s}$

λ الطول الموجي

سرعة الضوء في الفراغ : $c = 2.9979 \times 10^{8}\ \mathrm{m/s}$

وkهو ثابت بولتزمان ($k = 1.3807 \times 10^{-23}\ \mathrm{J/K}$) .

والشكل(4.1): يمثل تغير طاقة الانبعاث الطيفية بدلالة الطول الموجي في درجات حرارة مختلفة. حيث نرمز هنا إلى طاقة الانبعاث الطيفية بالرمز $E_{b,\lambda}$.



الشكل(4.1): تغير طاقة الانبعاث الطيفية بدلالة الطول الموجي في درجات حرارة مختلفة [2].

1-9-2 قوانين فين:

1) قانون فين الأول:

هذا القانون يعطي قيمة الطول الموجي التي تكون عنده الانبعاثية عظمى بدلالة درجة الحرارة حيث يكون:

$$\lambda_m . \mathrm{T} = 2880\ \mu m . \mathrm{K} \qquad (9.1)$$

هذه العلاقة مثيرة جدًا لأنها تتيح معرفة الطول الموجي الأعظمي λ_m لجسم أسود عند درجة الحرارة T.

T = 300 K	λ_m = 9,6 µm
T = 500 K	λ_m = 5,8 µm
T = 750 K	λ_m = 3,8 µm
T = 1000 K	λ_m = 2,9 µm
T = 2000 K	λ_m = 1,44 µm
T = 3000 K	λ_m = 0,96 µm
T = 5790 K	λ_m = 0,5 µm.

يمكن ملاحظة أن الجسم في درجة حرارة الغرفة (~ 300 كلفن) ينبعث بشكل أساسي من الأشعة تحت الحمراء ذات الطول الموجي الطويل. هذا هو الإشعاع الموجود في كل مكان حولنا، ولكن لا يمكننا إدراكه لأن أعيننا حساسة فقط للإشعاع بطول موجة يتراوح بين 0.36 و0.76 ميكروميتر. من ناحية أخرى، ترسل لنا الشمس، التي تبلغ درجة حرارة سطحها 5500 درجة مئوية، أقصى إشعاع لطول موجي 0.5 ميكروميتر (أصفر) في المرئي. هذا هو بالضبط الطول الموجي الذي تتمتع عنده عيننا بأقصى قدر من كفاءة الإضاءة.

2) قانون فين الثاني:

يعبر عن قيمة الحد الأقصى للانبعاث أحادي اللون. للقيام بذلك، يكفي استبدال λm بقيمته في قانون بلانك. نحصل بعد ذلك على:

$$M°_{\lambda m,T} = BT^5 \qquad (10.1)$$

حيث Tتمثل درجة الحرارة بـ k

$B=1,2376.10^{-11}\ w.m^2.\mu m^{-1}.k^{-5}$

توضح هذه العلاقة أهمية درجة الحرارة فيما يتعلق بالانبعاث. على سبيل المثال نسبة الحد الأقصى لانبعاث الشمس (k 6000تقريبًا) [3].

1-9-3 قانون ستيفان بولتزمان:

يتم التعبير عن الإنبعاثية الكلية للجسم الاسود عند درجة حرارة T بواسطة قانون ستيفان بولتزمان :

$$M°(T) = \sigma T^4 \qquad (11.1)$$

حيث σ هو ثابت ستيفان بولتزمان $\sigma=5,67.10^{-8}(w.m^{-2}.k^{-4})$

T هي درجة الحرارة بالكلفن

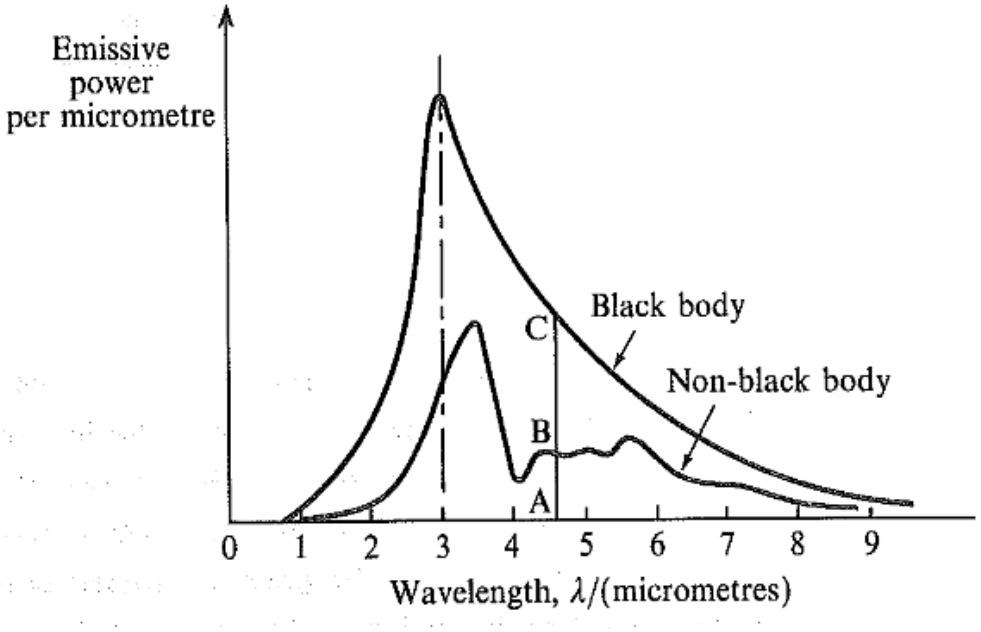
وحدة M^o هي $W.m^{-2}$

1-9-4 انبعاثية الجسم الحقيقي :

ترتبط انبعاثية الجسم الحقيقي الكليه بانبعاثية الجسم الاسود الكلية وذلك حسب العلاقه الاتية :

$$M = \varepsilon M^{\circ} \qquad (12.1)$$

حيث ε يسمى معامل الإنبعاثية. والشكل (1-5) يوضح مقارنة بين الإنبعاثية الكلية للجسم الأسود والإنبعاثية الكلية للجسم الحقيقي حيث نلاحظ من الشكل أن انبعاثية الجسم الأسود أكبر من انبعاثية الجسم الحقيقي.



الشكل(5.1) : مقارنه بين انبعاثية الجسم الاسود والجسم الحقيقي [18].

1-10 الخلاصة:

يجب ملاحظة أن الإشعاع الحراري ما هو إلا طاقة كهرومغناطيسية تنبعث من الأجسام (الساخنة) التي تختلف عن الصفر المطلق حيث تشع كمية من الأشعة تحت الحمراء وتنتقل بسرعة الضوء خلال الفضاء فينعكس جزء من هذه الطاقة ويمتص الجزء الأخر من قبل الاجسام التي تسقط عليها، إن امتصاص الأشعة الكهرومغناطيسية يؤدي إلى تحويلها إلى طاقة حرارية وسترتفع حرارة الجسم الذي يسقط عليه الإشعاع الحراري.

الفصل الثاني

النماذج الحسابية

1-2 المقدمة:

الغلاف الجوي هو الغلاف الذي يحيط بالكرة الأرضية بما يحتويه من طبقات، ولولا هذا الغلاف لما وجدت الحياة على سطح الأرض ولما كان هناك مجال تمارس فيه ظواهر الطقس والمناخ عملها مثل السحب والأمطار والندى والضباب والتساقط الثلجي وغيرها من الظواهر الجوية، وتتركز ظواهر الطقس في الجزء السفلي من الغلاف الجوي في طبقة التروبوسفير والتي تضم بداخلها 75% من كتلة الهواء الجوي [6].

2-2 الغلاف الجوي:

2-2-1 بنية الغلاف الجوي:

الغلاف الجوي للأرض أو الغلاف الغازي هو عبارة عن طبقة غازية تحيط بالكرة الأرضية بحيث أنها تتكون من اتحاد مزيج من الغازات تحافظ عليها جاذبية الأرض من الانفلات إلى الفضاء الشاسع [19].

كما يعد الغلاف الجوي خاصية مهمة تميز كوكب الأرض عن غيره من الكواكب.

يقسم الغلاف الجوي للأرض إلى خمس طبقات أساسية وهي:

1) طبقة التروبوسفير(Troposphère):

هي طبقة الغلاف الجوي الأولى فوق سطح الأرض حيث كتلة التروبوسفير تمثل ما يقارب ثلاثة أرباع مجموعة كتلة الغلاف الجوي. معظم التغيرات المناخية وتغيرات الطقس التي نعيشها في حياتنا اليومية تحدث في هذه الطبقة.

كما أنه في هذه الطبقة تتناقص درجة الحرارة كلما ارتفعنا نحو الأعلى، كما أننا نجد الأكسجين وبخار الماء وثنائي أكسيد الكربون والهباء الجوي [19].

2) طبقة الستراتوسفير(Stratosphère):

تمتد طبقة الستراتوسفير من ارتفاع 20km إلى نحو 65km فوق سطح البحر، تمتاز هذه الطبقة بازدياد في درجة الحرارة بشكل عام من حوالي 60 درجة مئوية تحت الصفر من طبقة الترابوبوز إلى صفر درجة مئوية في أعلى الستراتوسفير وتمتاز هذه الطبقة بالاستقرار التام في جوها حيث ينعدم فيها بخار الماء وتكون جافة، وأقل كثافة من التروبوبوز كما تخلو من الظواهر الجوية كالغيوم والضباب والأمطار ...الخ، حيث تحتوي طبقة الستراتوسفير على مجموعة من الغازات الحقيقية التي تكون بصورة ذرية أو جزئية أو مركبات غازية [20].

3) طبقة الميزوسفير(Mèsosphère):

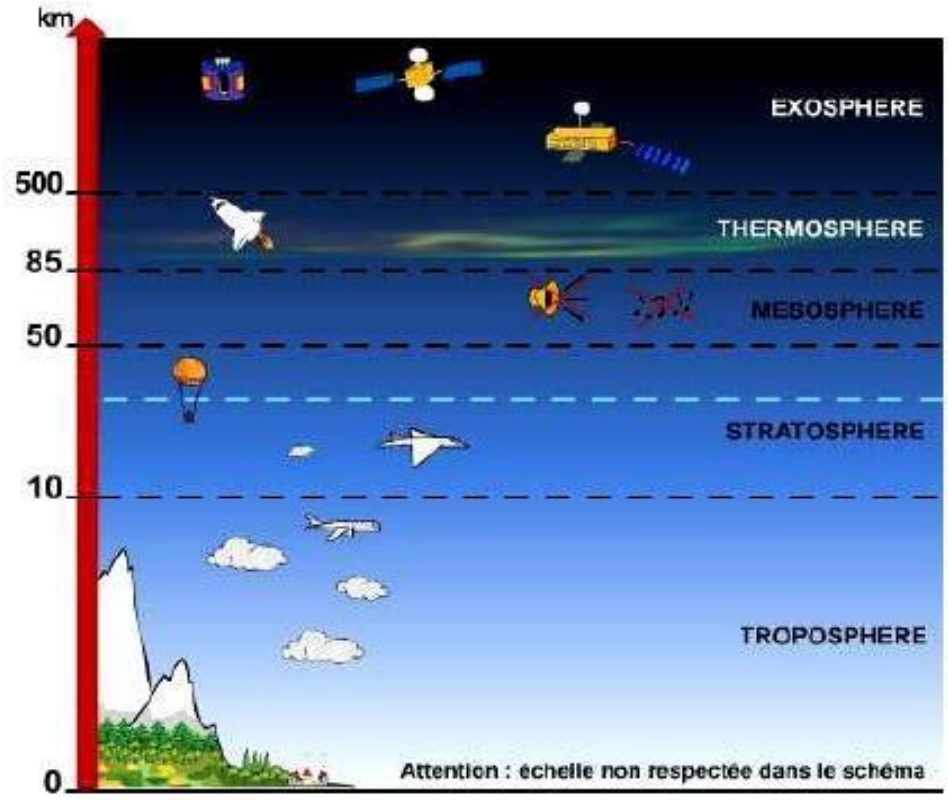
وهي الطبقة التي تعلو الستراتوسفير والتي فيها تدمر كل الشهب والنيازك التي تدخل جو الأرض وفيها تتناقص درجات الحرارة كلما ارتفعنا نحو الأعلى [19].

4) طبقة الترموسفير (Thermosphère):

هي الطبقة الرابعة من طبقات الغلاف الجوي للأرض وتقع في أعلى طبقة الميزوسفير، وجزيئات الهواء هنا نادرة بمجرد تغير في الطاقة يمكن أن يحدث تغير كبير في درجات الحرارة لها، درجة الحرارة تكون هنا حساسة للنشاط الشمسي [19].

5) طبقة الأكسوسفير(Exosphère):

هي الطبقة التي يندمج فيها الغلاف الجوي بالفضاء الخارجي إلى درجة تصبح جزيئات الهواء نادرة الوجود إلى حد أنها لم تعد موجودة [19].



الشكل (2-1): طبقات الغلاف الجوي [5].

3-2 التركيب الكيميائي للغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي الأرضي حاليا من مجموعتين من الغازات. أولا الغازات الدائمة، التي لها تراكيز ثابتة ومتجانسة تقريبا في معظم الغلاف الجوي وهي تتكون أساسا من النتروجين والأكسجين والارجون، والتي تمثل معا أكثر من 99.6٪ من الحجم الإجمالي للغلاف الجوي. ثانيًا الغازات التي تظهر تركيزًا متغير، إما في المكان أو في الزمان أو كليهما. من بين هؤلاء، بخار الماء H_2O والأوزون O_3 لهما تركيزات مختلفة جدًا اعتمادًا على الموقع ويظهران أيضًا تقلبًا زمنيًا كبيرًا على المقاييس اليومية والموسمية [23]. والجدول

(1-1) يعرض الصيغة الكيميائية والنسب الحجم لتركيزات الغاز الدائم والمتغير، من ناحية لوحظ أن كمية بخار الماء متغير جدا في الغلاف الجوي [8].

الجدول (1-1): المكونات الدائمة والمتغيرة للغلاف الجوي الأرضي [22].

عنصر	نسبة الحجم (%)
المكونات الدائمة أو المستمرة	
الأوزون(N_2)	**78.084**
الأكسجين(O_2)	**20.948**
الأرغون (Ar)	**0.934**
ثاني أكسيد الكربون(CO_2)	**0.036**
نيون(Ne)	**18.18×10^{-4}**
الهيليوم(He)	**5.24×10^{-4}**
كريبتون(K_r)	**1.14×10^{-4}**
اكسينون(X_e)	**0.089×10^{-4}**
غاز الهيدروجين(H_2)	**0.5×10^{-4}**
الميثان(CH_4)	**1.7×10^{-4}**
أكسيد النترو(N_2O)	**0.3×10^{-4}**
أحادي أكسيد الكربون(CO)	**0.08×10^{-4}**
المكونات المتغيرة	
بخار الماء (H_2O)	**0-0.04**
الأوزون(O_3)	**$0\text{-}12\times10^{-4}$**
ثنائي أكسيد الكبريت(SO_2)	**0.001×10^{-4}**
ثنائي أكسيد الأزوت(NO_2)	**0.001×10^{-4}**
النشادر(NH_3)	**0.004×10^{-4}**
أكسيد النتريك(NO)	**0.0005×10^{-4}**
كبريتيد الهيدروجين(H_2S)	**0.00005×10^{-4}**

1-3-2 الأوزون:

يقوم الأوزون بامتصاص الإشعاع فوق البنفسجي الضار للإنسان [15]. ويعتبر الأوزون أيضا غازا متغيرا مهماً يمتص إشعاع الموجات الطويلة ويمتلك العديد من سمات الامتصاص العامة مثل النطاقات الطيفية ذات الدوران القوي نسبيا. تم العثور على هذه النطاقات في 9.06 و9.59 و14.27 ميكروميتر [23].

2-3-2 ثاني أكسيد الكربون:

أما هذا المركب فيمتص الإشعاع بقوة في نطاق الأشعة تحت الحمراء البعيدة في مجال الطاقة الكهرومغناطيسية مما يتسبب في احتفاظ الغلاف الجوي بالحرارة وهو المؤدي إلى ظاهرة الاحتباس الحراري [15].

2-3-3 بخار الماء:

يعتبر بخار الماء أهم عنصر في الغلاف الجوي بحيث يمتص الطاقة في كلا من نطاق الأشعة تحت الحمراء طويل الموجة وأيضا الموجات القصيرة (بين 22 مايكرومتر و1 متر) [15]. أي يغطي طيف بخار الماء عمليًا منطقة الأشعة تحت الحمراء بأكملها، حيث تختلف وظيفة بلانك بشكل كبير حسب الطول الموجي ودرجة الحرارة [24]. وبالتالي، فهو يعتبر أهم ممتص للغلاف الجوي في نطاق الأشعة تحت الحمراء. تقع المنطقة الأكثر الشفافية من طيف H_2O في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية بين حوالي 8 و12 ميكروميتر [7]. حيث أن الغازات تمتص الطاقة الكهرومغناطيسية بصور مختلفة في كل النطاقات، لبخار الماء أهمية كبيرة في التوازن الإشعاعي في الغلاف الجوي، بسبب نطاقات الامتصاص المذكورة أعلاه، وله أيضًا تأثير على التباين الديناميكي في الغلاف الجوي [15]. يتم تحديد التوزيع المكاني والزمني لبخار الماء في التروبوسفير من خلال العمليات الهيدرولوجية المحلية مثل التبخر والتكثيف والترسيب، وكذلك من خلال عمليات النقل على نطاق واسع.

إن كان الغلاف الجوي يتركب أساسا من العناصر الغازية السابقة، فإنه يحتوي في مكوناته أيضا نسب متباينة من الهباء الجوي [23].

2-4 الهباء الجوي:

يتمثل الهباء الجوي في جزيئات دقيقة جدا والمتمثل في الغبار وغاز وقطرات النداء أو قطع من مواد صلبة عالقة بالهواء [23].

كما أن بعض الهباء الجوي يتم بثه مباشرة في الغلاف الجوي في حين يتشكل جزء اخر من خلال التركيبات الصادرة، ومن هذه التركيبات نذكر منها التركيبات الطبيعية وتركيبات ناتجة عن النشاط البشري [22].

2-5 رصد إشعاع الغلاف الجوي:

أول عملية رصد لإشعاع الغلاف الجوي أجريت من الفضاء في أكتوبر 1959 على متن السواتل Explorer. وفي وقت أول رحلة لسواتل الرصد التلفزيوني بالأشعة تحت الحمراء (TIROS). وهو أحد القيود المتعلقة بالتنبؤ العددي بالطقس ونموذج الدوران العام و هو تمثيل عمليات الإشعاع في الغلاف الجوي وتتمثل عوامله الرئيسية في الأهباء الجوية، وباطن السحب (وخاصة الجليد)، وتدفقات الإشعاع داخل الغلاف الجوي الثلاثي الأبعاد بالإضافة إلى قمة الغلاف الجوي وسطح الأرض وتتطلب بعض المتغيرات أجهزة رصد كبيرة (ليدار، رادار السحب ،الخ) التي تكون غير مناسبة لسواتل الأرصاد الجوية التشغيلية متعددة

الأغراض، ومن ثم يعتمد رصد إشعاع الغلاف الجوي على مجموعة من الأجهزة تحلق إما في برامج تشغيلية، أو على مهام مخصصة [12].

6-2 ديناميات الغلاف الجوي:

تشمل دراسة ديناميات الغلاف الجوي مهام لقياس حقل الرياح ثلاثي الأبعاد، وهي مسألة صعبة لأن الرياح بطبيعتها ليس لها بصمة في الطيف الكهرومغناطيسي غير أنه كرست جهود حثيثة ولا تزال تلك الجهود تكرس لهذا الموضوع، إذ إن الرياح واحدة من الراصدات الأساسية اللازمة للتنبؤ العددي بالطقس ونماذج الدوران العام.

ومع ظهور المسابير الفائقة الطيفية في المدار الثابت بالنسبة للأرض في المستقبل، ستكون البيانات العمودية لبخار الماء المتواترة مع أنماطها متاحة على ارتفاعات إضافية، وسيتم تحقيق استبانة رأسية عالية جدا في الأجواء الصافية وتستنبط حركة رياح الغلاف الجوي فوق المناطق القطبية أيضا من السواتل القطبية المدار. مستفيدة في ذلك من المعابر الفوقية المتكررة [12].

7-2 السحاب Clouds:

تتكون السحب من الملايين من الجزيئات الصغيرة من الماء وبسبب صغر هذه الجزيئات يستطيع الهواء أن يحملها، وتتمكن الرياح من نقلها وتحريكها من مكان إلى اخر، ويوجد تشابه كبير بين كل من السحاب والضباب ولكن الضباب قريب من سطح الأرض والسحاب في الطبقات العليا من الجو، وتأتي أهمية دراسة السحب في أنها مصدر كل أنواع التساقط خاصة الأمطار والثلوج، وكذلك ما للسحب من أثر على مقدار الاشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض ودوره في التأثير على باقي عناصر المناخ [6].

يتم توضيح كمية السحب على أساس افتراض أن قبة السماء مقسمة إلى ثمانية أقسام وتحسب الكمية بعدد الأقسام التي تغطيها السحب الموجودة في قبة السماء، وتستخدم لذلك رموز وشفرات [6].

أولاً: أجهزة قياس ارتفاع قاعدة السحاب:

يعبر عن ارتفاع قاعدة السحب بارتفاع هذه القاعدة عن مستوى مكان الرصد أو مستوى سطح الأرض المقام عليها جهاز المطر العادي، وفي محطات الأرصاد الملحقة بالمطارات يعبر عن ذلك بارتفاع قاعدة السحب عن مستوى الارتفاع الرسمي للمطار حتى يجيء مطابقاً للاحتياجات الملاحة الجوية، ويمكن قياس ارتفاع قاعدة السحب بواسطة إطلاق بالونه أو بواسطة الكشاف الضوئي أثناء الليل [6].

ثانياً: أجهزة قياس اتجاه السحاب وسرعتها:

يستخدم لذلك بعض الأجهزة من أهمها ما يلي:

❖ جهاز النيفوسكوب Nephoscope:

يستخدم هذا الجهاز في تعيين اتجاه حركة السحب وقياس سرعتها، ويتكون الجهاز من شوكة محمولة على عمود يدور حول نفسه ومثبت عند قاعدته قرص يبين الاتجاهات المختلفة وعندما يريد الراصد رصد أي سحابة فإنه يقوم بتوجيه الشوكة في نفس اتجاه حركة السحابة ثم يقرأ الاتجاه على القرص، أما عند قياس سرعتها فانه يتم حسابها على أساس طول المسافة التي قطعتها هذه السحابة في مدة معينة، كما تظهر من أقسام الشوكة والزاوية المحصورة بين الخط الرأسي عند مكان الراصد والخط الواصل بين نقطة وقوف الراصد والمكان الذي تحركت اليه السحابة [6].

❖ الكاميرات السماوية ذات المرايا (photographic sky mirror):

وقد اخترع هذه الكاميرات العالم جورجي Geargi في عام 1933، وهي تتكون من مرآتين وكاميرا مثبتة في وسط أحدهما حيث تسقط الأشعة الضوئية على سطح المرآة الكروية لتعكسها على سطح المرآة المستوية والمثبتة رأسيا على المرآة الكروية فتعكسها مرة ثانية على عدسة الكاميرا الموجودة في داخل المرآة الكروية، وهذه الكاميرا السماوية ذات المرايا تستخدم في الحصول على صور للسحب التي تحجب الضوء في السماء، ولقد أدخل عليها بعض التعديلات حتى أمكن استخدامها في التقاط صور السحب المرتفعة والتي تصل إلى ارتفاع حوالي 12000متر، وتستخدم هذه الصور في معرفة أنواع السحب وارتفاعاتها المختلفة [6].

8-2 طريقة حساب الإشعاع طويل الموجة النازل:

كذلك تم تطوير عدد من النماذج لتقدير الإشعاع طويل الموجة النازل وهذا عندما لا تتوفر قياسات هذا المتغير بطبيعة الحال. تعد علاقة أنجستروم (1918) [26]. أول علاقة تقريبية تجمع بين الإشعاع طويل الموجة النازل وضغط بخار الماء. وهناك بعض النماذج الأخرى التي تستخدم ظروف مستوى السطح (درجة حرارة الهواء ضغط البخار الماء بشكل أساسي). في جميع الحالات، فإن نقطة البداية هي أن الغلاف الجوي يمكن اعتباره جسما رماديا، لذلك يتم تحديد الإشعاع طويل الموجة النازل من خلال معامل الإنبعاثية للجو ε_{atm} ودرجة الحرارة الفعالة للجو T_{atm} وفقًا للمعادلة (1.1) [7].

$$LW\downarrow = \varepsilon_{atm}\,\sigma T_{atm}^{4} \qquad (1.1)$$

حيث σ هو ثابت ستيفان بولتزمان ($\sigma = 5.67\ 10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$)

ونظرًا لأنه من الصعب تحديد كل من معامل الإنبعاثية ودرجة الحرارة الفعالة لعمود شاقولي من الغلاف فعادةً ما يتم تحديد قيم الإشعاع طويل الموجة النازل من خلال درجة حرارة الهواء T_a وضغط بخار الماء e على مستوى الشاشة، وهذا في ظروف السماء الصافية كالآتي:

$$LW\downarrow = \varepsilon_{atm\,(T_a,e)}\,\sigma\,T_a^4 \qquad (2.1)$$

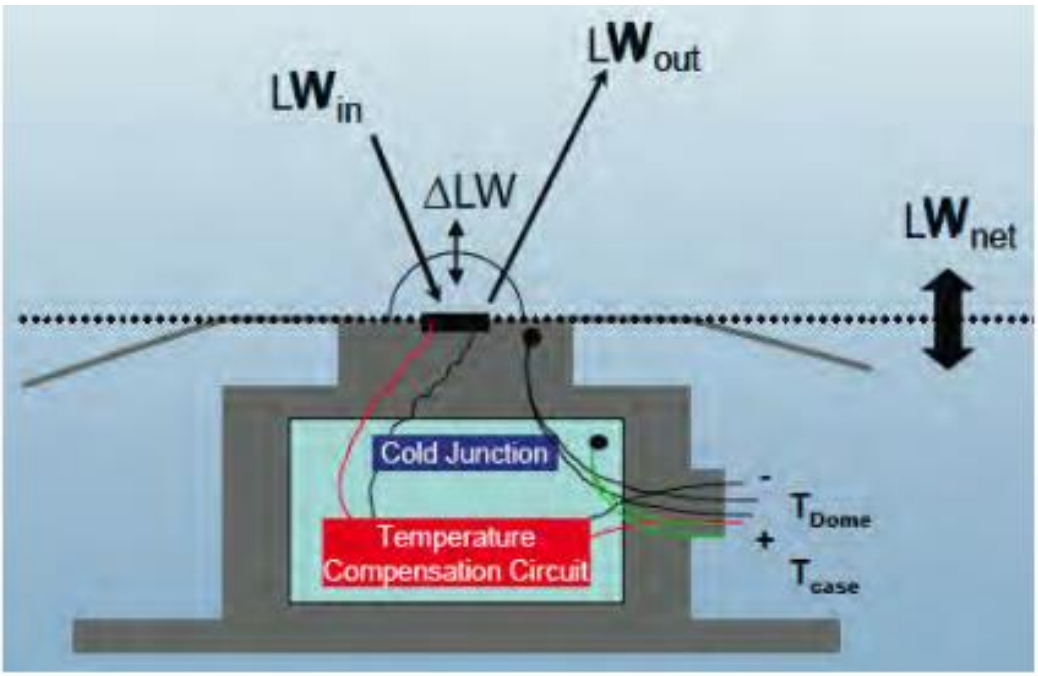
بصفة عامة توجد ثلاث عوامل أساسية تؤثر في كمية الإشعاع طويل الموجة النازل عند السطح وهي:

درجة الحرارة الهواء، كمية بخار الماء في الجو، الارتفاع عن سطح البحر.

2-9 قياس الإشعاع طويل الموجة النازل (جهاز البيرجيومتر):

يمكن قياس الإشعاع طويل الموجة النازل (LW↓) المنبعث من الغلاف الجوي ووقعه على السطح الأفقي بشكل روتيني بواسطة أجهزة قياس الإشعاع (البيرجيومتر). هذه الأجهزة تستخدم على نطاق واسع في أبحاث الأرصاد الجوية وأبحاث دراسة المناخ.

إن جهاز البيرجيومتر يعد من أكثر الأدوات استخدامًا لقياس الإشعاع طويل الموجة النازل عند السطح الأرضي. والشكل (2.2) يوضح الإشعاعات الأساسية التي يقيسها البيرجيومتر والتي منها الإشعاع طويل الموجة النازل [7].



الشكل (2.2): الإشعاعات الأساسية المقاسة بواسطة البيرجيومتر، حيث: LW_{in}: هو الإشعاع طويل الموجة النازل، و LW_{out}: هو الإشعاع طويل الموجة الصاعد [7].

10-2 المسابير الراديوية أو الراديوسوند (Radiosonde):

الراديوسوند هو عبارة عن منصة محمولة بالبالون مع إمكانات إرسال لاسلكي كما يوضحه الشكل (3.2)، يحتوي المسبار اللاسلكي على أدوات قادرة على إجراء قياسات مباشرة في الموقع لدرجة حرارة الهواء والرطوبة والضغط مع الارتفاع، وعادةً ما يصل ارتفاعها إلى حوالي 30كم. يرسل جهاز الإرسال اللاسلكي الموجود داخل حزمة الجهاز هذه البيانات المرصودة على الفور إلى المحطة الأرضية.

يوفر صعود المسبار اللاسلكي مقياسًا غير مباشر لسرعة الرياح واتجاهها على مستويات مختلفة في جميع أنحاء طبقة التروبوسفير. وهكذا، يقيس المسبار اللاسلكي أو يحسب وينقل المتغيرات التالية: الضغط والارتفاع والموقع الجغرافي (خطوط الطول / العرض) ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية وسرعة الرياح واتجاهها. في بعض الأحيان، بالنسبة لدراسات بحثية معينة، يتم إطلاق هذه الدراسات أكثر من مرتين في اليوم حسب الغرض من الدراسة [7].

الشكل (3.2): مثال على نظام الراديوسوند ومنطاد الإطلاق (Vaisala RS92).

لا تتوفر المسابير الراديوية في كل مكان، ولكن فقط في الأماكن التي يتم إطلاقها فيها بشكل روتيني، كما هو الحال في بعض محطات الأرصاد الجوية المحددة، أو المحطات التابعة لبعض الشبكات أو المنظمات الخاصة. أو عندما يتم إطلاقها على وجه التحديد في بعض الحملات. هذا النقص في المعلومات يمكن أن يحد من دراسة سلوك الإشعاع طويل الموجة النازل. ومع ذلك، يمكن استخدام مصادر أخرى للمعلومات للحصول على حالة الغلاف الجوي [7].

11-2 نماذج حساب معامل انبعاثية الجو والمستخدمة في تقدير كمية الإشعاع طويل الموجة النازل في ظروف السماء الصافية:

في عملنا هذا سنستخدم ندرس آداء سبعة نماذج مختلفة لتقدير كمية الإشعاع طويل الموجة النازل في ظروف السماء الصافية وهي كالآتي: 1) نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) 2) نموذج سوجيتا وبروتسايرت (Sugita and Brutsaert) 3) نموذج برانت 1932 (Brunt 1932)، 4) نموذج دوارتي وآخرون (Duarte et al.)، 5) نموذج كروك وآخرون (Kruk et al)، 6) نموذج سوينبانك (Swinbank) و7) نموذج كيدنف (Keding).

والصيغ الرياضية لهذه النماذج هي كالآتي:

❖ **النموذج الأول:** نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) [27].

$$\varepsilon_a = 1.723 \left(\frac{e_a}{T_a}\right)^{1/7} \quad (3.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ kPa، و T_a تمثل درجة حرارة الهواء و معبر عنها بـ K.

❖ **النموذج الثاني:** نموذج برانت 1932 (Brunt 1932) [28].

$$\varepsilon_a = \left(0.52 + 0.205 \sqrt{e_a}\right) \quad (4.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ kPa.

❖ **النموذج الثالث:** نموذج كيدنف (Keding) [29].

$$\varepsilon_a = 0.92 - 0.7 \times 10^{-1.2\, e_a} \quad (5.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ kPa.

❖ **النموذج الرابع:** نموذج سوجيتا و بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) [30].

$$\varepsilon_a = 0.714 \left(\frac{e_a}{T_a}\right)^{0.0687} \quad (6.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ Pa، و T_a تمثل درجة حرارة الهواء و معبر عنها بـ K.

❖ **النموذج الخامس:** نموذج دوارتي وآخرون (Duarte et al.) [31].

$$\varepsilon_a = 0.625 \left(\frac{e_a}{T_a}\right)^{0.131} \quad (7.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ Pa، و T_a تمثل درجة حرارة الهواء و معبر عنها بـ K.

❖ **النموذج السادس:** نموذج كروك وآخرون (Kruk et al) [32].

$$\varepsilon_a = 0.576 \left(\frac{e_a}{T_a}\right)^{0.202} \quad (8.1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ Pa، و T_a تمثل درجة حرارة الهواء و معبر عنها بـ K.

❖ **النموذج السابع:** نموذج سوينبانك (Swinbank) [33].

$$\varepsilon_a = 9.365 \times 10^{-6} {T_a}^2 \quad (9\ .1)$$

حيث T_a تمثل درجة حرارة الهواء ومعبر عنها بـ K.

- مع العلم أن ضغط بخار الماء في الجو e_a يتم حسابه انطلاقا من المقدارين الرطوبة النسبية HR و ضغط التشبع لبخار الماء e_s و ذلك كالآتي:

$$e_a = \frac{HR \times e_s}{100} \qquad (10 .1)$$

حيث e_a يمثل ضغط بخار الماء في الجو و معبر عنه بـ Pa، و HR تمثل الرطوبة النسبية و معبر عنها بـ %، و e_s يمثل ضغط التشبع لبخار الماء في الجو و معبر عنه بـ Pa.

مع العلم كذلك أن ضغط التشبع لبخار الماء e_s معبر عنه بـ Pa، يتم حسابه كالآتي:

$$e_s = 610.78 \times exp\left(17.27 \frac{T-273.16}{T-35.86}\right) \qquad (11 .1)$$

12-2 الخلاصة:

لقد تحسنت الأرصاد الجوية باستخدام الأقمار الصناعية كثيرا فهي تساهم في رصد وتقدير مختلف الاشعاعات الساقطة، بالإضافة إلى عديد النماذج والخوارزميات المستخدمة في تقدير كمية الإشعاع طويل الموجة النازل في ظروف السماء الصافية. كما يمكن قياس كمية الاشعاع هذه أيضا بواسطة أجهزة حديثة الاستعمال ومتطورة كأجهزة القياس المذكورة في هذا الفصل.

الفصل الثالث

تحليل ومناقشة النتائج

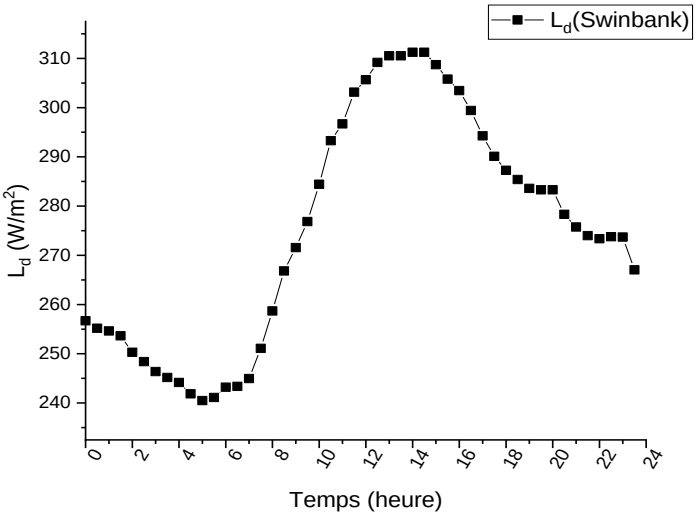
3-1 المقدمة:

بعد الانتهاء من الجزء السابق والذي تناولنا فيه مختلف النماذج لتقدير كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط نتطرق في هذا الفصل إلى تحليل ومناقشة النتائج التي تحصلنا عليها وذلك في مناطق مختلفة، منطقة الوادي التي تتميز بارتفاع درجات الحرارة صيفا وهي منطقة صحراوية وكذلك منطقة أدرار بكونها منطقة جافة وحارة صيفا، بالإضافة الى منطقة عنابة التي تتميز بالرطوبة المرتفعة نوعا ما لكونها تقع في السواحل الجزائرية على محيط البحر الأبيض المتوسط.

3-2 تقدير ودراسة كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في ظروف السماء الصافية:

في هذا الجزء، أولا نريد تقدير ثم دراسة كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي في يوم 01 جانفي 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي) باستخدام نموذج سوينبانك Swinbank. والشكل (1.3) يوضح النتائج المتحصل عليها.

نلاحظ من خلال الشكل (1.3) تذبذب في كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط من الساعة 0 صباحا إلى الساعة 24 مساءًا حيث هناك تناقص ملحوظ في كمية الإشعاع في المجال من الساعة 0 إلى الساعة 6 صباحا ثم تتزايد بعدها من الساعة 6 صباحا إلى الساعة 14 مساءًا و يكون بلوغ الذروة عند الساعة 14 تقريبا حيث تصل كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط على هذه المنطقة تقريبا إلى $310\ W/m^2$، و هذا راجع إلى أن كمية درجة الحرارة تكون كبيرة في منتصف النهار ثم بعد ذلك تتناقص كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط من الساعة 14 مساءًا إلى الساعة 24 مساءًا أي حتى وصول كمية الإشعاع إلى $265\ W/m^2$ وهذا راجع إلى التناقص في درجة الحرارة.

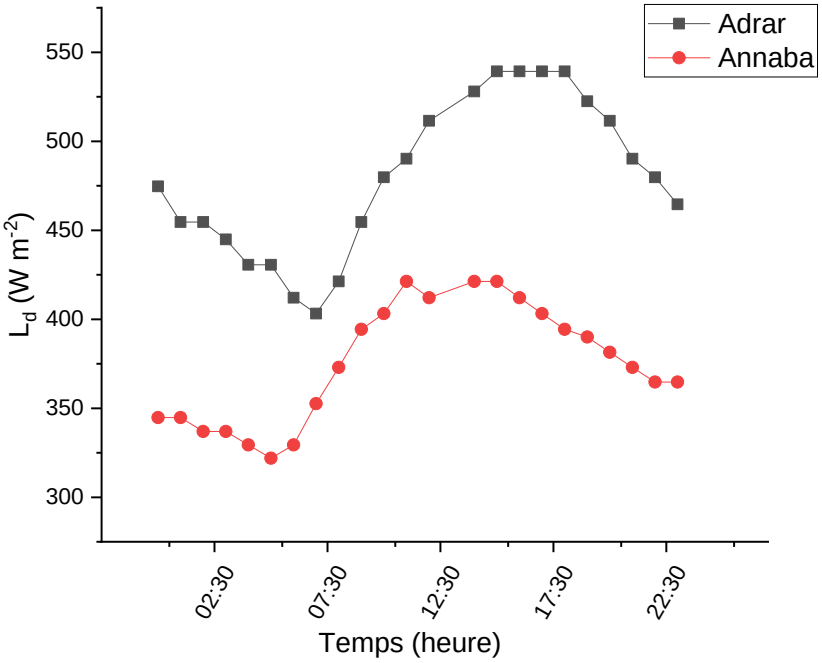


الشكل (1.3): تغير كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي في يوم 01 جانفي 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي).

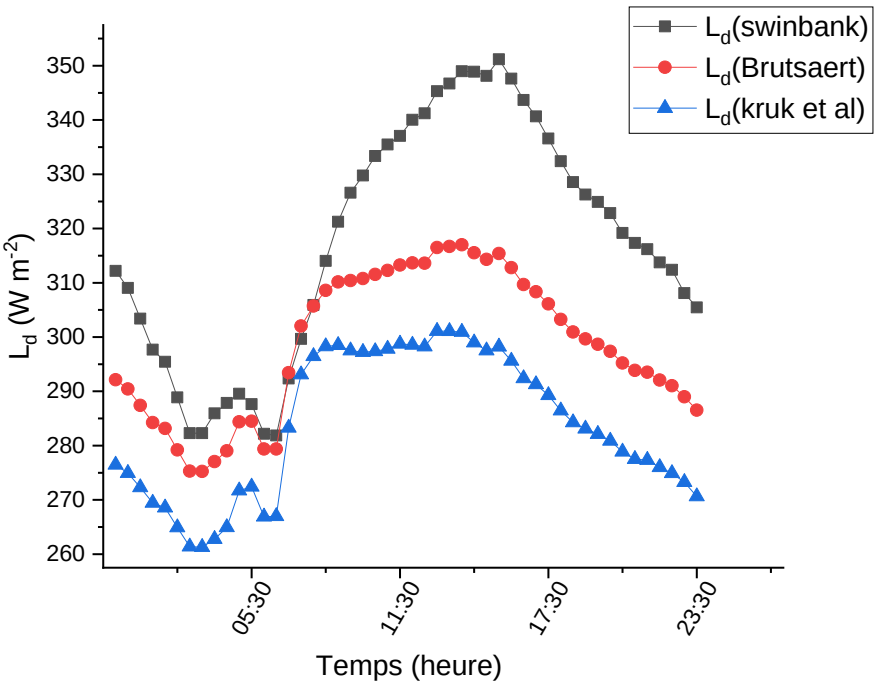
نريد الآن مقارنة كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في ظروف السماء الصافية بدلالة الزمن بين منطقتي عنابة وأدرار في يوم 08 أوت 2020. وذلك باستخدام نموذج سوينبانك (Swinbank). والشكل (2.3) يوضح النتائج المتحصل عليها.

حيث نلاحظ من خلال هذا الشكل أن كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في أدرار أعلى من كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في عنابة وذلك راجع إلى أن درجة الحرارة في منطقة أدرار أكبر من درجة الحرارة في منطقة عنابة خلال هذا اليوم. بحيث تصل ذروة كمية هذا الإشعاع عند الساعة 14:30 تقريبا والذي تبلغ قيمته تقريبا في أدرار $545\ W/m^2$، وفي عنابة $425W/m^2$.

كما قمنا في الشكل (3.3) بتمثيل تغير كمية الاشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي يوم 15 مارس 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي) وذلك باستخدام النماذج الثلاث: نموذج سوينبانك (Swinbank)، نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975)، ونموذج كروك وآخرون (Kruk et al). حيث نلاحظ أن نتائج النماذج الثلاث لها نفس اتجاه التغير تقريبا.



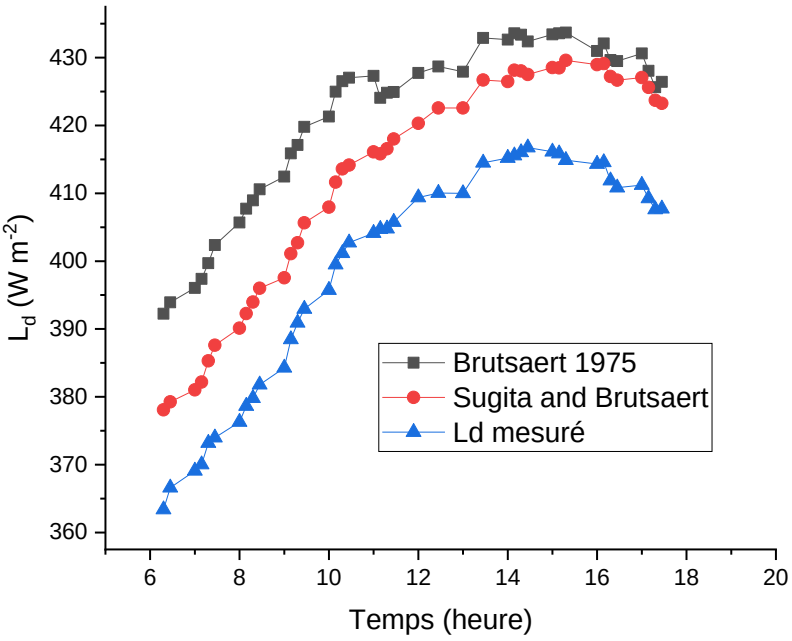
الشكل (2.3): تغير كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن وذلك ليوم 8 أوت 2020 باستخدام نموذج سوينبانك.



الشكل(3.3): تغير كمية الاشعاع الطويل الموجي الساقط بدلالة الزمن في منطقة الوادي يوم 15 مارس 2021 (على مستوى محطة الأرصاد الجوية بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي).

3-3 مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس:

للتحقق من صحة النتائج المتحصل عليها باستخدام النماذج الحسابية السبعة المختلفة التي رأيناها في الفصل الثاني قمنا بإجراء مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب لكل نموذج والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس الموافق له في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليومي 19 جوان 2006 و27 ديسمبر 2006 والأشكال (4.3) و (5.3) و (6.3) و (7.3) و (8.3) و (9.3) يوضحون ذلك على التوالي. مع العلم أن النماذج السبعة المستخدمة هي على التوالي: 1) نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) 2) نموذج سوجيتا و بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) 3) نموذج برانت 1932 (Brunt 1932)، 4) نموذج دوارتي و آخرون (Duarte et al.)، 5) نموذج كروك و آخرون (Kruk et al)، 6) نموذج سوينبانك (Swinbank) و 7) نموذج كيدنف (Keding).



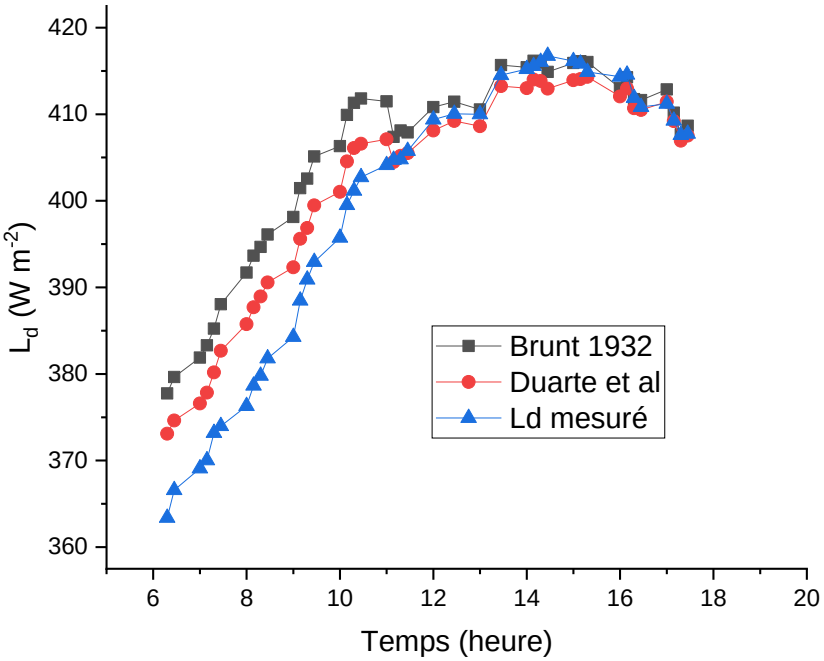
الشكل (4.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.

من خلال المنحنيات المبينة في الشكل (4.3) نلاحظ أنه لديهم نفس اتجاه التغير حيث نلاحظ قيم مرتفعة لكمية الإشعاع الطويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) هو الأعلى مقارنة بتلك المحسوبة باستخدام نموذج سوجيتا و بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) من جهة و الإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى حيث يظهر لنا جليا أنه من الساعة 6 صباحا إلى غاية الساعة 14:30 زيادة ملحوظة في الإشعاع الطويل الموجة النازل حيث تبلغ الذروة عند 435 W/m^2 في منحنى بروتسايرت و $428W/m^2$ في منحنى سوجيتا و بروتسايرت كما تبلغ أيضا $415W/m^2$ في المنحنى المقاس في منطقة أقوفو، وبعدها تتناقص كمية الإشعاع المحسوب في المنحنيات الثلاث من الساعة14:30مساءا إلى غاية 18مساءا.

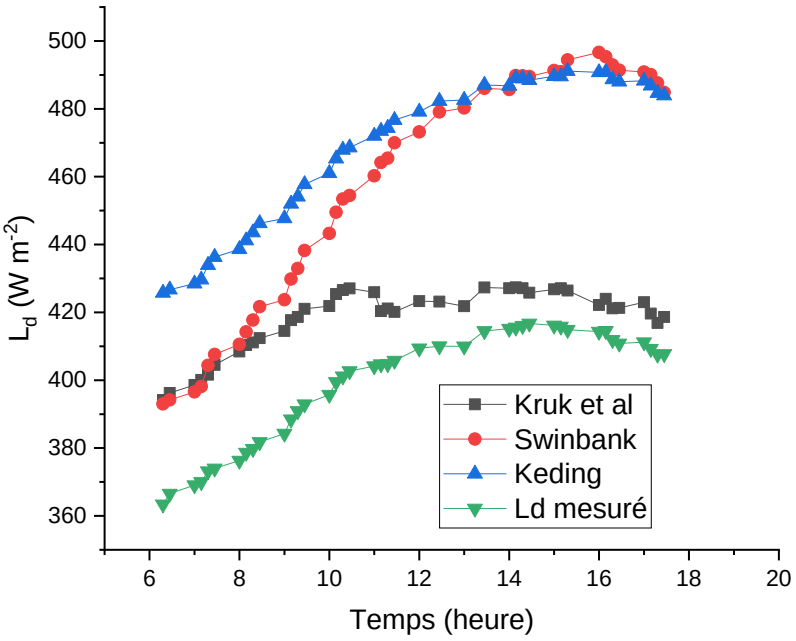
كما نلاحظ أيضا أن الإشعاع الطويل الموجي النازل المحسوب باستخدام نموذج سوجيتا وبروتسايرت (Sugita and Brutsaert) هو الأقرب للإشعاع الطويل الموجي النازل المقاس في منطقة أقوفو من الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) ومنه نستنتج أن المنحنى الأدق خلال هذا اليوم هو المنحنى المحسوب باستخدام نموذج سوجيتا وبروتسايرت (Sugita and Brutsaert).

وفي الشكل (5.3) قمنا بالمقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذجي برانت 1932 (Brunt 1932) ودوارتي وآخرون (Duarte et al.) من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006. حيث أظهر لنا هذا الشكل أن

هناك زيادة في كمية الإشعاع المحسوب والمقاس معا من الساعة 6 صباحا إلى غاية 11صباحا وأن قيم المنحنى المحسوب باستخدام نموذج برانت 1932 (Brunt 1932) هو الأعلى من قيم المنحنى المحسوب باستخدام دوارتي وآخرون (Duarte et al.) من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى حيث يظهر لنا جليا أن قيم المنحنى المحسوب باستخدام نموذج دوارتي وآخرون (Duarte et al.) هي الأقرب لقيم المنحنى المقاس ومنه نستنتج أن النموذج الأدق خلال هذا اليوم هو نموذج دوارتي وآخرون (Duarte et al.). بينما هناك تطابق كبير في هذه النتائج على المجال من الساعة11صباحا إلى غاية الساعة 17مساءا تقريبا تكون متساوية.



الشكل (5.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.

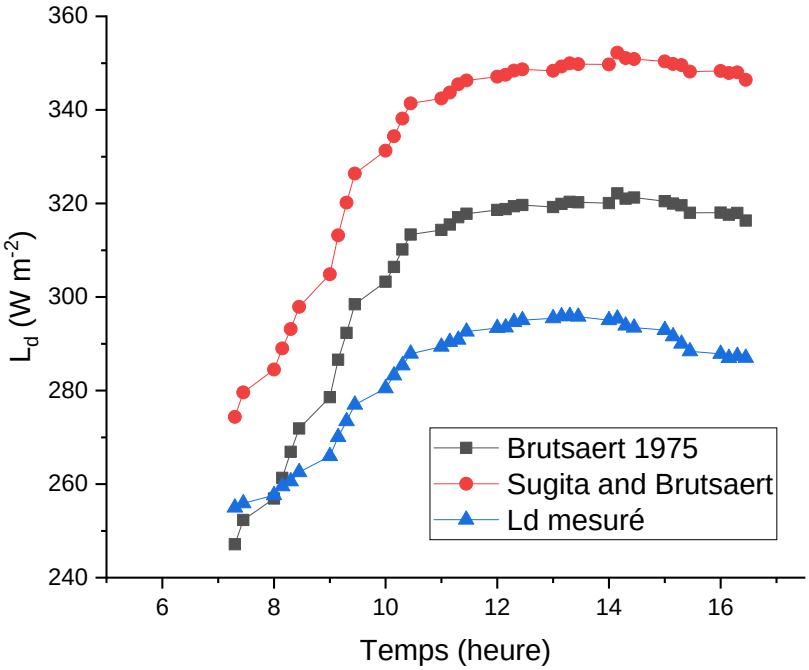


الشكل (6.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.

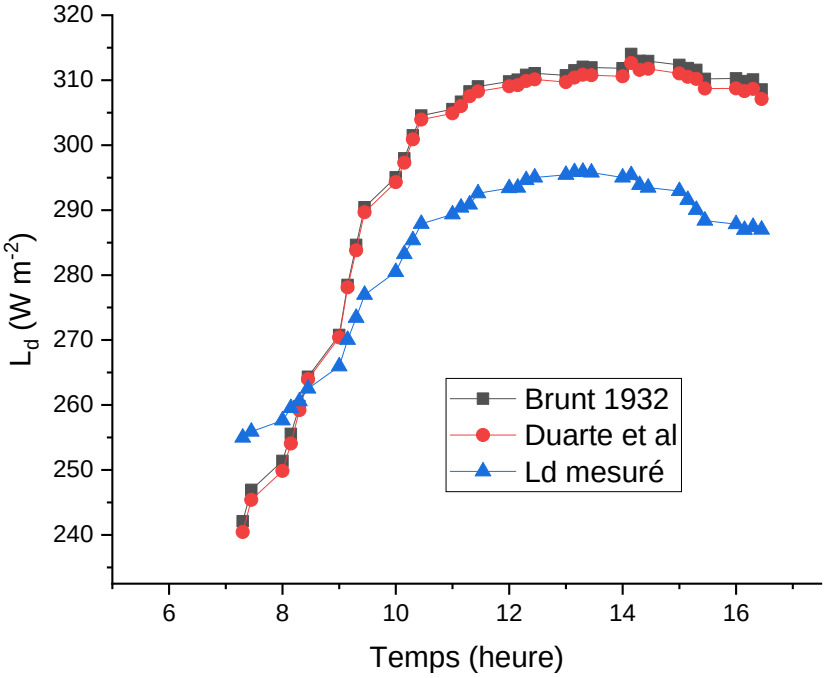
من خلال المنحنيات المبينة في الشكل (6.3) نلاحظ تزايد في كمية الإشعاع المحسوب والمقاس معا من الساعة 6 صباحا إلى غاية الساعة 18 مساءا حيث أن الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نماذج كروك و آخرون (Kruk et al) و سوينبانك (Swinbank) منطبقين في المجال من الساعة 6 صباحا إلى الساعة 8 صباحا وهما الأقربين إلى النتائج المقاسة على هذا المجال كما نلاحظ تطابق أيضا بين المنحنيين المحسوبين باستخدام النموذجين سوينبانك (Swinbank) و كيدنغ (Keding) على المجال من الساعة11 صباحا إلى اساعة 18 مساءا كما يظهر لنا جليا أن كمية الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذج كروك و آخرون (Kruk et al) هو الأقرب للإشعاع طويل الموجة النازل المقاس في منطقة أقوفو ليوم 19 جوان 2006، أي أنه هو الأدق خلال هذا اليوم .

في الشكل (7.3) قمنا بالمقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذجي بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) وسوجيتا و بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) من جهة و الإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006، حيث يظهر لنا جليا أن هناك زيادة في كمية الإشعاع المحسوب باستخدام هذين النموذجين وكمية الإشعاع المقاسة من الساعة 7 صباحا إلى غاية الساعة 12مساءا و أنه يوجد ثبات لهذه المنحنيات الثلاث من الساعة12 مساءا إلى 17 مساءا، كما نلاحظ أيضا أن قيم كمية الإشعاع الطويل الموجي النازل المحسوبة باستخدام نموذج بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) هو الأعلى من قيم المنحنى المحسوب للإشعاع طويل الموجة النازل باستخدام نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) من جهة و المنحنى المقاس من جهة أخرى، و أن كمية الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert

1975) هو الأقرب لكمية الإشعاع طويل الموجة المقاس ونستنتج كذلك أن الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) هو الأدق خلال هذا اليوم.

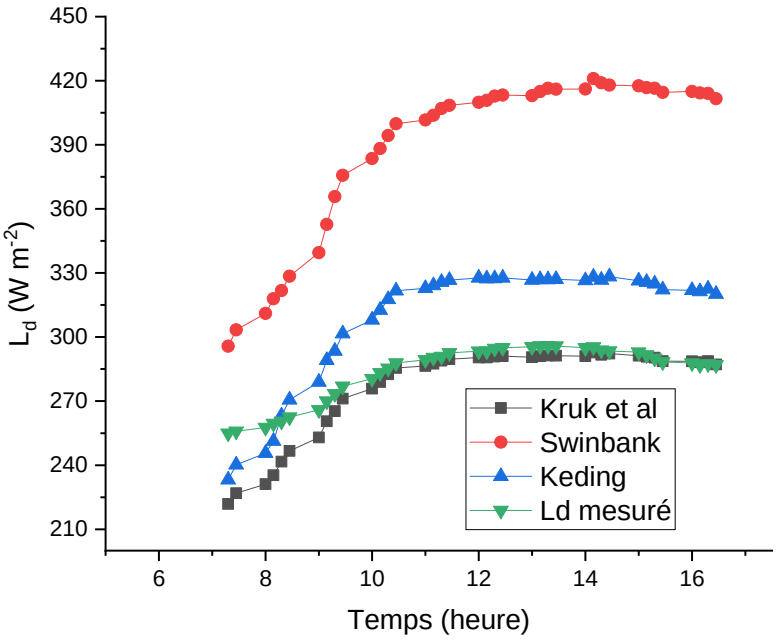


الشكل (7.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.



الشكل (8.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.

نلاحظ من خلال المنحنيات الموجودة في هذا الشكل (8.3) تزايد ملحوظ لكميات الإشعاع الطويل الموجي المحسوب والمقاس من الساعة 7 صباحا إلى غاية الساعة 11 صباحا وثباتها من 11 صباحا إلى 16 مساءا حيث تبلغ كمية هذا الإشعاع النازل بالنسبة للنموذجين في هذه المجال $310\ W/m^2$ وبالنسبة للإشعاع المقاس تبلغ $295\ W/m^2$. وأن كمية الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نموذجي برانت 1932 (Brunt 1932) ودوارتي وآخرون (Duarte et al.) منطبقين تقريبا خلال هذا اليوم ويقعان تحت الإشعاع المقاس من الساعة 7 إلى غاية 8:30 صباحا ويقعان فوقه من الساعة 8:30 صباحا إلى غاية الساعة 17 مساءا.



الشكل (9.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب من جهة والإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.

أما الشكل (9.3) فهو يمثل مقارنة بين بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام نماذج كروك وآخرون (Kruk et al) و سوينبانك (Swinbank) و كيدنغ (Keding) من جهة و الإشعاع طويل الموجة النازل المقاس من جهة أخرى في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006. نلاحظ في بداية اليوم أن كل القيم المحسوبة تكون أقرب من القيم المقاسة ثم بعد ذلك نلاحظ تفاوت بين القيمة المقاسة والقيم المحسوبة لكل من نموذج سوينبانك (Swinbank) و كيدنغ (Keding) إبتداءا من الساعة 9 صباحا أما بالنسبة لنموذج كروك وآخرون (Kruk et al) فنلاحظ أن قيمته المحسوبة متقاربة جدا مع القيم المقاسة وبالتالي فإن نموذج كروك آخرون (Kruk et al) هو النموذج الأدق لهذا اليوم.

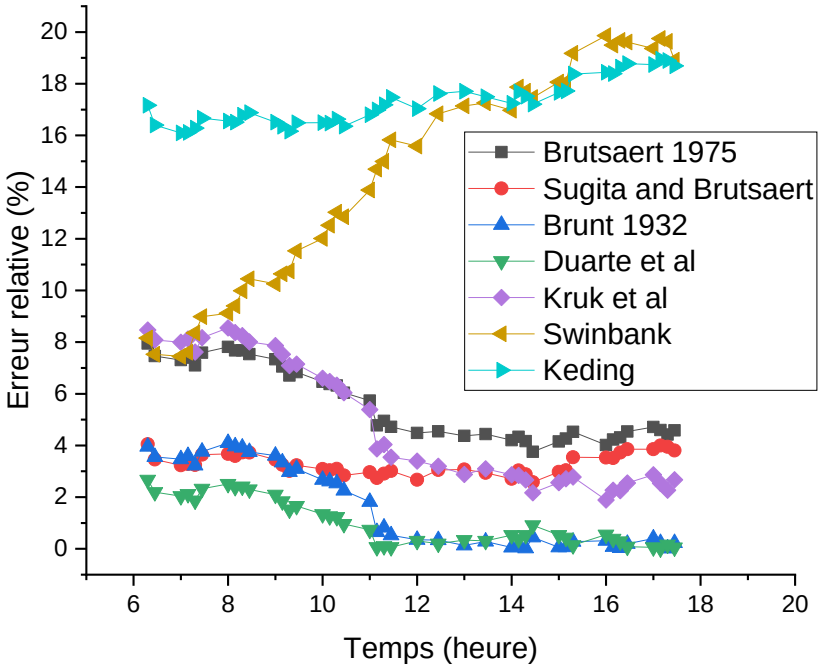
3-4 حساب الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب:

لتحديد النموذج الأدق من النماذج السبعة التي تطرقنا لها سابقا قمنا بحساب الخطأ النسبي. حيث أن الخطأ النسبي هو النسبة بين الخطأ المطلق والقيمة المقاسة لكمية الإشعاع طويل الموجة النازل.

وتم حسابه كالآتي:

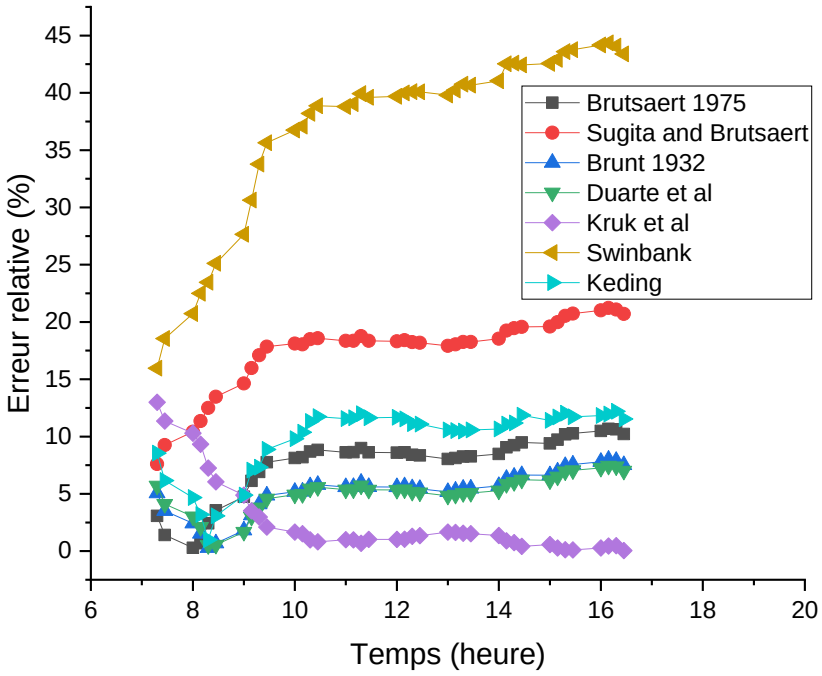
$$E(\%) = Abs\left(\frac{V_m - V_c}{V_m}\right) \times 100$$

حيث V_m تمثل القيمة المقاسة للإشعاع طويل الموجة النازل و V_c تمثل القيمة المحسوبة للإشعاع طويل الموجة النازل.



الشكل (10.3): تغير الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006.

الشكل (10.3) يمثل نتائج تغيرات الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 19 جوان 2006. نلاحظ تفاوت في قيمة الخطأ النسبي بين النماذج السبعة المستعملة وهذا يرجح أنه راجع الى اختلاف في قيمة معامل انبعاثية الجو بين النماذج السبعة كما نلاحظ أن نموذج دوارتي وآخرون (Duarte et al.) هو الأدق لهذا اليوم. حيث تبلغ قيمة الخطأ لهذا نموذج ما يقارب 0% إبتداءا من الساعة 11 صباحا ونفس الشئ بنسبة لنموذج برانت 1932 (Brunt 1932) أما قيمة أكبر خطأ لهذا اليوم تساوي تقريبا إلى 20% تعود إلى نموذج سوينبانك.



الشكل (11.3): تغير الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006.

أما الشكل (11.3) فيمثل نتائج تغيرات الخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب باستخدام النماذج السبعة المختلفة بدلالة الزمن في منطقة أقوفو الموجودة بمالي ليوم 27 ديسمبر 2006. نلاحظ في بداية اليوم تقارب في قيم الخطأ النسبي لستة نماذج ماعدا نموذج سوينبانك حيث تبلغ قيمة الخطأ لهذا النموذج في حدود الساعة الرابعة مساءا ما يقارب 45% وهي أكبر قيمة خطأ لهذا اليوم ثم نلاحظ تفاوت في القيم المحسوبة بين النماذج ابتداء من الساعة التاسعة صباحا ونلاحظ كذلك أن النموذج الأدق لهذا اليوم هو نموذج كوارك وآخرون (kurk et al) ويمتلك أقل قيمة خطأ حيث لهذا اليوم تبلغ قيمة الخطأ في حدود الساعة الرابعة مساءا ما يقارب 0%.

3-5 دقة النماذج المستخدمة لحساب للإشعاع طويل الموجة النازل:

لتحديد دقة النماذج المستخدمة قمنا هنا بحساب القيمة المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب لـ 6650 عيّنة مختارة في الظروف السماء الصافية في منطقة أقوفو الموجودة بمالي من سنة 2006، والجدول (1.3) يوضح ذلك.

مع العلم أن الخطأ النسبي تم حسابه كالآتي:

$$E(\%) = Abs\left(\frac{V_m - V_c}{V_m}\right) \times 100$$

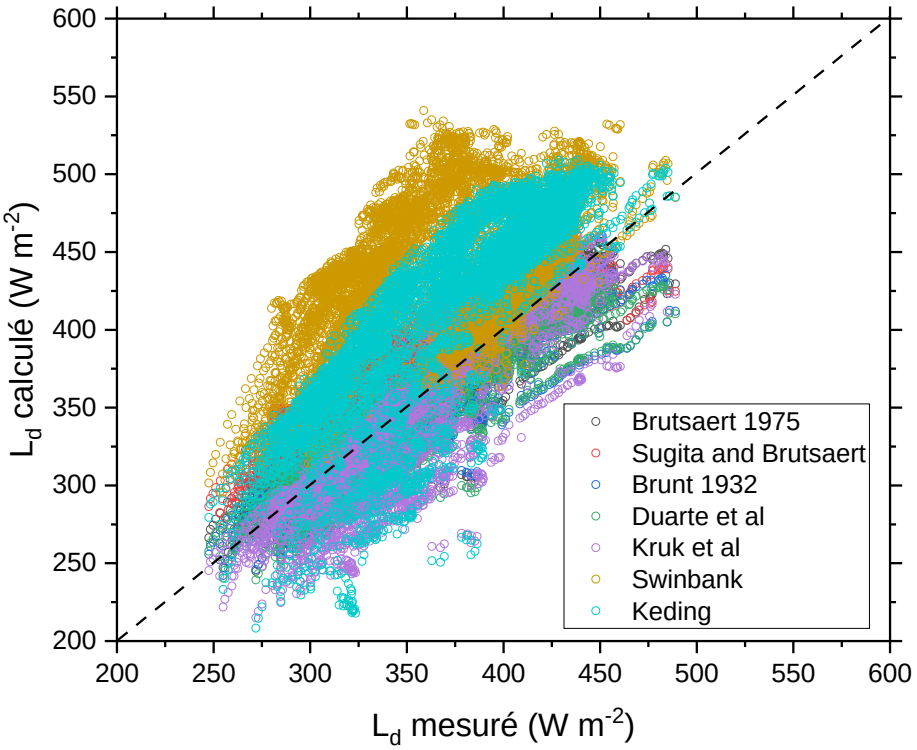
حيث V_m تمثل القيمة المقاسة للإشعاع طويل الموجة النازل و V_c تمثل القيمة المحسوبة للإشعاع طويل الموجة النازل.

أما القيمة المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب تم حسابها كالآتي:

$$E_{moy}(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{N} E_i(\%)}{N}$$

حيث N يمثل عدد العينات المختارة.

الشكل (12.3) يمثل مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب و المقاس باستخدام النماذج السبعة المختلفة لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي لسنة 2006 في ظروف السماء الصافية. حيث نلاحظ أن جميع قيم الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب هي قريبة من قيم الإشعاع طويل الموجة النازل المقاس. و بطبيعة الحال كلما كانت النتائج المحسوبة قريبة من القياسات كلما كان النموذج أدق.



الشكل (12.3): مقارنة بين الإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب والمقاس باستخدام النماذج السبعة المختلفة لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي لسنة 2006 في ظروف السماء الصافية.

الجدول (1.3) يوضح القيمة المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي سنة 2006 في ظروف السماء الصافية و هذا بالسبة للنماذج السبعة المذكورة سابقا. من خلال القيم المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب نلاحظ أن القيم المتوسطة للخطاء النسبي تتغير من نموذج الى آخر حيث تتراوح القيم ما بين 5.7% و 16.7% حيث أن أعلى قيمة خطأ تعود لنموذج سوينبانك (Swinbank) و ذلك بسبب أنه لا يعتمد على قيمة ضغط بخار الماء أو الرطوبة و أقل قيمة خطأ تعود لنموذج برانت 1932 (Brunt 1932) ومن هنا نستنتج أن أدق نموذج من بين هذه النماذج السبع لهذه السنة هو نموذج برانت 1932 (Brunt 1932) بخطأ نسبي يساوي 5.7%.

جدول (1.3): القيمة المتوسطة للخطأ النسبي للإشعاع طويل الموجة النازل المحسوب لـ 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي سنة 2006 في ظروف السماء الصافية.

النموذج	القيمة المتوسطة للخطأ النسبي (%)
Brutsaert 1975 بروتسايرت 1975	7.1
Sugita and Brutsaert سوجيتا و بروتسايرت	6.6
Brunt 1932 برانت 1932	5.7
Duarte et al دوارتي و آخرون	6.5
Kruk et al كروك و آخرون	8.4
Swinbank سوينبانك	16.7
Keding كيدنف	13.6

3-6الخلاصة:

في هذا الفصل تطرقنا لجميع التقديرات لكمية الإشعاع الطويل الموجي النازل المحسوبة بواسطة النماذج السبعة المختلفة وفي مناطق مختلفة. كما تمت مقارنة النتائج المتحصل عليها مع القياسات في منطقة أقوفو بمالي. حيث نستخلص من خلال هذا الفصل أن هناك اختلافات طفيفة بين النماذج السبعة المختارة وهذه الاختلافات ترجع أساسا إلى الاختلاف في حساب معامل الانبعاثية الخاص بكل نموذج الذي يتعلق بالرطوبة وبدرجة حرارة الهواء. كما أنه من خلال النتائج المتحصل عليها وجدنا أن أدق نموذج من بين هذه النماذج السبع هو نموذج برانت 1932 (Brunt 1932) وذلك بخطأ نسبي يساوي 5.7%.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

تعتبر الأرصاد الجوية من العلوم المهمة جدا ونحتاج معرفتها في حياتنا اليومية والتي تشق طريقها بسرعة فائقة. وقد ساعد هذا التقدم في الحصول السريع على المعلومات المرسلة من محطة الأرصاد الجوية حيث تلعب دورا رئيسيا وهاما في معرفة تنبؤات أحوال الطقس. محطة الأرصاد الجوية عبارة عن مرفق به أدوات ومعدات مسخرة من أجل القيام بعمليات الرصد لظروف الغلاف الجوي حيث تشمل القياسات المأخوذة درجة الحرارة، الضغط الجوي، الرطوبة، سرعة الرياح، اتجاه الرياح، وكميات الهطول ...، حيث أن كل هذه القياسات تمكننا من دراسة حالة المناخ والطقس وكذلك مطلوبة في الدراسات البيئية. كما أن هذه القياسات لديها أهمية بالغة في معرفة تغيرات محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء ودرجة حرارة الهواء الفعالة.

في هذا العمل تم استخدام معطيات الأرصاد الجوية من مناطق مختلفة نذكر منها المعطيات المرصودة بكلية العلوم الدقيقة جامعة الوادي وكذلك المعطيات المرصودة في كل من عنابة وأدرار وكذلك المعطيات المرصودة في منطقة أقوفو في مالي. وتتمثل هذه المعطيات في كل من الرطوبة، درجة حرارة الهواء وكذلك الإشعاعات الجوية طويلة الموجة النازلة وهذا بطبيعة الحال تحت ظروف السماء الصافية.

وقبل عرض النتائج والمناقشة، تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة الإشعاع الحراري وماهيته. حيث قلنا بأن الإشعاع الحراري ما هو إلا طاقة كهرومغناطيسية تنبعث من الأجسام التي تختلف درجة حرارتها عن الصفر المطلق وهذا بطبيعة الحال حسب قانون بلانك. كما تطرقنا كذلك إلى ماهية الغلاف الجوي وبنيته، حيث قلنا بأنه عبارة عن الغلاف الذي يحيط بالكرة الأرضية بما يحتويه من طبقات، وبأنه مجال تمارس فيه ظواهر الطقس والمناخ عملها مثل السحب والأمطار والندى والضباب والتساقط الثلجي وغيرها من الظواهر الجوية، وتتركز ظواهر الطقس في الجزء السفلي من الغلاف الجوي في طبقة التروبوسفير. كما تطرقنا كذلك إلى أجهزة قياس الإشعاعات الجوية طويلة الموجة وبعض النماذج المستعملة في تقدير كمية الإشعاعات الجوية طويلة الموجة النازلة تحت ظروف السماء الصافية.

استطعنا من خلال العمل تقدير كمية الإشعاعات الجوية طويلة الموجة النازلة تحت ظروف السماء الصافية في مناطق مختلفة وهي الوادي، عنابة وأدرار. و كذلك باستخدام سبعة نماذج مختلفة و هي على التوالي: 1) نموذج بروتسايرت 1975 (Brutsaert 1975) 2) نموذج سوجيتا و بروتسايرت (Sugita and Brutsaert) 3) نموذج برانت 1932 (Brunt 1932)، 4) نموذج دوارتي و آخرون (.Duarte et al)، 5) نموذج كروك و آخرون (Kruk et al)، 6) نموذج سوينبانك (Swinbank) و 7) نموذج كيدنف (Keding). وهذا باستعمال معطيات الأرصاد الجوية للمحطات الموجودة في تلك المناطق.
كما تم من خلال هذا العمل المقارنة بين الإشعاعات الجوية طويلة الموجة النازلة بين منطقتي عنابة وأدرار وذلك نظرا لاختلاف الطقس الواضح بين هاتين المنطقتين. حيث تم الاختيار في دراستنا يوم صافي وذلك يوم 8أوت 2020، حيث لاحظنا أن كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في أدرار أعلى من كمية الإشعاع الطويل الموجي الساقط في عنابة وأرجعنا ذلك إلى أن درجة الحرارة في منطقة أدرار أكبر من درجة الحرارة في منطقة عنابة خلال هذا اليوم.

كما وجدنا من خلال هذا العمل أن كمية الإشعاع الطويل الموجي المحسوب بواسطة النماذج هي دالة للعديد من المتغيرات ومن أهمها: معامل الانبعاث للجو والذي يتعلق بكمية بخار الماء (الرطوبة)، درجة حرارة الهواء...الخ.

وللتحقق من دقة النماذج قمنا بمقارنة النتائج المتحصل عليها باستخدام النماذج السبعة المختلفة والمذكورة سابقا مع القياسات المأخوذة في منطقة أقوفو بمالي. حيث وجدنا أنه توجد اختلافات طفيفة في النتائج المتحصل عليها باستخدام النماذج السبعة المختارة وهذه الاختلافات تم تفسيرها على أنها ترجع إلى طريقة حساب معامل الانبعاثية الخاص بكل نموذج. كما أنه من خلال النتائج المتحصل عليها وجدنا أن أدق نموذج من بين هذه النماذج السبع هو نموذج برانت 1932 (Brunt 1932) وذلك بخطأ نسبي متحصل عليه يساوي 5.7%.

قائمة المصادر والمراجع

المراجع باللغة الأجنبية:

[2] J. Meseguer, I. Pérez-Grande, and A. Sanz-Andrés, "Spacecraft Thermal Control", Woodhead Publishing Limited, p .73-98.412, (2012).

[3] J, Brau," Rayonnement", Dép. Génie Civil ET Urbanisme, 3GCU, INSA de Lyon, p. 10-19, France (2006).

[4] D.John Enderle, Joseph D. Bronzino, "Introduction to Biomedical Engineering", third edition , Academic press, , p.1140-1147, USA (2012).

[5] Tourta Sabah, "Etude de l'effet des aerosols sur l'estimation du coefficient de reflectance bidirectionnelle à l'aide de mesures satellitaires", Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, Algérie (2007).

[7] Antoni Viúdez-Mora, "Atmospheric downwelling longwave radiation at the surface during cloudless and overcast conditions. Measurements and modeling", Doctoral Thesis, Université de Gironna, p. 137, España (2011).

[10] M. T. Nakes, "Evaluation du gisement solaire à partie des images Météosat7", Mémoire de Magistère, Université de Kasdi Merbah d'Ouargla, Algérie (2000).

[11] K. N. Liou, "An introduction to atmospheric radiation", Academic press, p.583, USA (1980).

[17] M. L. BELALEM, "Estimation de la réflectance spectrale et NDVI par Le satellite MSG", Mémoire de Master, Université de Kasdi Merbah d'Ouargla, p. 6-12, Algérie (2017).

[23] Norman O'Neill, et Alain Royer, "Analyse des effets atmosphériques dans les données en télédétection du moyen infrarouge sur la classification des minéraux de surface en milieu aride", Université de Sherbrooke, (2000).

[24] M-D. Chou, and W. Ridgway, "Infrared radiation parameterizations in numerical climate models", Journal of Climate, Nº4, P. 424-437 (1990).

[25] M. G. Iziomon, H. Mayer, and A. Matzarakis, "Downward atmospheric long wave irradiance under clear and cloudy skies: Measurement and parameterization. J. Atmos. Sol-Terr. Phys, Nº65, P.1107-1116 (2003).

[26] T. M. Crawford and C. E. Duchon, "An improved parameterization for estimates effective atmospheric emissivity for use in calculating day-time downward long wave radiation", J. Appl. Meteorol, Nº38, P. 474-480 (1999).

[27] W. Brutsaert, "On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies, Water Resour". Res, 11:742–744 (1975).

[28] D. Brunt, "Notes on radiation in the atmosphere". Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, Nº58, p. 389-418 (1932).

[29] I. keding, "klimatologische untersuchung uber die L'atmosphLarische Gegenstrahlung und Vergleich von Berechn ungsverfahren anhand langjLahriger Messungen im Oberrheintal. Berichte des Deutschen Wetterdienstes", Nº178 (1989).

[30] M. Sugita, W. Brutsaert, "Cloud effect in the estimation of instantaneous downward longwave radiation, Water Resources Research", Nº29, p. 599-605 (1993).

[31] Duarte et al, "Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil, Agricultural and Forest Meteorology", Nº139, p. 171-181 (2006).

[32] Kruk et al, "Downward longwave radiation estimates for clear and all-sky conditions in the Sertãozinho region of São Paulo, Theoretical and Applied Climatology", Nº99, p. 115–123 (2010).

[33] W. Swinbank, "Long-wave radiation from clear skies. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society", Nº 89, p. 339–348 (1963).

مراجع باللغة العربية:

[1] علي عماد حمادي، "الإشعاع الشمسي الفصلي في العراق والعوامل المؤثرة في تباينه"، كلية الآداب قسم الجغرافية، جامعة القادسية، جمهورية العراق، صفحة 4-5، (2018).

[6] الدكتور أحمد أحمد الشيخ، "الأرصاد الجوية"، جامعة المنصورة كلية التربية قسم المواد الاجتماعية الصفحات 309، (2004).

[8] فلاديمير ناشوكين، "الترموديناميك الهندسية والنقل الحراري"، دار مير، موسكو (1980).

[12] منظمة الأرصاد الجوية، "دليل وطرق أدوات الرصد"، المجلد الرابع -الرصدات الفضائية القاعدة، مطبوع رقم 8، الصفحات 274، (2018).

[15] د. جمعة محمد داود، "أسس وتطبيقات الاستشعار عن بعد"، القاهرة جمهورية مصر العربية الصفحات 208 (2018).

[16] إعداد مجموعة من الأساتذة، "الاستشعار عن بعد"، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، المملكة العربية السعودية، الصفحات 2-8.

[19] أسامة محمد المرضى سليمان خليل، "مذكرة في محاضرات الإشعاع الحراري"، قسم الهندسة الميكانيكية، وادي النيل، عطبرة -السودان، ص: 5-6، (فبراير2019).

[20] إعداد مجموعة من الأساتذة، "مشروع مسح موارد الطبيعية والزراعية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافية"، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، سوريا، الصفحات 5، المملكة العربية السعودية، (2010).

[21] ذر. انتصار بكر، "طبقات الغلاف الجوي"، قسم العلوم الفيزيائية، جامعة ديالي، العراق، (2015).

مواقع الكترونية:

[9] http://.www.aLkoon.alnomrosi.net/Solar /earth.html.

[13] http://nasa in Arabic / r/a/3867.02, (2019).

[23] http://www.ipcc.ch/publication and data/ar4/AR/faq-2-1.html.

الملخص:

أصبحت الأرصاد الجوية في وقتنا الحاضر مصدرا مهما في معرفة تغيرات محتوى الغلاف الجوي وتنبؤات أحوال الطقس. حيث تطرقنا في هذا العمل إلى تقدير ودراسة كمية الإشعاع الجوي طويل الموجة النازل على السطح في ظروف السماء الصافية باستخدام سبعة نماذج مختلفة ومقارنتها مع النتائج المقاسة في منطقة أقوفو بمالي.

وجدنا في هذا العمل أن كمية الإشعاع الجوي الطويل الموجي المحسوب بواسطة النماذج المختلفة هي دالة للعديد من المتغيرات ومن أهمها: معامل الانبعاث للجو والذي يتعلق بكمية بخار الماء (الرطوبة)، ودرجة حرارة الهواء.

كما وجدنا أيضا من خلال النتائج المتحصل عليها أن أدق نموذج من بين النماذج السبعة المستخدمة هو نموذج برانت بخطأ نسبي يساوي 5.7%، وذلك من أجل 6650 عيّنة مختارة في منطقة أقوفو الموجودة بمالي سنة 2006 في ظروف السماء الصافية.

الكلمات المفتاحية: الغلاف الجوي، الأرصاد الجوية، الإشعاع الجوي، السماء الصافية، معامل الانبعاثية.

Résumé:

La météorologie est devenue, de nos jours, une source importante de connaissances sur les changements du contenu atmosphérique et les prévisions météorologiques. Dans ce travail, nous avons traité l'estimation et l'étude du rayonnement atmosphérique à longue longueur d'onde descendant à la surface dans des conditions de ciel clair en utilisant sept modèles différents et en la comparant aux résultats mesurés dans la région d'Agoufou au Mali.

Dans ce travail, nous avons constaté que la quantité du rayonnement atmosphérique à longue longueur d'onde calculée par les différents modèles est fonction de nombreuses variables, dont les plus importantes sont: l'émissivité de l'atmosphère, qui est lié à la quantité de vapeur d'eau (humidité), et la température de l'air.

Nous avons également constaté, à travers les résultats obtenus, que le modèle le plus précis parmi les sept modèles utilisés est le modèle de Brunt avec une erreur relative de 5,7%, et ceci pour 6650 échantillons sélectionnés dans la région d'Agoufou au Mali en 2006 dans des conditions de ciel clair

Mots clés : Atmosphère, météorologie, rayonnement atmosphérique, ciel clair, émissivité.