

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

رقم الترتيب:
رقم التسلسل:



جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية العلوم الدقيقة

قسم: الفيزياء



مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع و طاقة

من إعداد: نجيبة العوامر - شهرزاد طواهر

الموضوع

تقدير درجة حرارة سطح أرضي باستخدام معطيات الأقمار الصناعية

نوقشت يوم: 2017/ 06 /08

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا

مناقشا

مناقشا

مؤطرا

أستاذ مساعد قسم ب

أستاذ محاضر قسم أ

أستاذ مساعد قسم أ

أستاذ محاضر قسم ب

رشيدة جار الله

فتحي بوراس

محمد علي حاج عمار

عبد القادر اللبي

الموسم الجامعي 2016 / 2017

شكرو عرفان

على بركة الله أتمنا موضوعنا فالحمد لله الذي وفقنا، أنتهز فرصة هذا العمل لأوجه شكري الجزيل إلى كل من كان له بصمة في مشوارنا لنصل إلى ما عليه فكلمة الشكر ليست بالكافية للتعبير عن إمتناني لهم مستهلة بذلك إلى جميع أساتذتي الكرام هؤلاء الذين عملوا على تكويننا طيلة مشوارنا الجامعي أخص بالذكر أستاذي المؤطر "البي عبد القادر" الذي كان له دور الكير في هذا العمل حيث أنه لم يخل علينا بالتوجيه ونصحنا طيلة مدة عمل هذه المذكرة التي كانت بالنسبة لنا المصباح المنير لانجاز هذا العمل، وإلى السادة أعضاء لجنة المناقشة أستاذنا الدكتور بوراس فتحي، الأستاذ محمد علي الحاج عمار والأستاذة الرئيس جارا الله رشيدة على قبولهم لمناقشة موضوعنا وتخصيص بعض من وقتهم لقراءة ومناقشة هذا العمل، كما لا يتسنى لنا أن ننسى بالذكر إلى جميع طلبة دفعتنا الثانية ماستر فيزياء .

وأخيرا الشكر موصول إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد .

العوامر نجيبة- طواهر شهرزاد

الإهداء

أهدي هذا العمل إلى أعلى من في الوجود والديا العزيزين أبي الحبيب وأمي الغالية الذي كان
توفيقي إجابة لدعواتهم الصادقة
إخوتي الذي كانت بصمتهم في أغلب مراحل دراستي وتعبوا في سبيل راحتي ونيلي هذا النجاح فكانوا نعم
الأسوة علما، عملا وخلقاً أخواتي الغاليات ولأنسى بالذكر
خطبي على نصحه وتشجيعه المتواصل خلال مشواري وإلى كل عائلته
وإلى كل من يحبوني وأحبهم .

العوامر نجيبة

الإهداء

أهدي هذا العمل المتواضع:

إلى النور الذي ينير لي درب النجاح أبي الحبيب
وإلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي أمي الغالية
وإلى من كانتا سندي وقوتي بعد الله خالتي وابنتها
وإلى رفاق دربي في هذه الحياة إخوتي وأخواتي
وإلى كل من يحبوني وأحبهم.

طواهر شهرزاد

فهرس المحتويات

VI	فهرس الأشكال
VIII	فهرس الجداول
IX	فهرس الرموز

1	المقدمة العامة
	الفصل الأول: الاستشعار عن بعد
5	1-1 المقدمة
5	2-1 نبذة تاريخية
6	3-1 مفهوم الاستشعار عن بعد
7	4-1 العناصر الأساسية لنظام الاستشعار عن بعد
8	1-4-1 مصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي
8	1-1-4-1 تعريف الأشعة الكهرومغناطيسية
9	2-1-4-1 خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية
10	3-1-4-1 الطيف الكهرومغناطيسي
13	2-4-1 ممر انتقال الأشعة وهو الغلاف الجوي المحيط بالأرض
13	1-2-4-1 بنية الغلاف الجوي
14	2-2-4-1 مكونات الغلاف الجوي
15	3-2-4-1 الهباء الجوي
16	4-2-4-1 تأثير الغلاف الجوي على الأشعة الكهرومغناطيسية
19	3-4-1 تفاعل الأشعة مع الأهداف على سطح الأرض
19	4-4-1 الطاقة المنعكسة من سطح الأرض
19	5-4-1 جهاز الاستشعار على متن الأقمار الصناعية
19	5-1 الأشعة التي تتعامل معها الأقمار الصناعية
21	6-1 وصف صور الأقمار الصناعية (المرئية الفضائية)
22	1-6-1 الميز المكاني
22	2-6-1 الميز الطيفي
22	3-6-1 الميز الراديو متري
22	4-6-1 الميز الزمني
23	الخلاصة

الفصل الثاني: طرق حساب درجة حرارة سطح أرضي

25	1-2 المقدمة
25	2-2 مقادير أساسية لقياس الإشعاع
25	1-2-2 الزاوية الصلبة
25	2-2-2 التدفق
26	3-2-2 الانبعاثية
26	4-2-2 شدة الإشعاع
26	5-2-2 درجة اللمعان (السطوع)
26	6-2-2 الاستنارة (الإضاءة)

26	3-2 قوانين الإشعاع الحراري.....
26	1-3-2 الجسم الأسود.....
27	2-3-2 الجسم الطبيعي.....
27	3-3-2 قانون بلانك.....
28	4-3-2 قانون ستيفان بولتزمان.....
28	5-3-2 قانون وين (Wien).....
29	4-2 معادلة الانتقال الإشعاعي.....
32	5-2 طرق حساب درجة حرارة سطح الأرض.....
33	1-5-2 خوارزمية أحادية القناة.....
33	1-1-5-2 كيفية إنشاء خوارزمية.....
35	2-1-5-2 تقدير درجة الحرارة الفعالة للهواء.....
35	3-1-5-2 تقدير معامل نفاذية الغلاف الجوي.....
35	2-5-2 خوارزمية النافذة المقسومة.....
36	1-2-5-2 خوارزمية Romaguera و Sobrino.....
36	2-2-5-2 خوارزمية اللبي و مخناش.....
37	الخلاصة.....
الفصل الثالث: تحليل النتائج ومناقشتها	
40	1-3 معطيات القمر الصناعي MSG-1.....
42	2-3 تغير درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي بدلالة درجة حرارة السطح.....
43	3-3 تغير درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي بدلالة زاوية الرؤيا.....
44	4-3 دراسة تأثير عوامل السطح على درجات حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي.....
47	5-3 مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي Romaguer و Sobrino مع القياسات في الموقع نفسه.....
49	6-3 مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع القياسات في الموقع نفسه.....
50	7-3 التوزيع الفضائي لدرجة حرارة السطح المحسوبة باستعمال معطيات القمر الصناعي MSG-1... الخلاصة.....
52	الخلاصة.....
54	الخاتمة العامة.....
57	قائمة المراجع.....

فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
الفصل الأول		
7	العناصر الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد.....	الشكل (1-1)
8	الموجة الكهرومغناطيسية.....	الشكل (2-1)
9	الطول الموجي والتردد.....	الشكل (3-1)
10	الطيف الكهرومغناطيسي.....	الشكل (4-1)
10	المجال الفوق البنفسجي.....	الشكل (5-1)
11	المجال المرئي.....	الشكل (6-1)
12	المجال تحت الأحمر.....	الشكل (7-1)
13	الأشعة الميكروية.....	الشكل (8-1)
14	طبقات الغلاف الجوي.....	الشكل (9-1)
16	التشتت.....	الشكل (10-1)
17	امتصاص الأشعة.....	الشكل (11-1)
18	نوافذ الغلاف الجوي.....	الشكل (12-1)
19	تفاعل الأشعة مع الأهداف الأرضية.....	الشكل (13-1)
20	مجالات الأشعة التي تتعامل معها الأقمار الصناعية.....	الشكل (14-1)
21	مفهوم الخلية أو البيكسل في الاستشعار عن بعد.....	الشكل (15-1)
الفصل الثاني		
25	الزاوية الصلبة.....	الشكل (1-2)
28	اللمعان الطيفي للجسم الأسود عند درجات حرارة مختلفة.....	الشكل (2-2)
29	مخطط للغلاف الجوي مستوي متوازي مقسم إلى n طبقة.....	الشكل (3-2)
30	مخطط التمثيل الفضائي لزاوية سمت الرأس θ وزاوية خط العرض ϕ	الشكل (4-2)
32	درجة اللمعان الإجمالية على مستوى متبوسات 8-.....	الشكل (5-2)
الفصل الثالث		
41	صورة ملتقطة من طرف القناة ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8 للقمر الصناعي MSG-1 في يوم 15 جويلية 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.....	الشكل (1-3)
41	صورة ملتقطة من طرف القناة ما تحت الحمراء الحرارية IR12 للقمر الصناعي MSG-1 في يوم 15 جويلية 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.....	الشكل (2-3)
41	تغير الفرق ΔT ($\Delta T = T_b - T_s$) بين درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح، بدلالة درجة حرارة السطح. من أجل نموذجين للجو (جو من النوع الاستوائي و جو من النوع خطوط العرض الوسطى خلال الصيف).....	الشكل (3-3)
42	تغير الفرق ΔT بين درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي من	الشكل (4-3)

- 43أجل زاوية للرؤيا θ و زاوية للرؤيا $\theta = 0$ ، من أجل جو من النوع الاستوائي..... الشكل(3-5)
- 44تغير درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي بدلالة درجة حرارة السطح من أجل ثلاث زوايا مختلفة للرؤيا، جو من النوع الاستوائي..... الشكل(3-6)
- 45تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح حيث ارتفاع السطح هو $H = 0 \text{ km}$ و زاوية للرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي..... الشكل(3-7)
- 46تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح. حيث ارتفاع السطح هو $H = 1.5 \text{ km}$ و زاوية للرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي..... الشكل(3-8)
- 47تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح. حيث ارتفاع السطح هو $H = 3 \text{ km}$ و زاوية للرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي..... الشكل(3-9)
- 48مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي..... الشكل(3-10)
- 49مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي..... الشكل(3-11)
- 50التوزيع الفضائي لدرجة حرارة المعدن للقناة ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام..... الشكل(3-12)
- 51التوزيع الفضائي لدرجة حرارة المعدن للقناة ما تحت الحمراء الحرارية IR12، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام..... الشكل(3-13)
- 52التوزيع الفضائي لدرجة حرارة السطح المحسوبة باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام. السحب في الصورة أخفيت باللون الأبيض.....

فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
6	أهم الأقمار الصناعية وتاريخ إطلاقها.....	الجدول(1-1)
15	العناصر الدائمة والمتغيرة للغلاف الجوي الأرضي.....	الجدول(2-1)
21	قنوات جهاز الاستشعار و الأطياف التي تسجلها.....	الجدول(3-1)
40	المجال الطيفي لقنوات القمر الصناعي MSG-1.....	الجدول(1-3)

فهرس الرموز

سرعة الضوء ($m.s^{-1}$)	C
طول الموجي (m)	λ
التردد (s^{-1})	ν
الزاوية الصلبة (sr)	$\Delta\Omega$
نسبة كمية الطاقة المنبعثة من الجسم (J)	dQ
التدفق (W)	Φ
الانبعاثية ($W.m^{-2}$)	M
شدة الإشعاع ($W.sr^{-1}$)	I
درجة اللمعان ($W m^{-2} sr^{-1}$)	L
الاستنارة ($W.m^{-2}$)	E
السطح المستقبل (m^2)	S_1
السطح الباث (m^2)	S_2
معامل الانبعاثية الطيفي الاتجاهي للسطح	$\epsilon_\lambda(\theta, \varphi)$
دالة بلانك ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	$B_\lambda(T_s)$
ثابت بلانك (J.s)	h
ثابت بولتزمان (J/k)	K
ثابت ستيفان- بولتزمان ($W m^{-2} K^{-4}$)	σ
درجة الحرارة بالكلفن (K)	T
زاوية سمت الرأس	θ
زاوية خط العرض	φ
درجة اللمعان الطيفي ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	L_λ
معامل الانطفاء	β_{ext}
دالة المنبع ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	I_λ
السماك البصري (m)	δ_λ
السماك البصري للهباء الجوي (m)	δ_a
السماك البصري لتشتت رايلي (m)	δ_R
السماك البصري لامتصاص الغازات (m)	δ_{gaz}
السماك البصري الإجمالي (m)	$\delta_{*\lambda}$
معامل النفاذية	τ_λ
درجة حرارة جسم أسود (K)	T_s
دالة الطور	P_λ
درجة حرارة اللمعان (K)	T_b
معامل انبعاثية السطح	ϵ
اللمعان الجوي الصاعد ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	$L_{atm}^\uparrow$
اللمعان الجوي النازل ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	$L_{atm}^\downarrow$
درجة الحرارة الفعالة للهواء (K)	T_a
اللمعان الجوي الفعال ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	$B(T_a)$
دالة الانبعاث ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)	J_λ^{em}

دالة التشتت ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)	$J_{\lambda}^{\text{diff}}$
محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء	W
قناة ما تحت الحمراء 10.8	IR10.8
قناة ما تحت الحمراء 12	IR12

المقدمة العامة

المقدمة العامة

درجة حرارة السطح هي عامل مهم لمتابعة العديد من الظواهر الطبيعية، الفيزيائية، الكيميائية و البيولوجية على سطح الأرض. إن معرفة درجة حرارة السطح على نطاق واسع هو ممكن فقط باستخدام معطيات الأقمار الصناعية، كما تعتبر هذه الأخيرة عامل مهم في العديد من التطبيقات خاصة في علم المناخ و الدراسات البيئية، حيث يمكن تقدير درجة حرارة سطح أرضي عن طريق قياس الإشعاع المنبعث من سطح الأرض على مستوى القمر الصناعي في المجال الطيفي ما تحت الأحمر الحراري [1].

في 4 أكتوبر 1957م أطلق أول قمر صناعي من طرف الاتحاد السوفيتي سابقا "URSS" يسمى "Spoutnik- 1" [2]، منذ ذلك الحين حققت مراقبة الأرض بواسطة الأقمار الصناعية و الاستشعار عن بعد تقدما كبيرا حيث صممت العديد من الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة لسطح الأرض لغرض الأرصاد الجوية. في حقبة [1977-1997]م أطلق أول قمر للأرصاد الجوية من سلسلة متيوسات الجيل الأول هذه الأقمار الصناعية تحتوي على الراديو متر MVIRI، هذا الأخير يسمح بقياس الأشعة الكهرومغناطيسية في ثلاث مجالات: المجال المرئي، المجال ما تحت الأحمر الحراري، المجال ما تحت الأحمر المتوسط (قناة بخار الماء). آخر قمر صناعي للأرصاد الجوية في سلسلة متيوسات الجيل الأول أطلق عام 1997م. بعد هذه المرحلة و في 28 أوت 2002م تم إطلاق أول قمر صناعي من الجيل الثاني متيوسات MSG-1، إن هذا القمر الصناعي الجديد طورته وكالة الفضاء الأوروبية يسمح بقياس الإشعاع الكهرومغناطيسي في 12 قناة مختلفة: قناتين في المجال المرئي، قناتي بخار الماء، سبع قنوات ما تحت الحمراء و قناة في المجال المرئي تسمى HRV [1،3].

إن جهاز الراديو متر المثبت على مستوى القمر الصناعي يسمح بقياس الإشعاع المنبعث من سطح الأرض، هذا الأخير يلعب دورا كمصدر للإشعاع ما تحت الأحمر الحراري (IRT) حيث يسمح الإشعاع المقاس عن طريق الاستشعار عن بعد بتقدير درجة حرارة السطح [4،5]. إن الإشعاع ما تحت الأحمر الحراري الصادر عن سطح الأرض يعتمد على معامل الانبعاثية الطيفية للسطح فيعتبر هذا الأخير عاملا مهما لتقدير درجة حرارة السطح فهذا الإشعاع عند مروره عبر الغلاف الجوي يخضع إلى الامتصاص و التشتت و بالتالي فإن قيمة درجة حرارة سطح أرضي المقاسة على مستوى القمر الصناعي ليست هي القيمة الصحيحة [4،6،7].

فكيف يمكننا تقدير درجة حرارة سطح أرضي انطلاقا من معطيات الأقمار الصناعية؟

لتقدير درجة حرارة سطح أرضي يجب أولا تصحيح درجة اللمعان المقاس على مستوى القمر الصناعي من التأثيرات الجوية، هناك أبحاث كثيرة اقترحت في هذا المجال [8،9]. يمكن تمييز طريقتين شائعتين و هما: طريقة أحادي القناة و تستعمل من أجل الأقمار الصناعية التي لديها قناة واحدة في مجال ما تحت الأحمر الحراري [8،10]. أما الطريقة الأخرى فهي من النوع النافذة المقسومة التي استعملت أول مرة لتقدير درجة حرارة سطح البحر و بعد نجاحها امتدت لتقدير درجة حرارة أي سطح أرضي [4]، و تعتمد هذه الطريقة على تقدير درجة حرارة سطح أرضي انطلاقا من قيمة اللمعان المقاسة عبر قناتين مختلفتين في المجال ما تحت الأحمر الحراري [10،11]، فالهدف المرجو من هذه المذكرة هو تقدير درجة حرارة سطح أرضي باستخدام معطيات القمر الصناعي وذلك بتصحيح إشارة اللمعان الملتقطة من القمر الصناعي من التأثيرات الجوية باستعمال خوارزميات تسمح بتصحيح هذه الأخيرة.

إن هذا العمل أنجز في ثلاث فصول، الفصل الأول بعنوان الاستشعار عن بعد و الذي من خلاله سنتعرف على الاستشعار عن بعد نشأته و تطوره كذلك تعريفه و عناصره الأساسية، أما الفصل الثاني سنتعرف على معادلة الانتقال الإشعاعي التي تعتبر الأساس النظري للاستشعار عن بعد كذلك سنتطرق إلى أشهر طرق تقدير درجة حرارة سطح الأرض حيث سنقوم بعرض نوعين من الخوارزميات: خوارزمي أحادي القناة و التي تسمح بتقدير T_s انطلاقاً من معطيات متيوسات-7 و خوارزمية من نوع النافذة المقسومة التي تتعلق بالمحتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء W حيث تسمح بتقدير درجة حرارة السطح انطلاقاً من معطيات القمر الصناعي الأوروبي MSG-1. أما الفصل الأخير عبارة عن تحليل و مناقشة النتائج المتحصل عليها حيث سيتم مقارنة نتائج درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزميات النافذة المقسومة مع القياسات عند الموقع نفسه.

الجزء النظري

الفصل الأول

الإستشعار عن بعد

1-1 المقدمة:

من المعروف أن أي بلد يعتمد في تطوره على جمع و حصر المعلومات الخاصة بالموارد الطبيعية والصناعية وغيرها، فلهذا السبب دعت الحاجة لابتكار طرق جديدة لجمع المعلومات، و من هذه الطرق جمع المعلومات أو البيانات عن هدف دون الحاجة للوصول إلى ذلك ما يعرف اليوم بعلم الاستشعار عن بعد (remote sensing)، الذي كان يعرف سابقا بمصطلح تحليل و دراسة الصور الجوية، و كان يقصد بذلك الصور الفوتوغرافية التي تؤخذ عن بعد بواسطة الطائرات أو المناطيد أو غيرها [12].

وفي عام 1960م ظهر لفظ الاستشعار عن بعد لأول مرة، حيث يوفر علم الاستشعار عن بعد معلومات كثيرة و غزيرة عن الأرض، بحيث تستخدم هذه المعلومات في دراسة الظواهر الطبيعية والبشرية و مما يميز هذا العلم أنه يوفر المعلومات عن منطقة ما دون الحاجة للوصول إليها أو ملامستها، مما يجعله متقدما على الطرق التقليدية في جمع المعلومات [12].

2-1 نبذة تاريخية:

علم الاستشعار عن بعد مثل العلوم الأخرى مرت بمراحل تطور إلى يومنا هذا، وما زال يتطور و تزداد أهميته مع زيادة إمكانية و سهولة الحصول على معلومات من مخرجاته. حيث انطلق علم الاستشعار عن بعد من اختراع آلة التصوير عام 1839م، و لكن أخذت أول صورة من الجو عام 1858م على ارتفاع 80 متر لقرية فرنسية ثم أخذت صورة لمدينة بوسطن عام 1860م من منطاد على ارتفاع 360 متر ثم جاء اختراع الأخوين (رايت) للطائرة عام 1903م الذي ساهم في دوره في تطوير طرق التصوير، وفي عام 1915م تم تصنيع جهاز تصوير خاص بالطائرات قام بتصميمه ضابط في سلاح الجو البريطاني.

لكن تفسير الصور الجوية بدأ بمعناه الحقيقي خلال الحرب العالمية الأولى، وقد ساعد ذلك على ظهور أجهزة الرؤية المجسمة عام 1915م و استخدمت الصور الجوية عام 1920م في عمليات التنقيب عن النفط. ثم ساعد تطور علم العدسات عام 1934م في الحصول على صور جوية بمقاييس صغيرة، استمر استخدام الصور الجوية في عمليات الحصر و إنتاج الخرائط الشاملة و خرائط المناطق، إلى أن استخدمت الصور الجوية في عمليات التجسس في الحرب العالمية الثانية، و ذلك لتحديد الأهداف العسكرية و تقدير الخسائر و حصرها.

أما استخدام الصور الجوية في المناطق العربية فكان من خلال الحرب العالمية الأولى بواسطة الغرب و ذلك بتصوير مناطق السويس و بعض مناطق مصر، و بعد الاحتلال الإسرائيلي في المنطقة و اكتشاف النفط ظهر التصوير الجوي في المنطقة مرة أخرى، و لكن كان معظمها مقتصرًا على الأغراض العسكرية و العمليات الاقتصادية.

مع بداية عصر الفضاء و الاتصالات بالأقمار الصناعية حيث أطلقت الولايات المتحدة الأمريكية صاروخا عام 1946م لغرض الاستكشاف الفضائي على ارتفاع 120 كيلومتر، أول الأقمار الصناعية تم إطلاقه في عام 1957م من طرف الاتحاد السوفيتي سابقا، و بعدها أطلقت أمريكا أول أقمارها الصناعية في عام 1958م و توالى الانجازات حتى تم في عام 1965م تم إطلاق المركبة المأهولة (جيميني3)، ثم استمر التصوير الفضائي في سلسلة رحلات (أبولو) التي بدأت عام 1968م و انتهت عام 1972م، في منتصف عام 1972م وضع القمر الصناعي الأمريكي (ERST-1) الذي يعرف الآن باسم لاندسات-1 (LANDSAT-1) في

مداره حول الأرض، و تبع برنامج (أبولو و جيمني) برنامج المعمل الفضائي الذي استمر ثمانية أشهر ما بين 1973م و 1974م تم من خلالها إرسال ثلاث رحلات مأهولة، ومن أهم المجالات التي استفادت من تجارب المعمل الفضائي: الزراعة، الغابات، الجغرافيا، دراسة البحار و المحيطات، التلوث، استخدام الأراضي، الطقس و المناخ.

بدأ سباق إطلاق الأقمار الصناعية و غزو الفضاء و سعت كل دولة إلى امتلاك سلسلة من الأقمار لتكون هي المسيطرة على هذه التقنية [12]. الجدول (1-1) يلخص أهم الأقمار الصناعية و تاريخ إطلاقها:

جدول (1-1): أهم الأقمار الصناعية و تاريخ إطلاقها [12].

مالك القمر	اسم القمر	تاريخ الإطلاق	ملحوظات
الولايات المتحدة الأمريكية	Landsat-1	1972م	انتهى العمل به في 1978م
الولايات المتحدة الأمريكية	Landsat-2	1975م	انتهى العمل به في 1983م
الولايات المتحدة الأمريكية	Landsat-3	1978م	انتهى العمل به في 1983م
الاتحاد السوفيتي	Resurs-ol-1	1985م	
فرنسا	Spot-1	1986م	
فرنسا	Spot-2	1990م	
الاتحاد السوفيتي	Resurs-ol-3	1994م	
الهند	Irs-1D	1997م	
الولايات المتحدة الأمريكية	Landsat-7	1999م	
فرنسا	Spot-5	2002م	
الولايات المتحدة الأمريكية	Noaa-17	2002م	

3-1 مفهوم الاستشعار عن بعد:

الاستشعار عن بعد هو علم و فن، يهدف إلى الحصول على معلومات عن جسم أو ظاهرة من خلال تحليل معطيات يتم اكتسابها بجهاز استشعار لا يلمس ذلك الجسم أو الظاهرة المدروسة. فقراءتنا لهذه الكلمات هي في الواقع استشعار عن بعد، إذ أن عيوننا تقوم بدور مستشعرات تتحسس بالضوء المنعكس من هذه الصفحة، و يقوم حاسوبنا العقلي بتحليل هذه المعطيات و تفسيرها لنعرف أنها مجموعة حروف و كلمات، بعد ذلك نستطيع التعرف على الجمل و من ثم المعلومات التي تتضمنها الجمل [12].

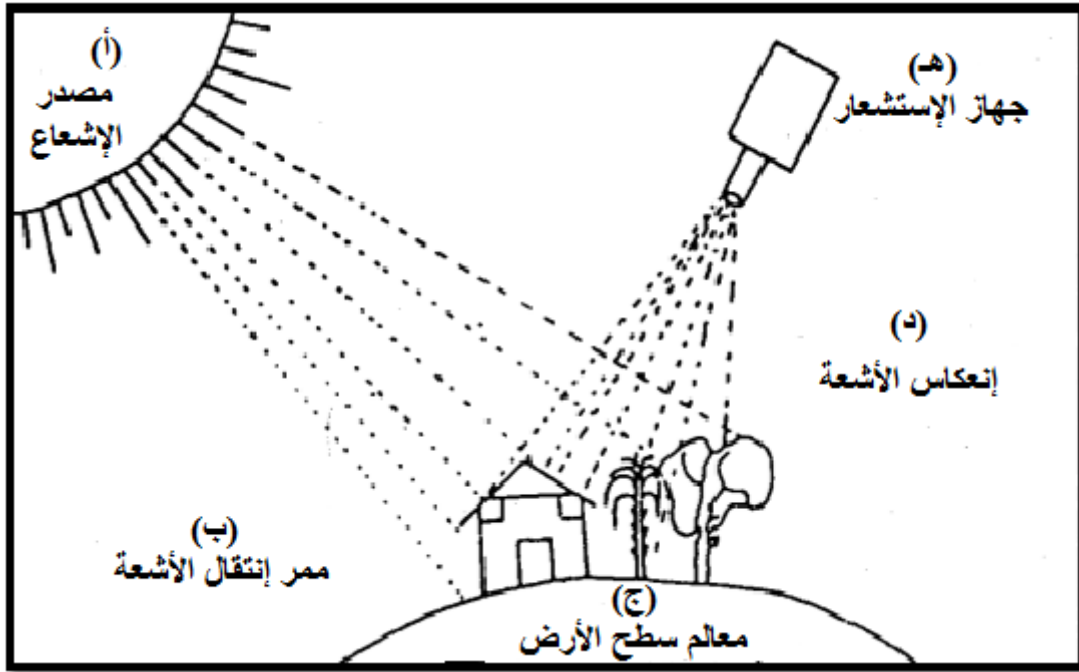
الاستشعار عن بعد يشبه عملية القراءة ففي عملية القراءة العين البشرية تتحسس الضوء المرئي المنعكس من الأجسام، أما في عملية الاستشعار فهناك أجهزة تستشعر الطاقة المنعكسة أو المنبعثة من

الأجسام، و لكن ليست هذه الطاقة فقط في المجال المرئي فهناك مستشعرات مختلفة تتحسس أنواعا كثيرة من هذه الأشعة المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام، فالضوء المنعكس أو المنبعث من الأجسام هو عبارة عن طاقة كهرومغناطيسية [12].

بذلك يمكن تعريف الاستشعار عن بعد بأنه مصطلح يصف تقنية و مراقبة و دراسة و التعرف على الأشياء من بعد، باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية، و يتم بهذه التقنية اقتناء المعلومات من خلال جهاز ليس في احتكاك مباشر مع الأجسام المدروسة، بواسطة تسجيل الموجات الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من هذه الأجسام [12].

1-4 العناصر الأساسية لنظام الاستشعار عن بعد:

تعتمد عملية الاستشعار عن بعد بواسطة الأقمار الصناعية على خمسة عناصر أساسية [13] كما هو موضح في الشكل (1-1) و هي:



الشكل (1-1): العناصر الأساسية لعملية الاستشعار عن بعد [13].

أ- مصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي.

ب- ممر انتقال الأشعة و هو الغلاف الجوي المحيط بالأرض.

ج- تفاعل الأشعة مع الأهداف على سطح الأرض.

د- الطاقة المنعكسة من معالم سطح الأرض.

هـ- جهاز الاستشعار على متن الأقمار الصناعية.

1-4-1 مصدر الإشعاع الكهرومغناطيسي:

كما ورد في تعريف الاستشعار عن بعد يعنى بدراسة الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة من الأجسام، فلذلك يجب أن يكون هناك مصدر رئيسي لهذه الطاقة. و في الحقيقة فإن هناك مصدرين الأول طبيعي مثل الشمس و الآخر صناعي، وعلى هذا الأساس هناك نوعان من الاستشعار عن بعد هما [12]:

✓ نظام الاستشعار عن بعد السلبي (Passive):

هو النظام الذي يعتمد على مصدر طبيعي للطاقة الكهرومغناطيسية مثل الشمس، ثم التصوير المرئي والحراري، بحيث تنطلق الأشعة الكهرومغناطيسية من الشمس فتعكس من الأجسام فيستقبلها جهاز الاستشعار [12].

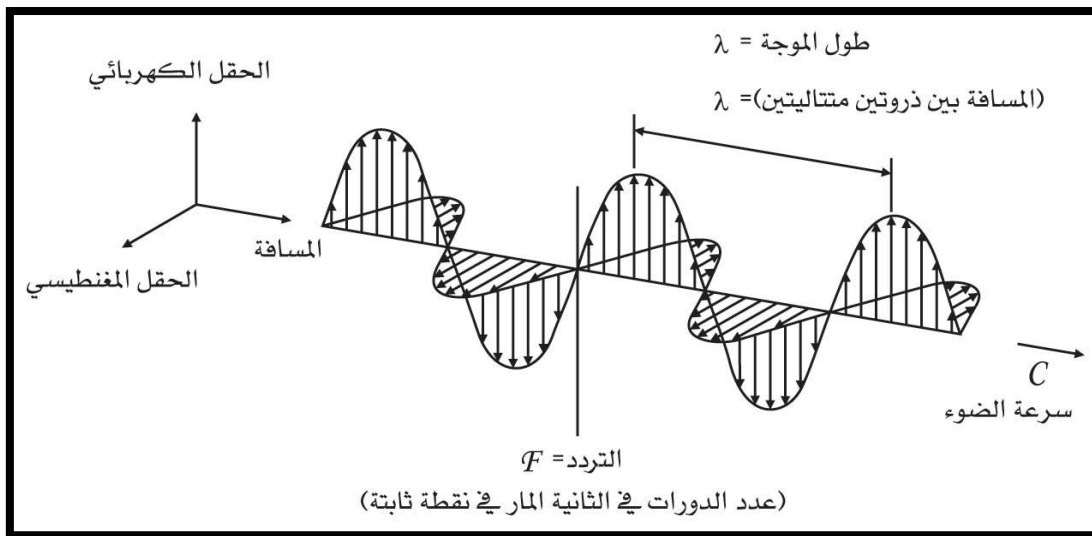
✓ نظام الاستشعار عن بعد الفاعل (Active):

هو النظام الذي يعتمد على مصدر صناعي للطاقة الكهرومغناطيسية، بحيث يصدر جهاز الاستشعار أشعة كهرومغناطيسية فتعكس من الأجسام و يستقبلها جهاز الاستشعار من جديد، و هو ما يعرف بالرادار [12].

تعتمد تقنية الاستشعار عن بعد على الطاقة المنعكسة من الأجسام، و هذه الطاقة ممكن أن تكون طاقة الضوء المرئي (اللون الأحمر، الأخضر و الأزرق) أو طاقة حرارية أو أي نوع من الطاقة الكهرومغناطيسية [12].

1-1-4-1 تعريف الأشعة الكهرومغناطيسية:

الأشعة الكهرومغناطيسية هي عبارة عن إشعاع يتألف من حركتين اهتزازيتين متوافقتين تتحركان في مستويين متعامدين، مصدر الحركة الأولى حقل كهربائي و الأخرى مغناطيسي تشكلان معا حقلا كهرومغناطيسيا، و تتحرك الطاقة الكهرومغناطيسية بشكل جيبي و تسير بسرعة الضوء و من خواص هذه الموجات أنها تنتقل في خطوط مستقيمة في الوسط المتجانس الواحد، و كلما قطعت الموجة الكهرومغناطيسية مسافة أطول كلما ضعفت قوتها. و المسافة بين قمتين في الموجة الكهرومغناطيسية متتاليتين تسمى بطول الموجة λ و عدد القمم المارة في نقطة ثابتة في الفضاء في وحدة الزمن (الثانية) بالتردد f [12] كما هو موضح في الشكل (2-1):



الشكل (2-1): الموجة الكهرومغناطيسية [12].

2-1-4-1 خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية:

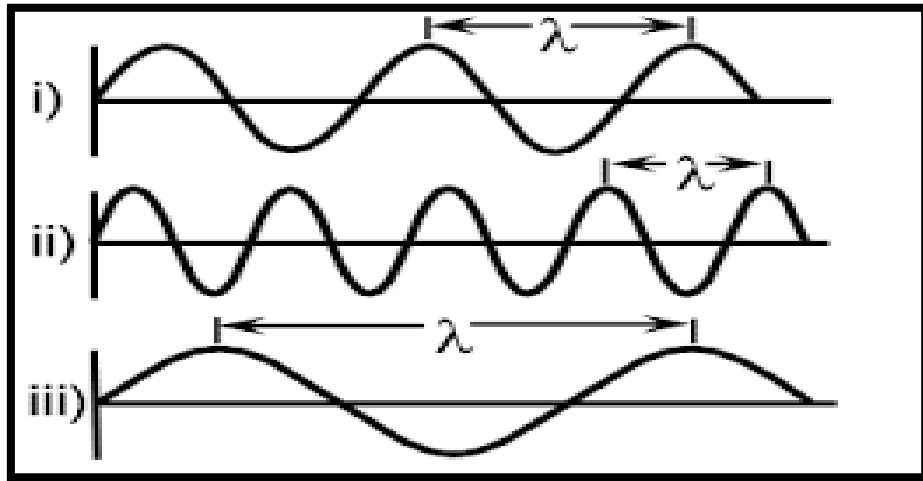
للأشعة الكهرومغناطيسية خصائصها الفريدة و المتعددة و نذكر أهمها طول الموجة و التردد [14] كما هو موضح في الشكل (3-1).

✓ طول الموجة:

هو المسافة الفاصلة بين قمتي موجتين متتاليتين و يعبر عنه بإشارة (λ) و يقاس بالمتر أو بأحد أجزائه:
 النانومتر (nm) و يساوي 10^{-9} متر (m).
 الميكرومتر (μm) و يساوي 10^{-6} متر (m).
 السنتيمتر (cm) و يساوي 10^{-2} متر (m).

✓ التردد:

هو عدد الموجات الدورية خلال وحدة الزمن (و يعبر عنها بدورة في الثانية) و تقاس عادة بالهرتز (Hertz) أو أحد مشتقاته [14].



الشكل (3-1): الطول الموجي و التردد [14].

يرتبط الطول الموجي بالتردد بالعلاقة الرياضية التالية:

$$c = \lambda \nu \quad (1-1)$$

حيث:

c : هي سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 متر في الثانية.

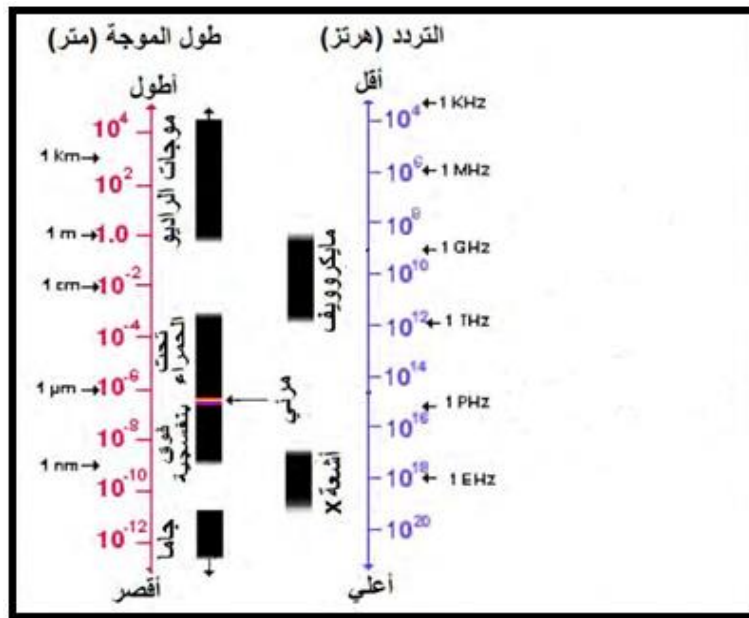
λ : الطول الموجي بالمتر.

ν : التردد (دورة بالثانية).

و بالتالي ترتبط الصفتان بعلاقة عكسية فكلما زاد طول الموجة انخفض التردد و العكس بالعكس [14].

3-1-4-1 الطيف الكهرومغناطيسي:

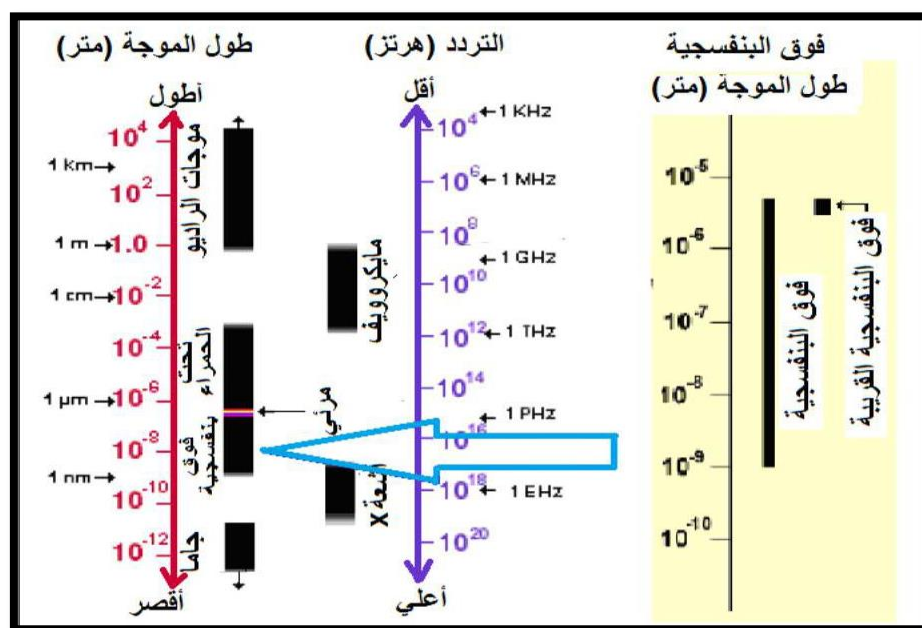
يتراوح الطيف الكهرومغناطيسي من الأمواج القصيرة جدا (كأشعة غاما و الأشعة السينية) إلى الأشعة فائقة الطول (مثل الأمواج الميكروية و الراديوية). و هناك عدة مجالات من الطيف الكهرومغناطيسي تهتم الاستشعار عن بعد [14] كما هو موضح في الشكل (4-1):



الشكل (4-1): الطيف الكهرومغناطيسي [14].

✓ المجال فوق البنفسجي:

هو من أقصر الموجات التي تهتم الاستشعار عن بعد لأن الكثير من الأجسام الطبيعية تشع ضوء مرئي عند تعرضها للأشعة فوق بنفسجية [14] كما هو موضح في الشكل (5-1):



الشكل (5-1): المجال فوق البنفسجي [14].

✓ المجال المرئي:

إن الضوء الذي تراه أعيننا يدعى بالمجال المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي، و يكون المجال المرئي صغير مقارنة بغيره من المجالات، يغطي المجال المرئي الأشعة التي يتراوح طولها من 400 نانومتر إلى 700 نانومتر كما هو موضح في الشكل (1-6)، أقصر الأطوال الموجية المرئية هو البنفسجي و أطولها هو الأحمر. و بالتالي يمكن تقسيم المجال المرئي إلى الأقسام التالية:

البنفسجي: 400 - 446 نانومتر.

الأزرق: 446- 500 نانومتر.

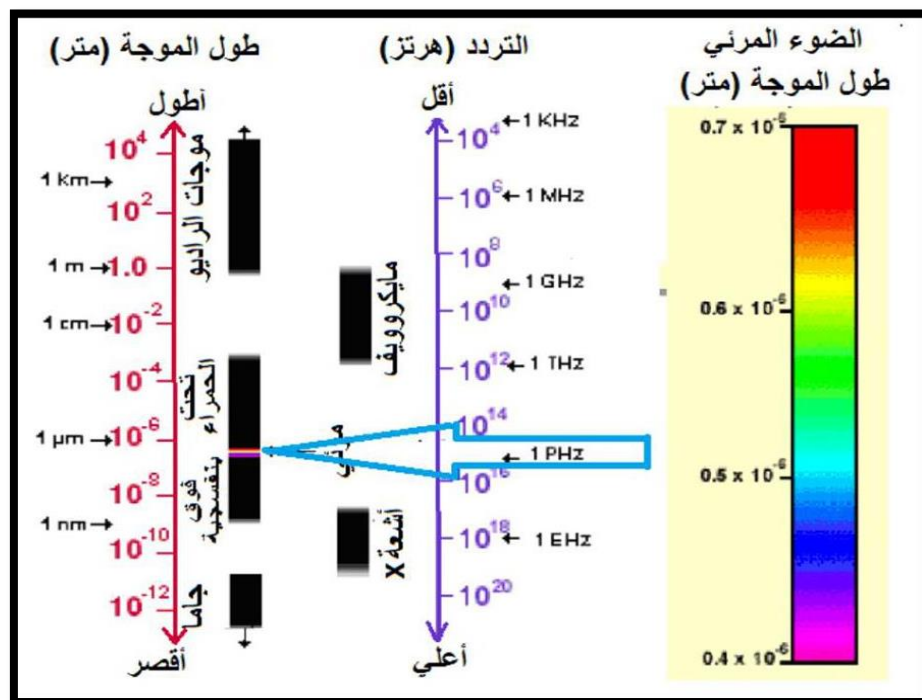
الأخضر: 500- 578 نانومتر.

الأصفر: 578- 592 نانومتر.

البرتقالي: 592 - 620 نانومتر.

الأحمر: 620 - 700 نانومتر.

و يعتبر الأزرق و الأخضر و الأحمر الألوان الرئيسية نظرا لعدم إمكانية تشكيل أي لون من اللونين الآخرين. إلا أن الألوان الأخرى يمكن تركيبها من الأزرق و الأخضر و الأحمر [14].



الشكل (1-6): المجال المرئي [14].

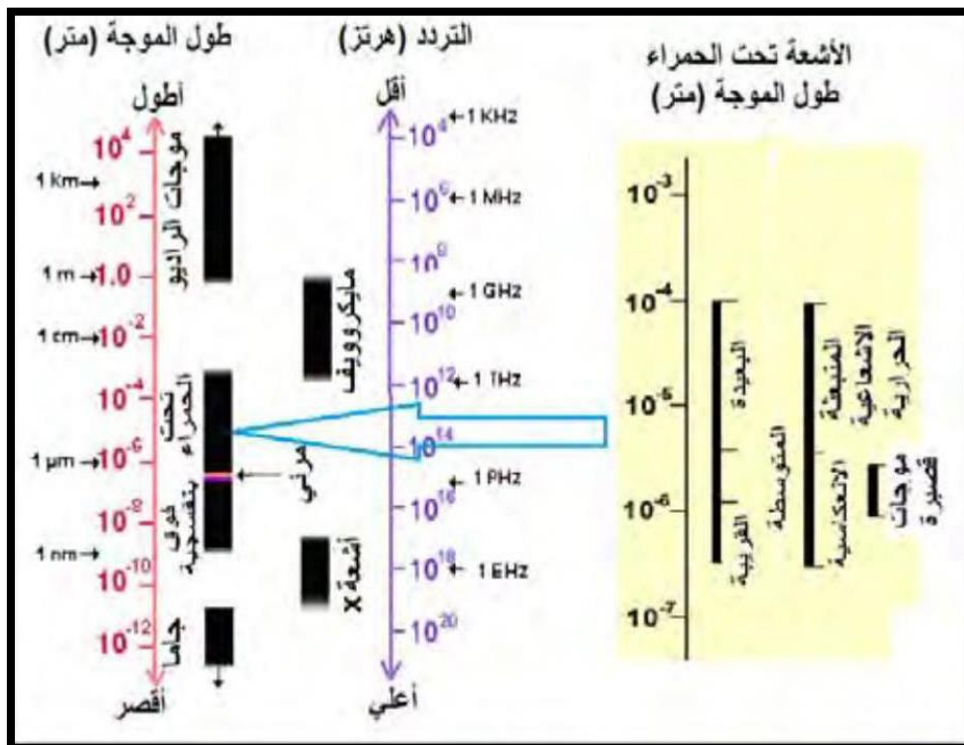
يمكن رؤية مكونات المجال المرئي عند مرور ضوء الشمس عبر الموشور الذي يقسم الأشعة إلى كميات متميزة حسب طولها الموجي [14].

✓ المجال تحت الأحمر:

هو المجال الواقع بين الطول الموجي 700 و 100.000 نانومتر و هو أكبر بمائة مرة من المجال المرئي يقسم المجال تحت الأحمر إلى نوعين حسب خصائص الأشعة في هذا المجال هما:

الأشعة تحت الحمراء المنعكسة و هي الأشعة المنعكسة عن الأهداف الطبيعية و تستخدم بنفس طريقة استخدام الأشعة المرئية في تطبيقات الاستشعار عن بعد و هي تغطي المجال من 700 إلى 3000 نانومتر أو 3 ميكرومتر.

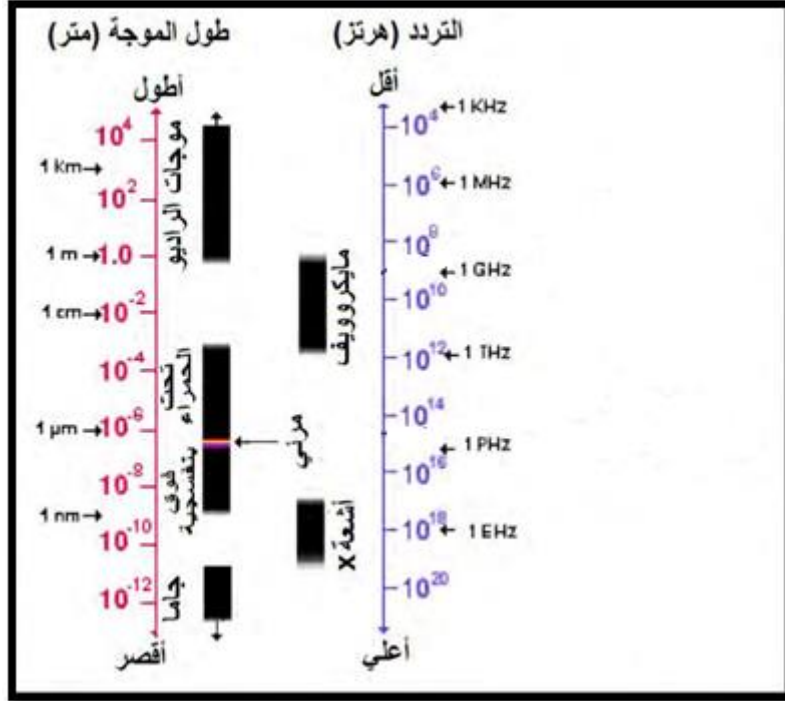
الأشعة تحت الحمراء الحرارية و هي الأشعة التي تشعها الأجسام الطبيعية على شكل حرارة و بالتالي تختلف عن الأشعة المرئية و الأشعة تحت الحمراء المنعكسة و تغطي المجال من 3 إلى 100 ميكرومتر [14] كما هو موضح في الشكل (1-7):



الشكل (7-1): المجال تحت الأحمر [14].

✓ الأمواج الميكروية:

تتراوح الأمواج الميكروية من 1 ميكرومتر إلى 1 متر الشكل (8-1). و يعتبر هذا المجال هاما للاستشعار عن بعد [14].



الشكل (8-1): الأشعة الميكروية [14].

2-4-1 ممر انتقال الأشعة وهو الغلاف الجوي المحيط بالأرض:

في نظام الاستشعار عن بعد تمر الأشعة الكهرومغناطيسية من المصدر إلى الهدف و منه إلى جهاز الاستشعار و يؤثر الغلاف الجوي في انتشار هذه الطاقة [12]، قبل أن نتطرق إلى تأثير الغلاف الجوي على الأشعة الكهرومغناطيسية سنتعرف أولاً على بنية الغلاف الجوي و مكوناته.

1-2-4-1 بنية الغلاف الجوي:

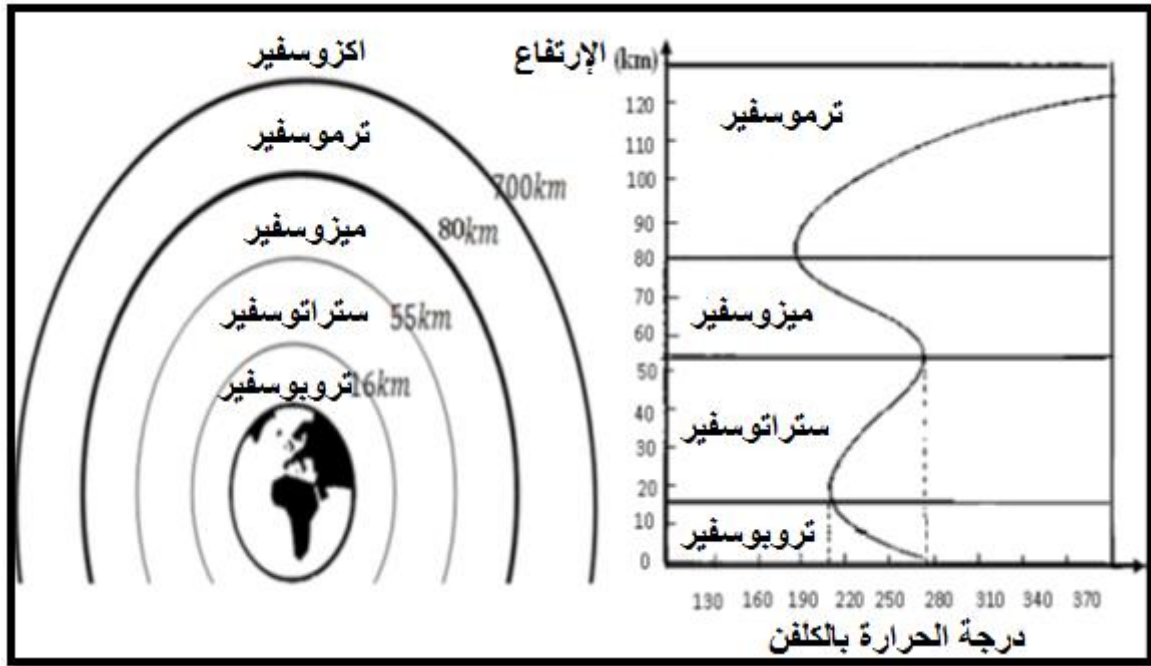
الغلاف الجوي المحيط بسطح الأرض هو عبارة عن خليط مجموعة من الغازات و الجسيمات المختلفة، و يكون بالقرب من سطح الأرض بسبب قوة الجاذبية الأرضية. وفقاً للمرجع [15]، يمكننا وصف بنية الغلاف الجوي على النحو التالي:

وفقاً للتوزيع الرأسي لدرجات الحرارة يمكننا تقسيم الغلاف الجوي للأرض إلى خمس طبقات أساسية متغيرة كما في الشكل (9-1) التروبوسفير، الستراتوسفير، ميزوسفير، ترموسفير و إكزوسفير.

• طبقة التروبوسفير (Troposphere):

هي طبقة الغلاف الجوي الأقرب إلى سطح الأرض، و يتراوح ارتفاعها ما بين 0-16 كم و يختلف ارتفاعها باختلاف دوائر العرض و الفصول، في هذه الطبقة تنخفض درجة الحرارة و الضغط مع الارتفاع. كتلة التروبوسفير تمثل ما يقارب ثلاثة أرباع مجموع كتلة الغلاف الجوي. الهواء في هذه الطبقة يتكون من بخار الماء و ثاني أكسيد الكربون و الغبار [15].

- **طبقة الستراتوسفير (Stratosphère):**
هي الطبقة التي تعلو طبقة التروبوسفير، و يتراوح ارتفاعها تقريبا ما بين 16-55 كم. في طبقة الستراتوسفير نجد طبقة الأوزون، فإنه يمتص معظم الأشعة الشمسية فوق بنفسجية و يؤدي إلى إطلاق طاقة على شكل حرارة. لذلك ترتفع درجات الحرارة مع الارتفاع في طبقة الستراتوسفير [15].
- **طبقة ميزوسفير (Mésosphère):**
هي الطبقة التي تعلو طبقة الستراتوسفير، يتراوح ارتفاعها تقريبا ما بين 55-80 كم. في هذه الطبقة درجة الحرارة تتناقص مع الارتفاع [15].
- **طبقة ترموسفير (Thermosphère):**
هي الطبقة التي تعلو طبقة ميزوسفير، يتراوح ارتفاعها تقريبا ما بين 80-700 كم. في هذه الطبقة درجات الحرارة تتزايد مع الارتفاع. الضغط هناك يصبح يقارب الصفر و جزيئات الهواء نادرة جدا [15].
- **طبقة إكزوسفير (Exosphère):**
هي الطبقة الأخيرة في طبقات الغلاف الجوي للأرض التي تقع فوق الترموسفير، يتراوح ارتفاعها تقريبا ما بين 700-3000 كم. في هذه الطبقة التصادمات بين الجسيمات نادرة الحدوث [15].



الشكل (9-1): طبقات الغلاف الجوي [16].

2-2-4-1 مكونات الغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي للأرض حاليا من مجموعتين من الغازات، المجموعة الأولى مع تراكيز ثابتة و المجموعة الثانية مع تراكيز متغيرة. يحتوي الغلاف الجوي أيضا على أنواع مختلفة من الهباء الجوي و السحب، و التي تختلف اختلافا كبيرا في الزمان و المكان. و يبين الجدول (2-1) الصيغ الكيميائية و نسبة

الحجم لتراكيز الغازات الدائمة و المتغيرة. و كما يلاحظ أن النيتروجين و الأكسجين و الأرجون تمثل أكثر من 99.96٪ من حجم الهواء، و أن كمية بخار الماء هو متغير جدا في الغلاف الجوي [15].

الجدول (2-1): العناصر الدائمة و المتغيرة للغلاف الجوي الأرضي [15].

عنصر	نسبة الحجم (%)
العناصر الدائمة او المستمرة	
الازوت (N ₂)	78.084
الأكسجين (O ₂)	20.948
الأرغون (Ar)	0.934
ثنائي أكسيد الكربون (CO ₂)	0.036
نيون (Ne)	18.18×10 ⁻⁴
الهيليوم (He)	5.24×10 ⁻⁴
كريبتون (Kr)	1.14×10 ⁻⁴
أكسينون (Xe)	0.089×10 ⁻⁴
غاز الهيدروجين (H ₂)	0.5×10 ⁻⁴
الميثان (CH ₄)	1.7×10 ⁻⁴
أكسيد نيترو (N ₂ O)	0.3×10 ⁻⁴
أحادي أكسيد الكربون (CO)	0.08×10 ⁻⁴
العناصر المتغيرة	
بخار الماء (H ₂ O)	0-0.04
الأوزون (O ₃)	0-12×10 ⁻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 النترينك (NO)	0.0005×10 ⁻⁴
كبريتيد الهيدروجين (H ₂ S)	0.00005×10 ⁻⁴

3-2-4-1 الهباء الجوي:

الهباء الجوي هو عبارة عن خليط من جسيمات دقيقة للغاية و غاز، و قد تكون قطيرات سائلة أو قطعاً صغيرة للغاية من مادة صلبة عالقة في الهواء [17]، حيث يشكل الهباء الجوي جزيئات صغيرة تتواجد في الغلاف الجوي بأحجام و تراكيز و تركيبات كيميائية مختلفة، بعض الهباء الجوي يتم بثه مباشرة في

الغلاف الجوي، في حين يتشكل جزء آخر من خلال التركيبات الصادرة، يشمل الهباء الجوي التركيبات الطبيعية و التركيبات الناتجة عن النشاط البشري [18].

4-2-4-1 تأثير الغلاف الجوي على الأشعة الكهرومغناطيسية:

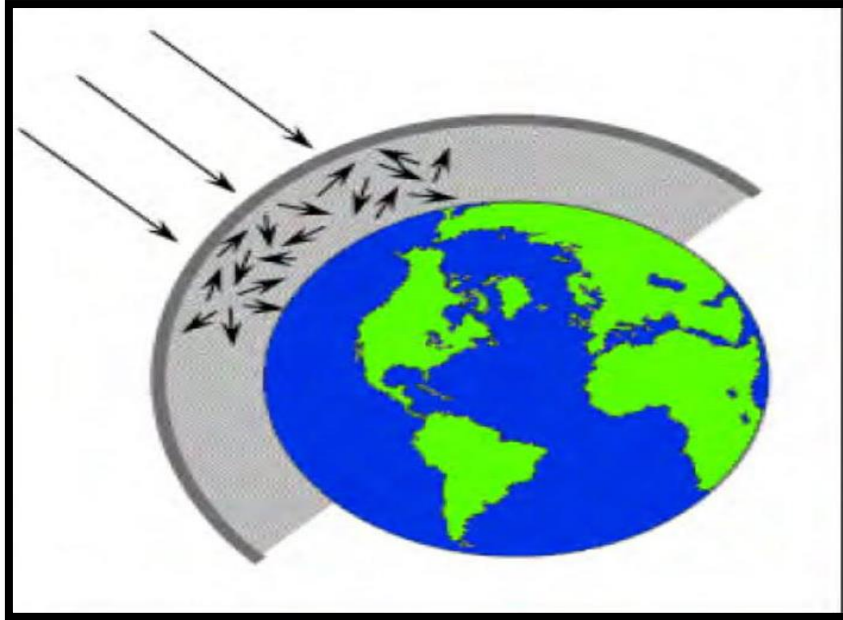
قبل أن تصل الأشعة (أشعة الشمس أو أشعة أي مصدر آخر) إلى سطح الأرض لا بد أن تمر في الغلاف الجوي حيث يؤثر عليه غازات و جزيئات الغلاف الجوي. هذه التأثيرات يمكن أن تعزى لآليتي التشتت و الامتصاص [14].

✓ التشتت:

يحدث التشتت عندما تتواجد في الغلاف الجوي جزيئات صلبة أو جزيئات غازية ضخمة تؤدي إلى انحراف الأشعة عن مسارها الأصلي الشكل (10-1). تتعلق كمية الأشعة المتشتتة تحت تأثير الغلاف الجوي بعدة عوامل منها: كمية (غزارة) الجزيئات أو الغازات في الغلاف الجوي، المسافة التي تقطعها الأشعة ضمن الغلاف الجوي، و طول موجة الأشعة التي تخترق الغلاف الجوي [14،19].

يمكن تمييز ثلاث أنواع من التشتت تحت تأثير الغلاف الجوي هي:

- تشتت رايلي Rayleigh.
- تشتت مي Mie.
- تشتت العشوائي Non-selective .



الشكل (10-1): التشتت [14].

• تشتت رايلي Rayleigh:

هو يحدث عندما تكون الجزيئات صغيرة الحجم مقارنة بطول موجة الأشعة مثل الغبار و جزيئات الأكسجين و الأزوت، هذا النوع من التشتت يعكس عادة الأشعة قصيرة الموجة أكثر من الطويلة. يحدث هذا النوع في طبقات الجو العليا، و هو المسؤول عن ظهور السماء باللون الأزرق (السمائي) لأن الأشعة القصيرة ضمن المجال المرئي (الأشعة الزرقاء) تشتتت أكثر من الأشعة الطويلة.

في ساعات الشروق و الغروب تقطع الأشعة مسافة أطول عبر الغلاف الجوي و هذا ما يؤدي إلى تشتت كامل للأشعة القصيرة تاركا المجال لوصول كمية كبيرة من الأشعة طويلة الموجة [14].

• تشتت مي Mie:

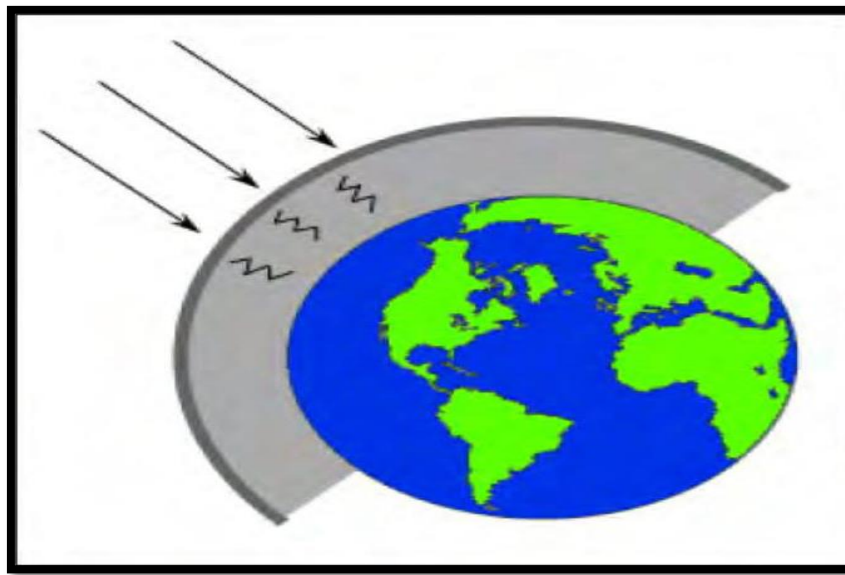
يحدث هذا النوع عندما تكون أحجام الجزيئات مماثلة لطول موجة الأشعة نتيجة لوجود الغبار و غبار الطلع و بخار الماء و هو يكثر في الجزء السفلي من الغلاف الجوي حيث تكثر الجزيئات الخشنة و يزداد أكثر ما يمكن في الأجواء الغائمة [14].

• تشتت الغير انتقائي Non-selective:

هذا التشتت ينتج عن الجزيئات الأكبر من طول موجة الأشعة، مثل قطرات الماء و الغبار الغليظ، و هو يؤدي إلى تشتت كل الأشعة بشكل متساو، و هذا يعطي السماء اللون الأبيض عند وجود الضباب و الغيوم لأن الأشعة الخضراء و الزرقاء و الحمراء تشتت بشكل متساو و من المعروف إن اجتماع هذه الألوان الثلاثة بشكل متساو يشكل اللون الأبيض [14].

✓ الامتصاص:

هو الآلية الثانية من آليات تأثير الغلاف الجوي على الأشعة المارة به، حيث تقوم مكونات الغلاف الجوي بامتصاص جزء من الأشعة ذات الأطوال الموجية المختلفة الشكل (1-11). يعتبر الأوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء من أكثر عوامل امتصاص الأشعة في الغلاف الجوي [14].



الشكل (1-11): امتصاص الأشعة [14].

• الأوزون:

يقوم بامتصاص الأشعة الضارة (فوق البنفسجية) و لولا الأوزون لانعدمت الحياة على سطح الأرض [14].

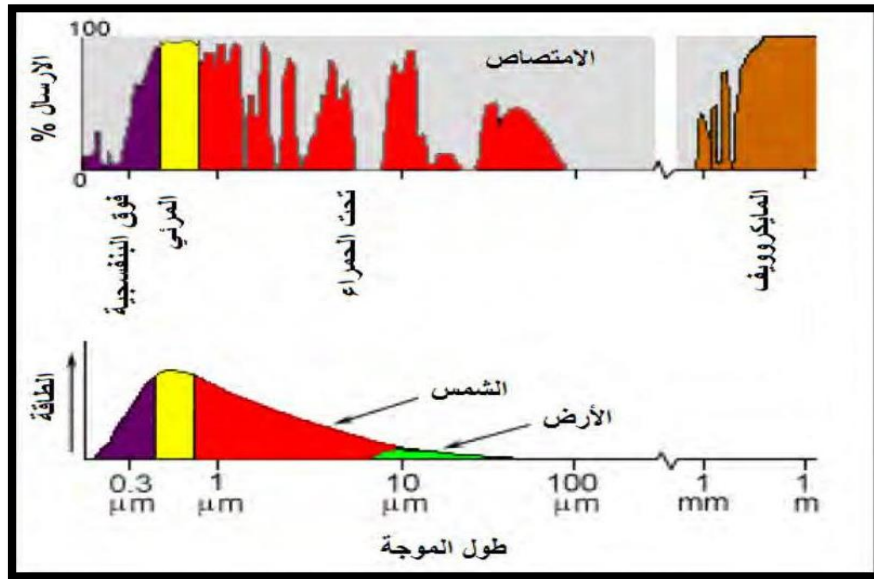
• ثاني أكسيد الكربون:

يمتص هذا المركب الأشعة الطويلة ذات الطابع الحراري الناتج عن التسخين و بالتالي فإن أشعة الشمس تخترقه بسهولة بينما الأشعة طويلة الموجة المنعكسة عن سطح الأرض يمتصها مما يؤدي إلى ارتفاع حرارة الأرض و هذه الظاهرة تدعى ظاهرة الدفيئة [14].

• بخار الماء:

يعتبر بخار الماء أهم عنصر في الغلاف الجوي في مجال ما تحت الأحمر الحراري حيث يقوم بامتصاص الأشعة المنبعثة من سطح الأرض [14].

تمتص الغازات الطاقة ليس على طول الطيف الكهرومغناطيسي بل في أجزاء محددة منه و هذا ما يدعونا إلى البحث عن تلك الأجزاء التي لا تتأثر بالغلاف الجوي لاستخدامها في الاستشعار عن بعد، هذه الأجزاء ندعوها نوافذ الغلاف الجوي [14] الشكل (1-12):



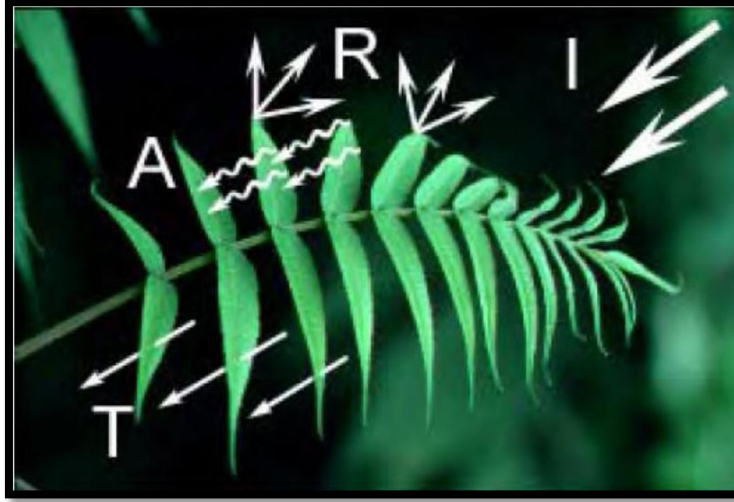
الشكل (1-12): نوافذ الغلاف الجوي [14].

نجد أن إحدى النوافذ هي المجال المرئي الذي يتصف من جهة بأن مستوى الطاقة الصادرة عن أشعة الشمس تكون فيه أكبر ما يمكن و من جهة أخرى فإن امتصاص الغلاف الجوي في هذا المجال يمكن إهماله. يمكن أن نلاحظ أيضا أن الانبعاثات الحرارية الناتجة عن سطح الأرض عند الطول الموجي 10 ميكرومتر (في المجال ما تحت الأحمر الحراري) يمكن اعتباره نافذة في الغلاف الجوي [14].

بينما نجد أن أعرض نافذة تقع عند الأطوال الموجية الأكبر من 1 مم و هو ما يتوافق مع الأمواج الميكروية [14].

1-4-3 تفاعل الأشعة مع الأهداف على سطح الأرض:

إن الأشعة التي لا تمتص من قبل الغلاف الجوي أو تنتشت فيه تصل إلى سطح الأرض و هنا يمكن أن نميز ثلاث حالات من تفاعل الأشعة الساقطة مع الأجسام المنتشرة على سطح الأرض [14] كما هو موضح بالشكل (1-13):



الشكل (1-13): تفاعل الأشعة مع الأهداف الأرضية [14].

حيث:

الامتصاص (A): حيث يقوم الهدف بامتصاص الأشعة إلى داخله [14].

الانتقال (T): تنتقل الطاقة عبر الجسم [14].

الانعكاس (R): عندما يقوم الهدف بعكس الأشعة إلى الغلاف الجوي [14].

1-4-4 الطاقة المنعكسة من سطح الأرض:

بعد أن تنعكس أو تنبعث الطاقة من الأهداف فإننا نحتاج لجهاز استشعار أو مستشعر (من بعد و ليس متلامسا مع الهدف) لتجميع و تسجيل هذا الإشعاع الكهرومغناطيسي [12].

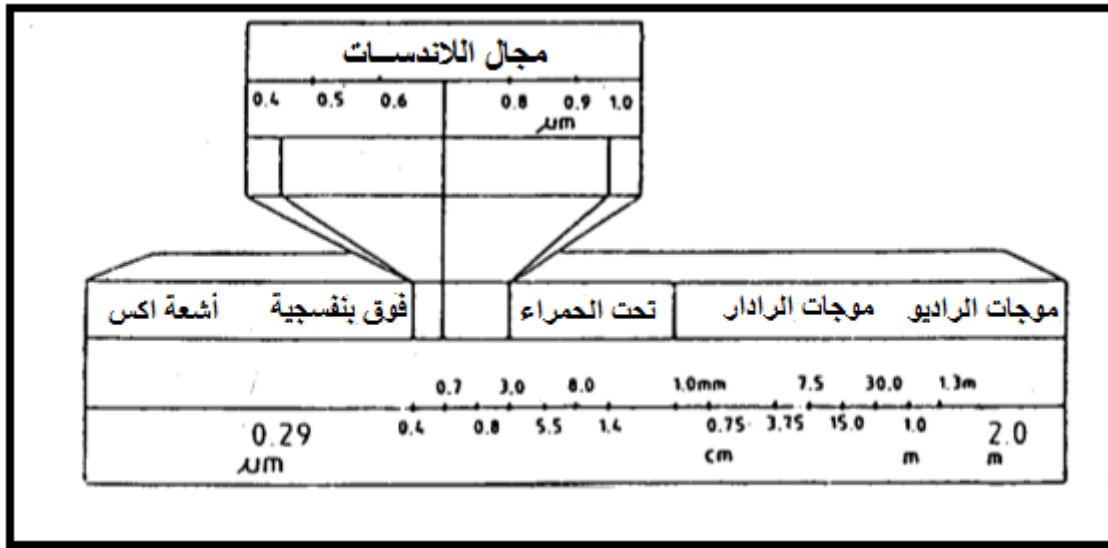
1-4-5 جهاز الاستشعار على متن الأقمار الصناعية:

جهاز الاستشعار هو جهاز يستقبل الطاقة المنعكسة و المنبعثة من الأهداف و يسجلها، و يمكن استخدام منصات جمع للمعلومات متفاوتة الارتفاع كالمطارات أو منصات على متن الأقمار الصناعية [12].

1-5 الأشعة التي تتعامل معها الأقمار الصناعية:

تبعث الشمس بطاقتها من الفضاء بدرجة حرارة في المتوسط حوالي 6000 درجة مئوية و التي تقع أطوال موجات أشعتها ما بين فوق البنفسجي و ما تحت الحمراء، و تصدر هذه الأشعة الشمسية عديمة اللون عندما تسقط على أي جسم تتغير صفاتها و لونها حسب خصائص الجسم المصطدمة به حيث يحدث تسرب

لجزء من الأشعة خلال الجسم نفسه و الجزء الآخر يعكسه الجسم لنراه تحت مفهوم لون. الشكل (14-1) يوضح مجالات الأشعة الكهرومغناطيسية المستخدمة في مجال الاستشعار عن بعد و التي تنحصر ما بين 0.4- 1.4 ميكرومتر و ذلك ما بين موجات الأشعة فوق البنفسجية و موجات الأشعة تحت الحمراء [13].



الشكل (14-1): مجالات الأشعة التي تتعامل معها الأقمار الصناعية [13].

فعندما تصدر الأشعة الشمسية من الفضاء الكوني يحدث تسرب الجزء الأزرق من هذه الأشعة في طبقة الغلاف الجوي المحيط بالأرض، و تستمر الأجزاء الأخرى في رحلتها إلى سطح الأرض فتعكسها الظواهر الطبيعية و البشرية إلى أجهزة الاستشعار، و هذا الجزء الذي ينعكس يتكون من الألوان الرئيسية الثلاثة الأخضر و الأحمر واللون الواقع في مجال الأشعة تحت الحمراء التي لا يمكن للعين المجردة رؤيته. هذه الألوان الثلاثة تحتل ثلاث موجات مختلفة و التي يتم تصويرها بواسطة أجهزة الاستشعار الموجودة على الأقمار الصناعية في صور أبيض و أسود، و لتحويل هذه المجالات الثلاثة و التي يتم استشعارها في أبيض و أسود إلى الألوان يتم إتباع التالي:

- إدخال اللون الأزرق على المرئيات للحصول على المجال الأخضر.
- إدخال اللون الأخضر على المرئيات للحصول على المجال الأحمر.
- إدخال اللون الأحمر على المرئيات للحصول على المجال تحت الأحمر.

عليه يتحصل على التركيب اللوني المسمى (صور الألوان الخطأ أو غير الطبيعية) بسبب عدم انطباق الألوان مع اللون الطبيعي للظواهر.

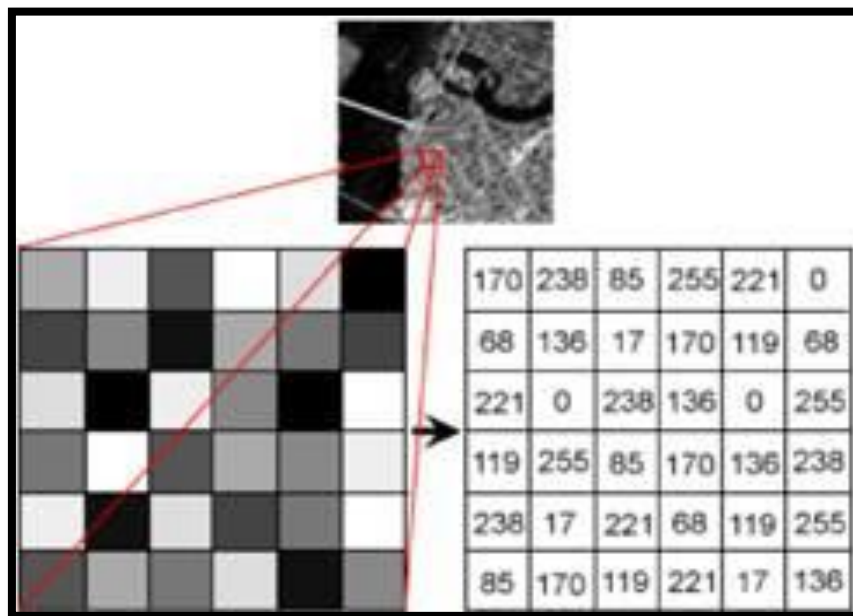
لإمكانية الاستفادة من تكنولوجيا الاستشعار عن بعد تم إعداد أجهزة استشعار ذات قدرات متعددة أو متعددة الأطياف مثل المسمى باسم (Thematic mapper) و الذي يعمل على تصوير ظواهر سطح الأرض كل حسب خصائصه في انعكاس أشعة الشمس و كل قيمة انعكاس تسجل في قناة خاصة، حيث يعمل هذا الجهاز بسبع قنوات (مجالات) [13] الموضحة في الجدول (3-1) كالاتي:

جدول (3-1): قنوات جهاز الاستشعار و الأطياف التي تسجلها [13].

رقم القناة (المجال)	طول الموجات الأشعة بالميكرومتر
1	0.45-0.52 أزرق
2	0.52-0.60 أخضر/أصفر
3	0.63-0.69 أحمر
4	0.76-0.90 تحت الأحمر الفوتوغرافي
5	1.55-1.75 قريب من الأحمر
6	10.40-12.50 تحت الأحمر الحراري
7	2.08-2.35 تحت الأحمر المتوسط

6-1 وصف صور الأقمار الصناعية (المرئية الفضائية):

تعتبر صور الأقمار الصناعية أهم وسائل الاستشعار عن بعد هذه الأيام، و لكن هذه الصور بحد ذاتها هي عبارة عن بيانات، لذلك يجب تفسيرها لاستخلاص المعلومات منها و بالتالي تتحول هذه المعلومات إلى معرفة يستخدمها صاحب القرار أو المستفيد النهائي منها [12]. تتكون المرئية الفضائية من شبكة من الصفوف و الأعمدة والتي تكون مساحات مربعة صغيرة يطلق عليها اسم الخلية أو البيكسل كما في الشكل (15-1) لكل خلية رقم يمثل كم الإشعاع المنعكس أو المنبعث من مساحة سطح الأرض التي تمثلها هذه الخلية و هناك العديد من الخصائص التي تميز مرئية فضائية عن أخرى [20].



الشكل (15-1): مفهوم الخلية أو البيكسل في الاستشعار عن بعد [14].

1-6-1 الميز المكاني:

يحدد أصغر هدف يمكن تمييزه على الصورة الفضائية، أو يمكن تعريفه بأنه أصغر مسافة على الأرض التي يمكن رصدها أو مراقبتها و تمييزها على الصورة الفضائية. يعتمد الميز المكاني للمستشعرات السالبة على حقل الرؤية الفوري للمستشعر [14].

2-6-1 الميز الطيفي:

يبيد الهدف استجابة مختلفة على طول الطيف الكهرومغناطيسي و إن الأهداف يمكن تمييزها عن بعضها البعض تبعاً لاستجاباتها الطيفية (على طول الطيف الكهرومغناطيسي). و بالتالي حتى يتمكن المستشعر من تمييز هذه الأهداف عن بعضها يجب أن يمتاز بإمكانية تسجيل الطاقة المنعكسة عن الأهداف في مجالات ضيقة، فالميز الطيفي هو أضيق مجال طيفي يمكن للمستشعرات أن تقوم برصد و تسجيل استجابة الأهداف ضمنه [14].

3-6-1 الميز الراديو متري:

هو درجة حساسية المستشعر للمطال الكهرومغناطيسي، و هو يحدد قدرة المستشعر على تسجيل الفروقات الدقيقة في الطاقة، و كلما زاد الميز الراديو متري كلما زادت قدرة المستشعر على التحسس بالفروقات البسيطة في الطاقة الواردة إليه.

إن المعلومات المصورة يتم تمثيلها بأدق التفاصيل و هي تعتمد على عدد من البتات (Bits) المستخدمة في تسجيل البيانات فلو سجلنا البيانات باستخدام بت واحد عندها يمكن حساب الدرجات اللونية التي تظهرها الصورة وفق العلاقة التالية: $2^1 = 2 = 2^{\text{bits}}$.

أي أن الصورة يمكن أن تظهر درجتين لونيتين أما باستخدام 8 Bits فإن عدد الألوان أو الدرجات اللونية الظاهرة على الصورة سيكون 256، و يمكن استخدام عدد Bits أكبر كأن نستخدم 16 أو 32 Bits [14].

4-6-1 الميز الزماني:

هو الزمن اللازم لأن يلتقط القمر الصناعي صورة ثانية لمساحة ما من سطح الأرض، تستخدم في الاستشعار عن بعد ما يسمى بالصورة المكررة زمنياً و ذلك لأن الأهداف المدروسة قد تتغير استجاباتها مع الزمن لذلك يلتقط للهدف الواحد أكثر من صورة خلال الفصل لأن عامل الزمن يتأثر بالظروف المحيطة مثل الغيوم، الظواهر قصيرة المدى [14].

الخلاصة:

قمنا في هذا الفصل بالتعرف على علم الاستشعار عن بعد نشأته و تطوره، فهو علم تجميع المعلومات عن سطح الأرض دون اتصال فعلي معه و ذلك من خلال تحسس و تسجيل الطاقة المنعكسة أو المنبعثة و معالجتها و تحليلها و تطبيق هذه المعلومات، فهذا الأخير يعنى بدراسة الأشعة الكهرومغناطيسية المنعكسة أو المنبعثة هنا تكمن أهمية هذه الأشعة في عملية الاستشعار عن بعد حيث تمثل مصدر رئيسي للطاقة التي تنطلق منها لتمر عبر الغلاف الجوي الذي بدوره يؤثر على هذه الأشعة فيحدث على مستواه إحدى الآليتين إما آلية التشتت الذي يسمح بتبعثر للأشعة عند اصطدامه بمكونات الغلاف الجوي أو آلية الامتصاص من طرف مكونات الغلاف الجوي كالأوزون و ثاني أكسيد الكربون و بخار الماء. بعد مرور هذه الأشعة عبر الغلاف الجوي تنعكس عن الأجسام ليتم استقبالها من طرف جهاز الاستشعار عن بعد الذي على مستواه يتم تفسير و تطبيق هذه المعلومات فهذا الأخير يتكون من عدد من المرئيات الفضائية التي تتشكل من شبكة مكونة من صفوف و أعمدة و التي تكون بمساحات مربعة صغيرة يطلق عليها اسم الخلية أو البيكسل لكل خلية رقم يمثل كم من الإشعاع المنعكس أو المنبعث من مساحة سطح الأرض لاستخلاص المعلومات منها و بالتالي تتحول هذه المعلومات إلى معرفة يستخدمها المستفيد النهائي.

الفصل الثاني

طرق حساب درجة حرارة
سطح أرضي

1-2 المقدمة:

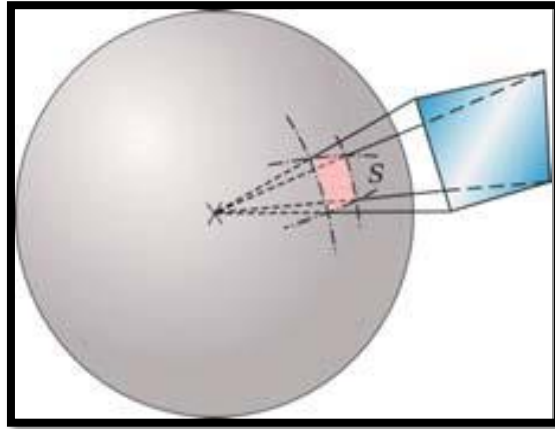
درجة حرارة اللمعان المقاسة من الراديومتر للقمر الصناعي هي ليست درجة حرارة سطح الأرض و ذلك بسبب التأثيرات الجوية، لذلك من أجل تقدير درجة حرارة سطح أرضي هناك العديد من الخوارزميات التي اقترحت و من أشهرها خوارزمي أحادي القناة و خوارزمي النافذة المقسومة [16].

2-2 مقادير أساسية لقياس الإشعاع:

1-2-2 الزاوية الصلبة (Angle solide):

الزاوية الصلبة لمخروط قمته 0 هي تساوي مساحة سطح الكرة المقطوعة من طرف هذا المخروط على الكرة التي مركزها 0 و نصف قطرها يساوي الواحد و حداثتها (sr) الشكل (1-2)، في حالة كرة نصف قطرها R لدينا [21]:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{R^2} \quad (1-2)$$



الشكل (1-2): الزاوية الصلبة [24].

2-2-2 التدفق (La puissance):

يعرف التدفق Φ على أنه نسبة كمية الطاقة المنبعثة من الجسم في كل الاتجاهات في وحدة الزمن يعبر عنه بـ (W) [16].

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2-2)$$

3-2-2 الانبعاثية (L'émittance):

تعرف الانبعاثية M على أنها النسبة بين التدفق المنبعث $d\Phi$ في وحدة السطح الباث dS في كل الاتجاهات التي يمكن أن يبيت فيها مشكلة نصف كرة، يعبر عنها بـ $(W.m^{-2})$ [16].

$$M = \frac{d\Phi_e}{dS} \quad (3-2)$$

4-2-2 شدة الإشعاع (L'intensité):

تعرف شدة الإشعاع I على أنها نسبة التدفق المنبعث $d\Phi$ في اتجاه معين في وحدة الزاوية الصلبة، يعبر عنه بـ $(W.sr^{-1})$ [16].

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (4-2)$$

5-2-2 درجة اللمعان (La luminance):

تعرف درجة اللمعان L على أنها نسبة التدفق المنبعث في اتجاه معين في وحدة الزاوية الصلبة و وحدة السطح، وحدتها $(W m^{-2} sr^{-1})$ [16].

$$L(\theta, \varphi) = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dS \cos \theta} \quad (5-2)$$

6-2-2 الاستنارة (L'éclairement):

تعرف الاستنارة E على أنها التدفق الكلي الوارد في وحدة السطح المستقبل dS ، وتعطى وحدتها $(W.m^{-2})$ [16].

$$E = \frac{d\Phi_r}{dS} \quad (6-2)$$

3-2 قوانين الإشعاع الحراري:

1-3-2 الجسم الأسود:

هو جسم نظري (مثالي) الذي يمتص جميع الإشعاعات التي يتلقاها لذا فهو لا يعكس أي تدفق على الرغم من أن التدفق هو انبعاث حراري فقط [21].

2-3-2 الجسم الطبيعي:

من أجل نفس درجة الحرارة، الجسم الطبيعي يبعث أقل طاقة من الجسم الأسود، سبب هذا الاختلاف هو معامل الانبعاثية للجسم حيث يعتمد على الطول الموجي و الاتجاه θ و φ .

معامل الانبعاثية دائما أقل من الواحد بالنسبة للجسم الطبيعي و يساوي الواحد بالنسبة للجسم الأسود، إذا ضربنا دالة بلانك بمعامل الانبعاثية نحصل على اللمعان الطيفي الاتجاهي للجسم الطبيعي [16]:

$$L_{\lambda}(\theta, \varphi) = \varepsilon_{\lambda}(\theta, \varphi) \cdot B_{\lambda}(T_s) \quad (7-2)$$

حيث:

$\varepsilon_{\lambda}(\theta, \varphi)$: معامل الانبعاثية الطيفي الاتجاهي للسطح.

$B_{\lambda}(T_s)$: دالة بلانك (أو اللمعان الطيفي للجسم الأسود).

2-3-3 قانون بلانك:

قانون بلانك يعبر عن اللمعان الطيفي المنبعث من الجسم الأسود عند درجة حرارة السطح T و طول موجي λ معين وحدته $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1})$ [21].

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \frac{1}{[e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1]} \quad (8-2)$$

حيث:

C_1 و C_2 ثوابت:

$$C_2 = hc/k = 1.4388 \cdot 10^{-2} \text{ (mK)} \quad \text{و} \quad C_1 = 2hc^2 = 1.1910 \times 10^{-16} \text{ (W.m}^2\text{.sr}^{-1}\text{)}$$

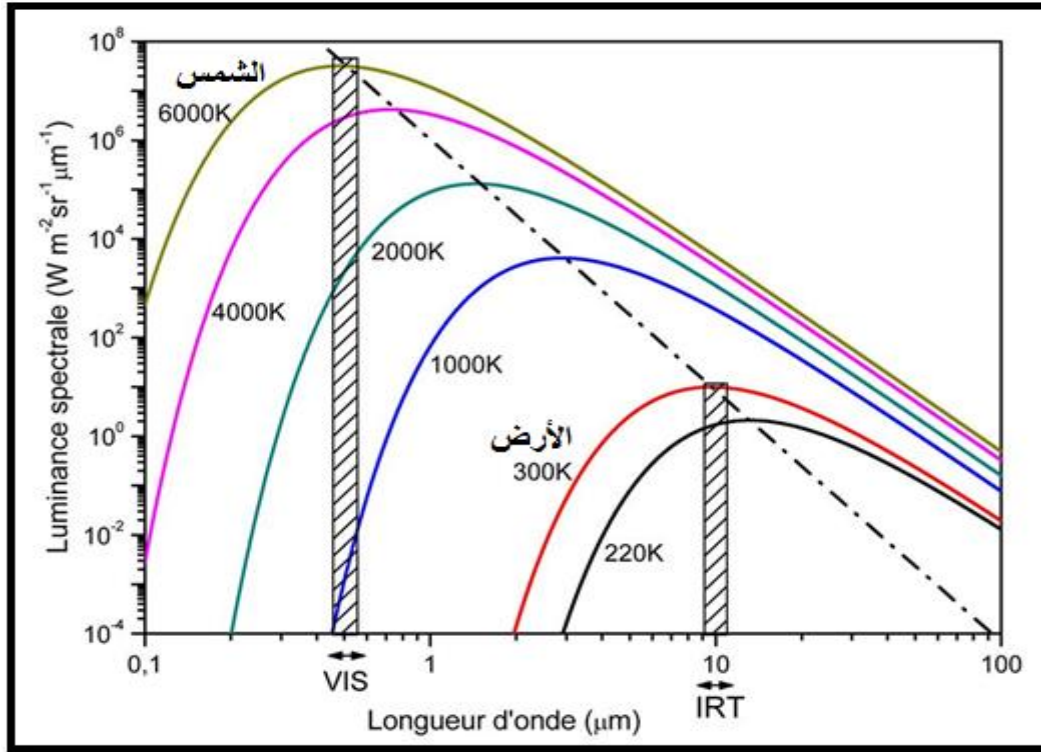
$$h: \text{ هو ثابت بلانك } 6.62606896 \cdot 10^{-34} \text{ (J.s)}$$

$$c: \text{ سرعة الضوء في الفراغ } 299792458 \text{ (m/s)}$$

$$k: \text{ ثابت بولتزمان } 1.3806504 \cdot 10^{-23} \text{ (J/k)}$$

يمثل الشكل (2-2) تغيرات اللمعان الطيفي للجسم الأسود $B(\lambda, T)$ بدلالة الطول الموجي في درجات حرارة مختلفة T .

هذا الشكل يبين أن الانبعاث الأعظمي للأرض يوجد تقريبا في حدود $10 \mu m$ أي في المجال ما تحت الأحمر الحراري، أما الانبعاث الأعظمي للشمس يوجد تقريبا في حدود $0.53 \mu m$ أي في المجال المرئي.



الشكل (2-2): اللمعان الطيفي للجسم الاسود عند درجات حرارة مختلفة [16].

4-3-2 قانون ستيفان بولتزمان:

قانون ستيفان بولتزمان يعبر عن الانبعاثية (W/m^2) للجسم الأسود عند كل الطيف [21].

$$M(T) = \sigma \cdot T^4 \quad (9-2)$$

حيث:

σ : هي ثابت ستيفان- بولتزمان $5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$.

T : هي درجة الحرارة بالكلفن (K).

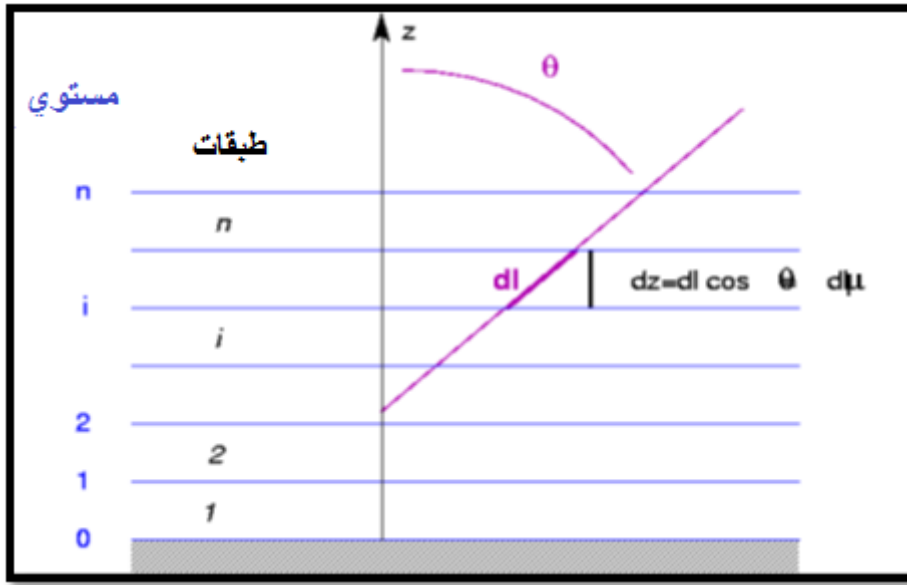
5-3-2 قانون وين (Wien):

قانون وين يعطي الطول الموجي الاعظمي λ_{max} لدالة بلانك $B(\lambda, T)$ [21]:

$$\lambda_{max} = \frac{2897.8}{T} (\mu m) \quad (10-2)$$

4-2 معادلة الانتقال الإشعاعي:

- تصف معادلة الانتقال الإشعاعي التفاعل الحاصل بين الإشعاع و الغلاف الجوي، من أجل حساب الإشعاع المستقبل من طرف اللواقط الخاصة بالقمر الصناعي نعتبر الفرضيات التالية:
- الغلاف الجوي عبارة عن مستوي متوازي بالإضافة إلى عدم وجود انحراف للأشعة على مستواه كما هو مبين في الشكل (3-2).
 - إن كلا من درجة الحرارة و الضغط هي متغيرات تتأثر بالارتفاع z .
 - يمكن تقسيم الغلاف الجوي إلى n طبقة و نعتبر كل طبقة عنصرية من الغلاف الجوي متجانسة سمكها dz موجودة على ارتفاع z و محدودة من خلال مستويين متوازيين و لانهايين [22].



الشكل(3-2): مخطط للغلاف الجوي مستوي متوازي مقسم إلى n طبقة [22].

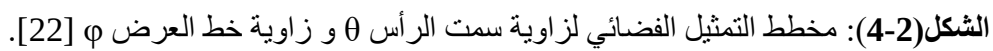
إن الإشعاع الوارد على هذه الطبقة في الاتجاه s متعلق بزاوية سمت الرأس θ و زاوية خط العرض φ (الشكل 4-2) و يتميز بدرجة لمعان طيفي L_λ (وحيد اللون) خلال إنتشاره، هذا الإشعاع يخضع إلى عمليات الإمتصاص و التشتت المميزة بمعامل الإنطفاء β_{ext} . دالة المنبع J_λ تعبر عن الإشعاع المتولد من خلال التشتت و الانبعاث بوجود الإشعاع في الاتجاه S . و هكذا فإن معادلة الانتقال الإشعاعي تعبر عن التغير لدرجة اللمعان الطيفي dL_λ العابر لطبقة الغلاف الجوي التي سمكها dz في الاتجاه $s(\theta, \varphi)$:

$$\mu \frac{dL_\lambda(z, \mu, \varphi)}{dz} = -\beta_{ext}(z)[L_\lambda(z, \mu, \varphi) - J_\lambda(z, \mu, \varphi)] \quad (11-2)$$

حيث:

$$\mu = \cos(\theta)$$

الشكل (4-2) يبين التمثيل الفضائي لزاوية سمت الرأس θ و زاوية خط العرض φ المستعملتين في معادلة الانتقال الإشعاعي المذكورة آنفا [22].


$$\delta_{\lambda}(z) = \int_z^Z -\beta_{\text{ext}}(z') \cdot dz' \quad (12-2)$$
$$u \frac{dL_{\lambda}^{\uparrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi)}{d\delta_{\lambda}} = L_{\lambda}^{\uparrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi) - J_{\lambda}^{\uparrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi) \quad (13-2)$$

$$-u \frac{dL_{\lambda}^{\downarrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi)}{d\delta_{\lambda}} = L_{\lambda}^{\downarrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi) - J_{\lambda}^{\downarrow}(\delta_{\lambda}, u, \varphi) \quad (14-2)$$

$$u = |\mu|$$

درجات اللمعان و دوال المنبع النازلة و الصاعدة على التوالي. $L_{\lambda}^{\uparrow}, J_{\lambda}^{\uparrow}, J_{\lambda}^{\downarrow}, L_{\lambda}^{\downarrow}$

إن دالة المنبع تكتب على الشكل مجموع دالتي الانبعاث J_{λ}^{em} و التشتت J_{λ}^{diff} :

$$J_{\lambda}(z, \mu, \varphi) = J_{\lambda}^{\text{em}}(z, \mu, \varphi) + J_{\lambda}^{\text{diff}}(z, \mu, \varphi) \quad (15-2)$$

عندما تكون جسيمات الغلاف الجوي ذات تناظر كروي أو موجهة بشكل موحد الخواص، فإن ظاهرة الانبعاث تصبح موحدة الخواص و دالة المنبع المرفقة تصبح لا تتعلق إلا بالارتفاع z [22]:

$$J_{\lambda}^{\text{em}} = [1 - \omega_0(z, \lambda)] \cdot B_{\lambda}[T(z)] \quad (16-2)$$

$B(\lambda, T)$ تمثل درجة اللمعان الصادرة عن الجسم الأسود باعتبار فرضية التوازن الترموديناميكي المحلي [22]. و دالة المنبع الخاصة بالتشتت المرتبطة بدالة الطور P_λ تصبح:

$$J_\lambda^{\text{diff}}(z, \mu, \varphi) = \frac{\omega_o(z, \lambda)}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^{+1} L_\lambda(z, \mu', \varphi') \cdot P_\lambda(z, \mu', \varphi', \mu, \varphi) d\mu' d\varphi' \quad (17-2)$$

✓ حالة الأشعة ما تحت الحمراء الحرارية:

في مجال الأشعة ما تحت الحمراء الحرارية يكون مصدر الإشعاع هو سطح الأرض و الغلاف الجوي في حد ذاته. عندما تكون جسيمات الغلاف الجوي ذات تناظر كروي أو موجهة بشكل موحد الخواص فإن ظاهرة الانبعاث تصبح موحدة الخواص و دالة المنبع المرفقة تصبح لا تتعلق إلا بالارتفاع z . في مجال الأشعة ما تحت الحمراء الحرارية معادلة الانتقال الإشعاعي تصبح كالآتي:

$$\mu \frac{dL_\lambda(z, \mu, \varphi)}{dz} = -\beta_{\text{abs}}(z) [L_\lambda(z, \mu, \varphi) - B_\lambda[T(z)]] \quad (18-2)$$

في حالتنا هذه لا نأخذ بعين الاعتبار إلا درجة اللمعان الصاعد، و هذا لأن القياس قدر انطلاقاً من الفضاء. إذا بمكاملة جملة المعادلات (13-2) و (14-2) و باستعمال المعادلة (18-2) يمكن أن نتحصل على المعادلة التالية:

$$\begin{aligned} L_\lambda^\uparrow(\delta_\lambda, u, \varphi) &= L_\lambda^\uparrow(\delta_\lambda^*, u, \varphi) \cdot \exp\left[-\frac{\delta_\lambda^* - \delta_{\lambda a}}{u}\right] \\ &+ \frac{1}{u} \cdot \int_{\delta_\lambda}^{\delta_\lambda^*} B_\lambda[\lambda, T(\delta'_\lambda)] \cdot \exp\left[-\frac{\delta'_\lambda - \delta_\lambda}{u}\right] \cdot d\delta'_\lambda \end{aligned} \quad (19-2)$$

حيث:

$$\delta_\lambda^* = \delta_a + \delta_R + \delta_{\text{gaz}} \quad (20-2)$$

δ_a يمثل السمك البصري للهباء الجوي، δ_R يمثل السمك البصري لتشتت رايلي، δ_{gaz} يمثل السمك البصري لامتصاص الغازات و δ_λ^* يمثل السمك البصري الإجمالي. يجب أن ننبه إلى أنه في مجال الأشعة ما تحت الحمراء الحرارية السمك البصري لتشتت رايلي يمكن إهماله [22].

باستعمال معامل النفاذية τ_λ عبر طبقة جوية بين المستويين z_1 و z_2 و من أجل اتجاه الانتشار $s(\theta, \varphi)$ فإن المعادلة (19-2) تصبح:

$$L_\lambda^\uparrow(z, u, \varphi) = L_\lambda^\uparrow(0, u, \varphi) \cdot \tau_\lambda(0, z, u, \varphi) + \int_0^z B_\lambda[\lambda, T(z')] \cdot \frac{d\tau_\lambda(z, z', u, \varphi)}{dz'} \cdot dz' \quad (21-2)$$

$$\tau_\lambda(z_1, z_2, u, \varphi) = \exp\left(-\frac{\delta_\lambda(z_1) - \delta_\lambda(z_2)}{u}\right) \quad (22-2)$$

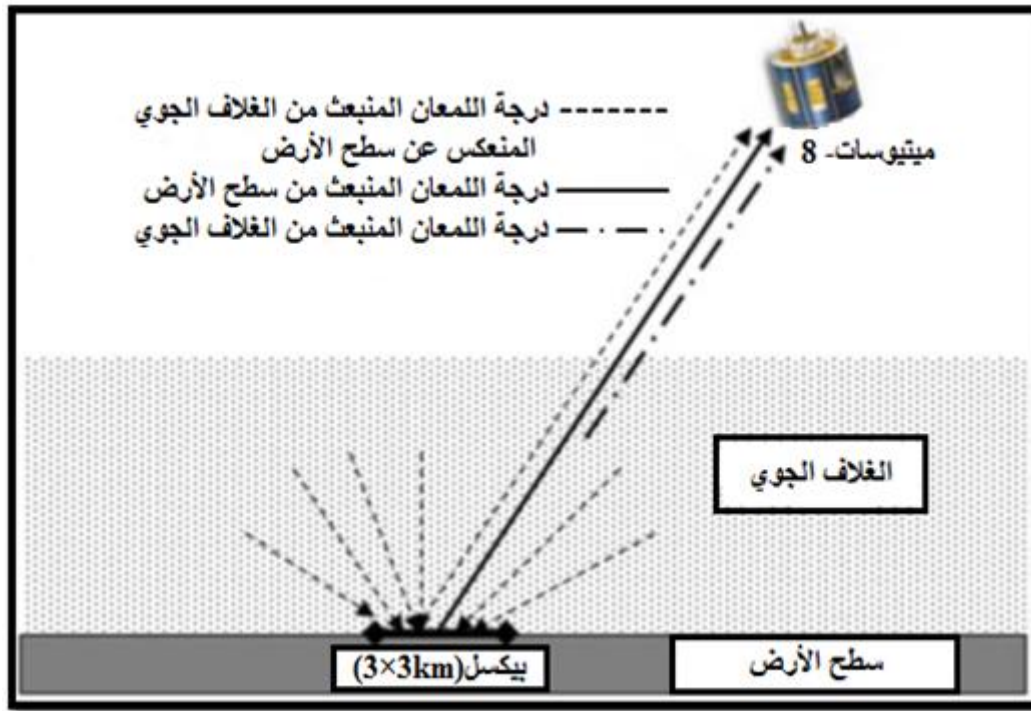
في حالة اعتبار سطح الأرض كجسم أسود درجة حرارته T_s و أخذ جو واضح حيث يهمل تأثير امتصاص الغازات في الغلاف الجوي فتكون درجة اللمعان الصاعد إلى لواقط الأقمار الصناعية كالآتي [22]:

$$L_{\lambda}^{\uparrow}(Z) = B_{\lambda}(\lambda) \cdot \tau_{\lambda}(0, Z) + \int_{\tau_{\lambda}(0, Z)}^1 B_{\lambda}[\lambda, T(z')] d\tau_{\lambda}(z', Z) \quad (23-2)$$

حيث:

$\tau_{\lambda}(0, Z)$: تمثل النفاذية الكلية للغلاف الجوي أي من سطح الأرض إلى أعلى الغلاف الجوي.

المعادلة (21-2) تمثل الأساس النظري للاستشعار عن بعد في مجال الأشعة ما تحت الحمراء الحرارية، سوف نستخدمها لوصف تقنية الاستشعار عن بعد، التي تقوم على قياس الإشعاع الصادر من الغلاف الجوي و الأرض من الفضاء المستقبل من طرف الأقمار الصناعية [22].



الشكل (5-2): درجة اللمعان الإجمالية على مستوى ميتيوسات-8 [16].

5-2 طرق حساب درجة حرارة سطح أرضي:

هناك عدة طرق لحساب درجة حرارة سطح أرضي من بينها:

خوارزمي أحادي القناة تطبق من أجل الأقمار الصناعية التي لها قناة واحدة في مجال تحت الأحمر الحراري مثل ميتيوسات-7 و خوارزمي النافذة المقسومة التي تعتمد على المحتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء و لا تتعلق بدرجة الحرارة الفعالة للهواء [16].

2-5-1 خوارزمي أحادي القناة:

يمكن استخدامها من أجل الأقمار الصناعية التي لديها قناة واحدة داخل مجال ما تحت الأحمر الحراري كالأقمار الصناعية للأرصاد الجوية من الجيل الأول مثل القمر الصناعي متيوسات-7 هذه الطريقة تتطلب معرفة كلا من درجة الحرارة الفعالة للهواء و المحتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء، يمكننا استخراج درجة حرارة السطح عن طريق قلب دالة بلانك انطلاقاً من معادلة الانتقال الإشعاعي، من هنا سنتطرق لكيفية إنشاء خوارزمي أحادي القناة لتقدير درجة حرارة السطح من خلال معطيات القناة ما تحت الحمراء الحرارية الخاصة بـ متيوسات-7 انطلاقاً من معادلة الانتقال الإشعاعي، هذه الخوارزمية تسمح بتقدير درجة حرارة السطح و تتطلب معرفة درجة اللمعان المقاسة من القمر الصناعي، هذه الأخيرة تعتمد على معرفة جيدة لدرجة حرارة الفعالة للهواء و انبعاثية السطح بالإضافة إلى نفاذية الغلاف الجوي [16].

2-5-1-1 كيفية إنشاء خوارزمية:

من أجل التوازن الترموديناميكي المحلي للغلاف الجوي و باستعمال معادلة الانتقال الإشعاعي يمكن كتابة اللمعان المقاس على مستوى الراديو متر في مجال ما تحت الأحمر الحراري يعطى بالعلاقة التالية [16]:

$$L_{sat} = B(T_b) = \tau \cdot [\varepsilon \cdot B(T_s) + (1 - \varepsilon) \cdot L_{atm}^{\downarrow}] + L_{atm}^{\uparrow} \quad (24-2)$$

حيث:

T_b : درجة حرارة اللمعان.

τ : معامل نفاذية الغلاف الجوي.

ε : معامل انبعاثية السطح.

$B(T_s)$: دالة بلانك بدلالة درجة حرارة السطح T_s .

$L_{atm}^{\uparrow}$: اللمعان الجوي الصاعد.

$L_{atm}^{\downarrow}$: اللمعان الجوي النازل.

يمكن تقدير قيمة تقريبية جيدة باستعمال الصيغ التالية:

$$L_{atm}^{\uparrow} = (1 - \tau) \cdot B(T_a) \quad (25-2)$$

$$L_{atm}^{\downarrow} = (1 - \tau) \cdot B(T_a) \quad (26-2)$$

حيث:

T_a : درجة حرارة الفعالة للهواء.

$B(T_a)$: اللمعان الجوي الفعال و يعطى بالعلاقة التالية:

$$B(T_a) = \frac{1}{1-\tau} \int_0^z B(T_z) \frac{\partial(z,Z)}{\partial z} dz \quad (27-2)$$

يمكن تعويض $L_{atm}^{\downarrow}$ و $L_{atm}^{\uparrow}$ في المعادلة (23-2) كالتالي:

$$B(T_b) = \tau \cdot \varepsilon \cdot B(T_s) + (1 - \tau)[1 + \tau(1 - \varepsilon)]B(T_a) \quad (28-2)$$

وفقا للمرجع [23]، العلاقة بين دالة بلانك و درجة الحرارة هي قريبة جدا من كونها خطية في نطاق ضيق من درجات الحرارة (على سبيل المثال أقل من 15 درجة مئوية) من أجل طول موجي معين. بتالي يمكن استخدام نشر تايلور من الدرجة الأولى لدالة بلانك بجوار درجة حرارة اللمعان:

$$B(T) = B(T_b) + (T - T_b) \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} = [(T - T_b) + L(T_b)] \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} \quad (29-2)$$

حيث يعرف $L(T_b)$ كالتالي:

$$L(T_b) = \frac{B(T_b)}{\left(\frac{\partial B}{\partial T} \right)_{T_b}} \quad (30-2)$$

بتطبيق العلاقة (29-2) في درجات الحرارة T_a, T_s و T_b تعطى كالتالي:

$$B(T_s) = [(T_s - T_b) + L(T_b)] \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} \quad (31-2)$$

$$B(T_a) = [(T_a - T_b) + L(T_b)] \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} \quad (32-2)$$

$$B(T_b) = [(T_b - T_b) + L(T_b)] \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} = L(T_b) \left(\frac{\partial B(T)}{\partial T} \right)_{T_b} \quad (33-2)$$

نعوض عن المعادلة (31-2)، (32-2) و (33-2) في (28-2) نجد العلاقة التالية:

$$L(T_b) = \varepsilon \cdot \tau \cdot [T_s - T_b + L(T_b)] + (1 - \tau)[1 + \tau(1 - \varepsilon)][T_a - T_b + L(T_b)] \quad (34-2)$$

من أجل قناة ما تحت الأحمر الحراري متبوسات-7، العلاقة بين درجة حرارة السطح و درجة اللمعان المقاسة في القناة تعطى كالتالي:

$$B(T) = \exp \left(a + \frac{b}{T} \right) \quad (35-2)$$

حيث:

$$b = -1255.5465K \quad \text{و} \quad a = 6.9618$$

بتطبيق العلاقتين (27-2) و (32-2) نجد:

$$L(T_b) = \frac{-T_b^2}{b} \quad (36-2)$$

من أجل درجة حرارة السطح الخارجية نعوض بعبارة $L(T_b)$ في المعادلة (31-2) نجد الصيغة التالية :

$$T_s = \alpha T_b^2 + \beta T_b + \gamma \quad (37-2)$$

حيث:

$$\alpha = \frac{(\varepsilon-1)\tau}{\varepsilon.b} \quad (38-2)$$

$$\beta = \frac{1+(\varepsilon-1)\tau^2}{\varepsilon.\tau} \quad (39-2)$$

$$\gamma = (1 - \beta)T_a \quad (40-2)$$

إن من أجل تقدير درجة حرارة السطح في طريقة أحادية القناة أولاً يجب تقدير درجة الحرارة الفعالة للهواء و تقدير معامل نفاذية الغلاف الجوي [16].

2-1-5-2 تقدير درجة الحرارة الفعالة للهواء:

كما رأينا فان الطريقة أحادية القناة تتطلب معرفة درجة حرارة الهواء الفعالة T_a . حسب المرجع [16]، هناك علاقة خطية بين T_a و درجة الحرارة الهواء على مستوى السطح T_0 و هي كالاتي:

$$T_a = 0.797T_0 + 49.116 \quad (41-2)$$

إن هذه العلاقة تمكننا من حساب T_a انطلاقاً من درجة حرارة الهواء المقاسة من الأرصاد الجوية.

3-1-5-2 تقدير معامل نفاذية الغلاف الجوي:

كما رأينا أيضاً فان الطريقة أحادية القناة تتطلب معرفة معامل نفاذية الغلاف الجوي في المجال ما تحت الأحمر الحراري τ . حسب المرجع [16]، هناك علاقة خطية بين τ و محتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء و هي كالاتي:

$$\tau = -0.111 W + 0.998 \quad (42-2)$$

2-5-2 خوارزمية النافذة المقسومة:

إن الأقمار الصناعية للأرصاد الجوية من سلسلة الجيل الثاني لمتيوسات مثل MSG-1 تملك أكثر من قناة واحدة في المجال ما تحت الأحمر الحراري، إن يمكننا استعمال تقنية النافذة المقسومة من أجل تقدير درجة حرارة السطح، فيما يلي نعرض بعض الخوارزميات من نوع النافذة المقسومة:

1-2-5-2 خوارزمية Romaguera و Sobrino

في عام 2004م، قاما Romaguera و Sobrino بعرض خوارزمية النافذة المقسومة التي تسمح بتقدير درجة حرارة السطح انطلاقاً من معطيات القمر الصناعي MSG-1 وذلك بمعرفة محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء W ومعامل انبعاثية السطح ($\varepsilon_{10.8}$ و ε_{12}) وزاوية الرؤية θ ، هذه الخوارزمية تسمح بتقدير درجة حرارة السطح بدقة أقل من 1.5K من أجل زوايا الرؤية الأدنى من 50° . هذه الخوارزمية تعطى كالاتي [5]:

$$\begin{aligned} T_s = & T_{IR10.8} + [3.17 - 0.64\cos\theta](T_{IR10.8} - T_{IR12}) \\ & + \left[-0.05 + \frac{0.157}{\cos\theta}\right] (T_{IR10.8} - T_{IR12})^2 + \left[65 - \frac{4}{\cos^2\theta}\right] (1 - \varepsilon) \\ & + \left[-11.8 + \frac{5.1}{\cos\theta}\right] W(1 - \varepsilon) + \left[-180 + \frac{24}{\cos\theta}\right] \Delta\varepsilon \\ & + [-4 + 34\cos\theta] W\Delta\varepsilon - 0.6 \end{aligned} \quad (43-2)$$

حيث:

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon_{10.8} - \varepsilon_{12}$$

ε : هي القيمة المتوسطة لمعامل انبعاثية السطح $\varepsilon = \frac{\varepsilon_{10.8} + \varepsilon_{12}}{2}$.

$\varepsilon_{10.8}$: معامل انبعاثية السطح الخاص بالقناة IR10.8

ε_{12} : معامل انبعاثية السطح الخاص بالقناة IR12

2-2-5-2 خوارزمية اللبي و مخناش:

في عام 2015م، قاما اللبي و مخناش بعرض خوارزمية النافذة المقسومة التي تسمح بتقدير درجة حرارة السطح انطلاقاً من معطيات القمر الصناعي MSG-1 وذلك بمعرفة محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء W ومعامل انبعاثية السطح ($\varepsilon_{10.8}$ و ε_{12}) وزاوية الرؤية θ . هذه الخوارزمية تعطى كالاتي [11]:

$$T_s = \mu_1 T_{IR10.8}^2 + \mu_2 T_{IR12}^2 + \mu_3 T_{IR10.8} + \mu_4 T_{IR12} \quad (40-2)$$

حيث:

$$\mu_1 = -\frac{\alpha_1}{\left(\frac{1}{1-\beta_2} - \frac{1}{1-\beta_1}\right)(1-\beta_1)} \quad (41-2)$$

$$\mu_2 = \frac{\alpha_2}{\left(\frac{1}{1-\beta_2} - \frac{1}{1-\beta_1}\right)(1-\beta_2)} \quad (42-2)$$

$$\mu_3 = -\frac{\beta_1}{\left(\frac{1}{1-\beta_2}-\frac{1}{1-\beta_1}\right)(1-\beta_1)} \quad (43-2)$$

$$\mu_4 = \frac{\beta_2}{\left(\frac{1}{1-\beta_2}-\frac{1}{1-\beta_1}\right)(1-\beta_2)} \quad (44-2)$$

قيم المعاملات $\beta_1, \alpha_2, \alpha_1$ و β_2 يمكن كتابتها بدلالة محتوى الغلاف الجوي من بخار الماء و بدلالة معامل انبعاثية السطح كالآتي:

$$\alpha_1 = \frac{(\varepsilon_{10.8}-1)}{\varepsilon_{10.8} \cdot b_1} \cdot \left(1 - \frac{-0.00505W^3+0.04029W^2+0.02496W}{\cos(\theta)}\right) \quad (45-2)$$

$$\alpha_2 = \frac{(\varepsilon_{12}-1)}{\varepsilon_{12} \cdot b_2} \cdot \left(1 - \frac{-0.00817W^3+0.05549W^2+0.04325W}{\cos(\theta)}\right) \quad (46-2)$$

$$\beta_1 = \frac{1+(\varepsilon_{10.8}-1) \cdot \left(1 - \frac{-0.00505W^3+0.04029W^2+0.02496W}{\cos(\theta)}\right)^2}{\varepsilon_{10.8} \cdot \left(1 - \frac{-0.00505W^3+0.04029W^2+0.02496W}{\cos(\theta)}\right)} \quad (47-2)$$

$$\beta_2 = \frac{1+(\varepsilon_{12}-1) \cdot \left(1 - \frac{-0.00817W^3+0.05549W^2+0.04325W}{\cos(\theta)}\right)^2}{\varepsilon_{12} \cdot \left(1 - \frac{-0.00817W^3+0.05549W^2+0.04325W}{\cos(\theta)}\right)} \quad (48-2)$$

قيم b_1 و b_2 تعطى كالآتي:

$$b_1 = -1578.60109$$

$$b_2 = -1354.87783$$

الخلاصة:

قمنا في هذا الفصل بالتطرق لطرق تقدير درجة الحرارة حيث وجدنا أن درجة اللمعان المقاسة على مستوى القمر الصناعي ليست هي القيمة الصحيحة و ذلك بسبب التأثيرات الجوية في هذا الإطار قمنا بعرض بعض الخوارزميات التي تسمح بتصحيح هذه الإشارة الملتقطة من القمر الصناعي. تم عرض خوارزمي أحادي القناة الذي يسمح بتقدير درجة حرارة السطح انطلاقاً من معطيات متيوسات-7 و الذي تم الحصول عليه انطلاقاً من معادلة الانتقال الإشعاعي فهذه التقنية تتطلب المعرفة الجيدة لدرجة حرارة الهواء الفعالة. أما إذا تعذر معرفتها نتوجه لطريقة تسمى بتقنية النافذة المقسومة التي تعتمد على أكثر من قناة واحدة في تقدير درجة حرارة السطح حيث عرضنا في هذا الإطار خوارزمي Sobrino و Romaguera و خوارزمي اللبي و مخناش اللذان يعتمدان على معطيات القناتين IR10.8 و IR12 للقمر الصناعي MSG-1.

الجزء التجريبي

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

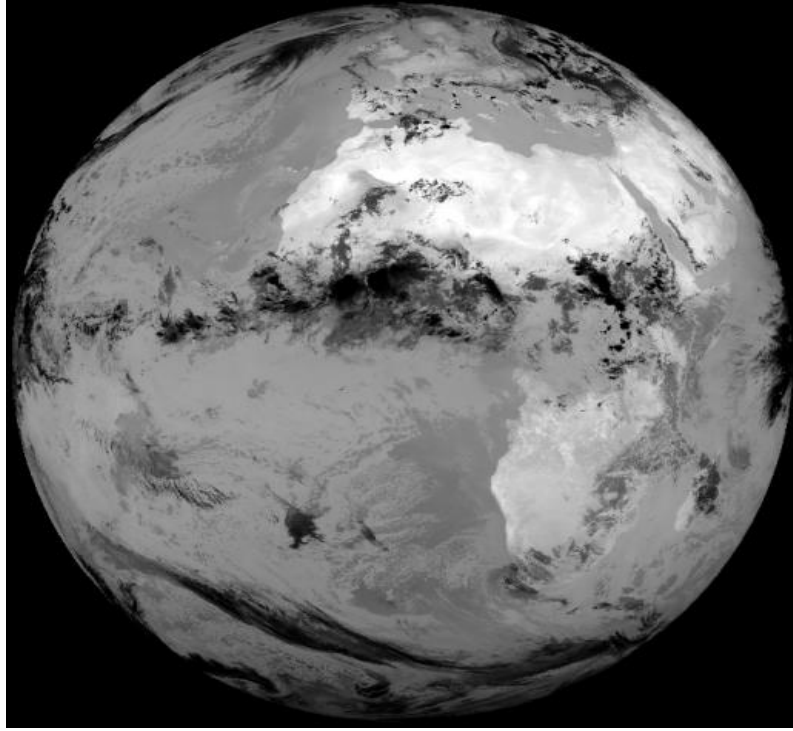
1-3 معطيات القمر الصناعي MSG-1:

تم إطلاق القمر الصناعي MSG-1 من الجيل الثاني لسلسلة متيوسات في 29 أوت 2002م على متن المركبة Ariane- 5 rocket، MSG-1 هو قمر صناعي جديد طورته وكالة الفضاء الأوروبي له جسم اسطواناني قطرها يبلغ 3.2 متر و ارتفاعها يصل إلى 2.4 متر، يتميز باستقراره الذي يسمح بمسح التدريجي للأرض يمتلك هذا الأخير 12 قناة مختلفة، قناتي في المجال المرئي، 2 قناة بخار الماء و سبع قنوات ما تحت الحمراء، و قناة في المجال المرئي تسمى HRV [11]. الجدول (1-3) يوضح المجال الطيفي لهذه القنوات.

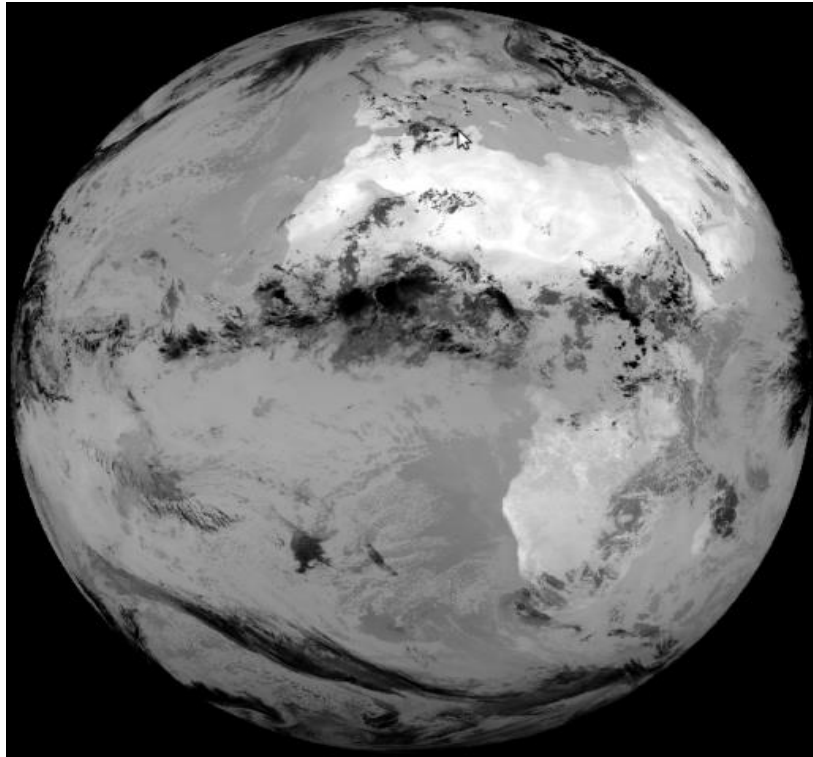
الجدول (3-1): المجال الطيفي لقنوات القمر الصناعي MSG-1 [1].

رقم القناة	الطول الموجي المتوسط (μm)	المجال الطيفي (μm)
01 (VIS 0.6)	0.635	0.56-0.71
02 (VIS 0.8)	0.81	0.74-0.88
03 (IR 1.6)	1.64	1.5-1.78
04 (IR 3.9)	3.92	3.48-4.36
05 (WV 6.2)	6.25	5.35-7.15
06 (WV 7.3)	7.35	6.85-7.85
07 (IR 8.7)	8.7	8.30-9.10
08 (IR 9.7)	9.66	9.38-9.94
09 (IR 10.8)	10.8	9.80-11.80
10 (IR 12.0)	12	11.00-13.00
11 (IR 13.4)	13.4	12.40-14.40
12 (HRV)	0.7	0.50-0.90

في عملنا هذا تم قراءة صور القمر الصناعي MSG-1 باستعمال برنامج Msphinx الذي يعمل تحت نظام التشغيل Linux. الشكلين (1-3) و (2-3) يمثلان صورتان ملتقطتان من طرف قناتي ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8 و IR12 على التوالي للقمر الصناعي MSG-1 في يوم 15 جويلية 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام، حيث نلاحظ أن المناطق التي باللون الأبيض تعبر عن المناطق التي درجة حرارتها مرتفعة و المناطق التي باللون الأسود تعبر عن المناطق ذات درجات الحرارة المنخفضة و اللون الأسود راجع إلى الغيوم و السحب. و كلما كانت المنطقة أكثر بياضا كانت درجات حرارتها مرتفعة أكثر و كلما كانت المنطقة أكثر سوادا كانت درجات حرارتها منخفضة أكثر.



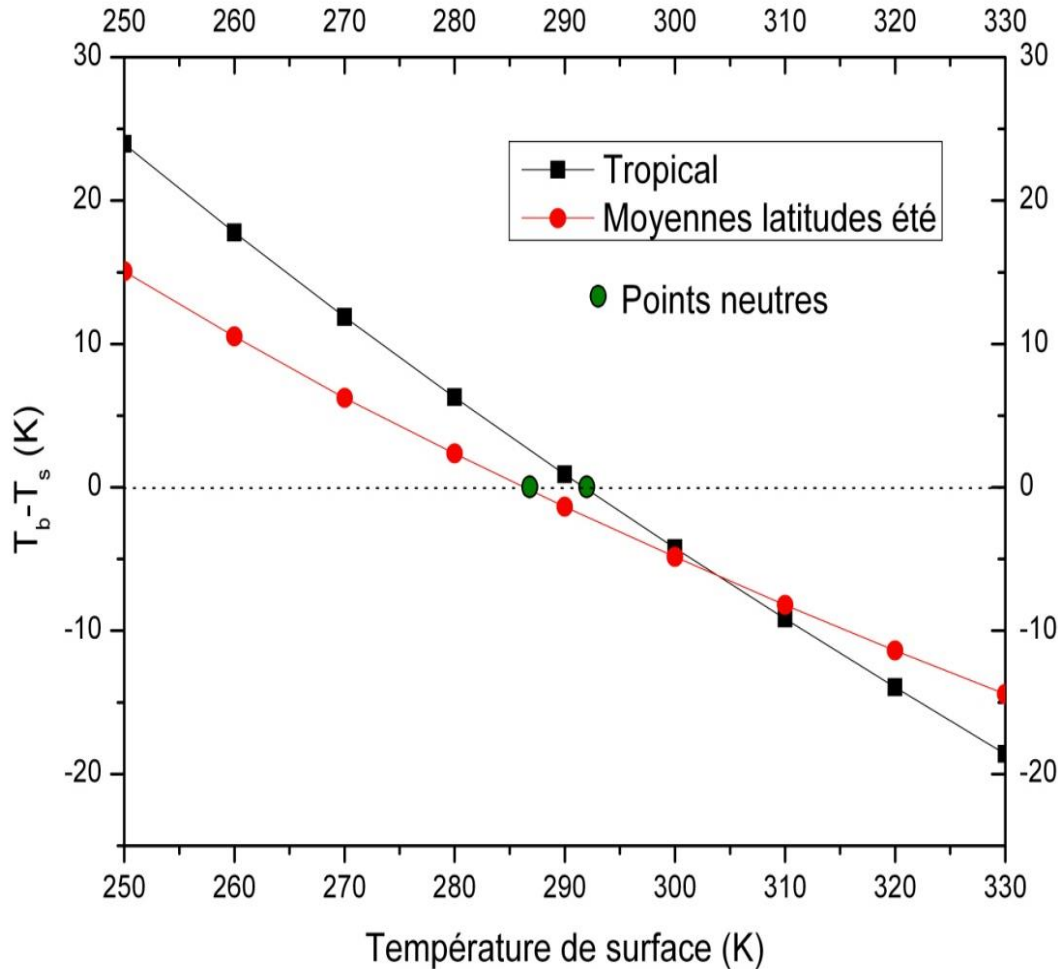
الشكل (3-1): صورة ملتقطة من طرف القناة ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8 للقمر الصناعي MSG-1 في يوم 15 جويلية 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.



الشكل (3-2): صورة ملتقطة من طرف القناة ما تحت الحمراء الحرارية IR12 للقمر الصناعي MSG-1 في يوم 15 جويلية 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.

2-3 تغير درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي بدلالة درجة حرارة السطح:

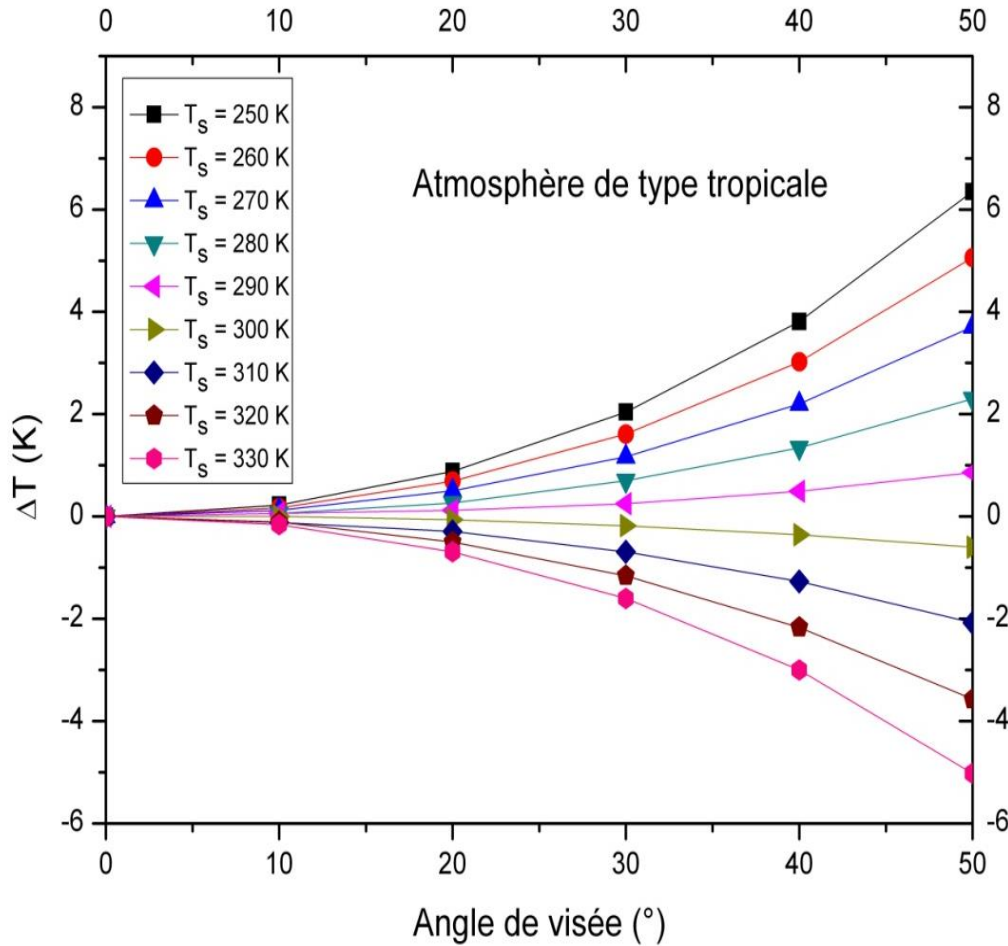
الشكل (3-3) يمثل منحنى تغير الفرق ΔT ($\Delta T = T_b - T_s$) بين درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح، بدلالة درجة حرارة السطح، من أجل نموذجين للجو (جو من النوع الاستوائي و جو من النوع خطوط العرض الوسطى خلال الصيف). النتائج تم الحصول عليها باستعمال برنامج المحاكاة Lowtran-7. حيث نلاحظ تناقص في الفرق ΔT بين درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح بزيادة درجة حرارة السطح إلى أن يصبح الفرق يساوي الصفر و هي نقطة التعادل التي تتساوى فيها درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح و ذلك يعود إلى عدم تأثير الغلاف الجوي على درجة حرارة السطح (درجة اللمعان الممتصة من طرف الغلاف الجوي تساوي درجة اللمعان المنبعثة منه). و كما نلاحظ أن الفرق ΔT يتعلق بطبيعة الجو المستعمل.



الشكل (3-3): تغير الفرق ΔT ($\Delta T = T_b - T_s$) بين درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح، بدلالة درجة حرارة السطح. من أجل نموذجين للجو (جو من النوع الاستوائي و جو من النوع خطوط العرض الوسطى خلال الصيف).

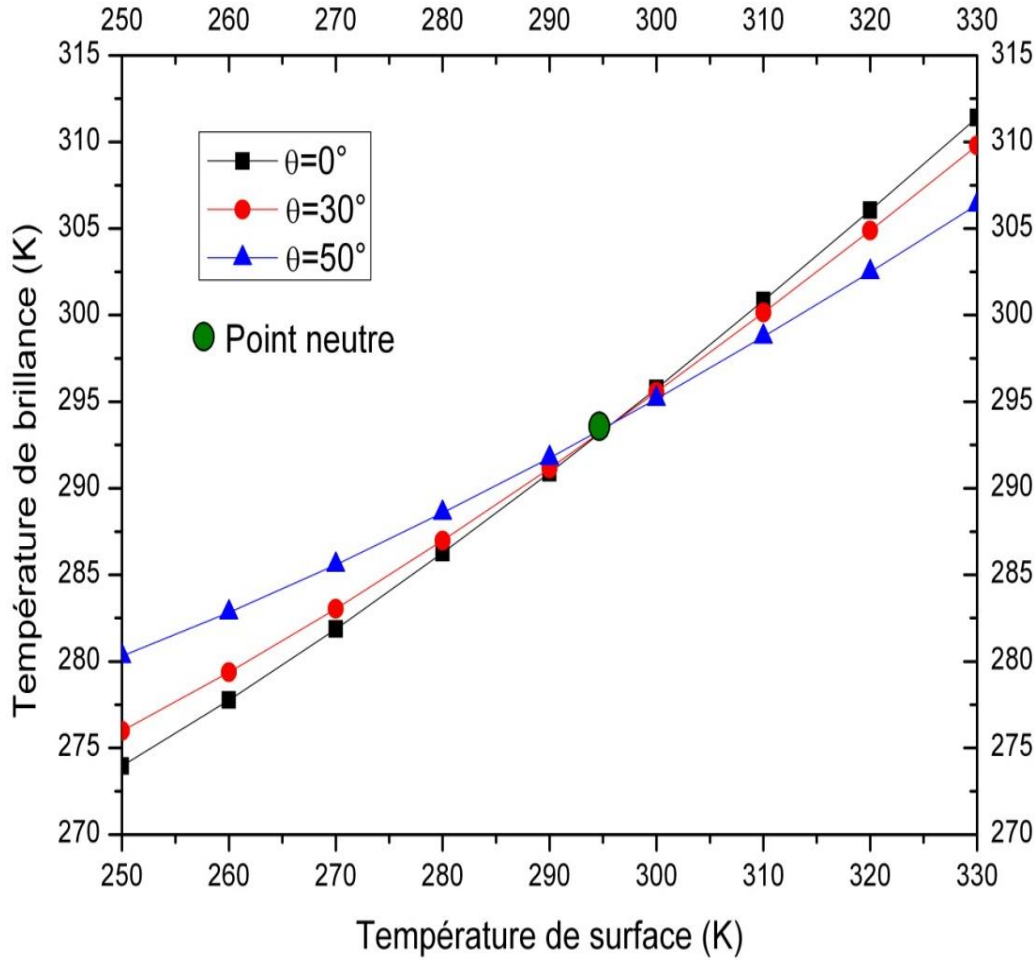
3-3 تغير درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي بدلالة زاوية الرؤيا:

الشكل (4-3) يمثل تغير الفرق ΔT بين درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي من أجل زاوية للرؤيا θ و زاوية للرؤيا $\theta = 0$ ، من أجل جو من النوع الاستوائي، حيث نلاحظ تزايد في الفرق ΔT بزيادة زاوية الرؤيا عند درجات حرارة مختلفة للسطح و ذلك يعود إلى السمك البصري للغلاف الجوي الذي يزيد بزيادة زوايا الرؤيا.



الشكل (4-3): تغير الفرق ΔT بين درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي من أجل زاوية للرؤيا θ و زاوية للرؤيا $\theta = 0$ ، من أجل جو من النوع الاستوائي.

الشكل (5-3) يمثل منحنى تغير درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي بدلالة درجة حرارة السطح من أجل ثلاث زوايا مختلفة للرؤيا، جو من النوع الاستوائي، حيث نلاحظ تزايد درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي بزيادة درجة حرارة السطح و نقطة تقاطع المنحنيات الثلاثة هي نقطة التعادل التي تتساوى فيها درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي و درجة حرارة السطح حيث عندها ينعقد تأثير الغلاف الجوي.



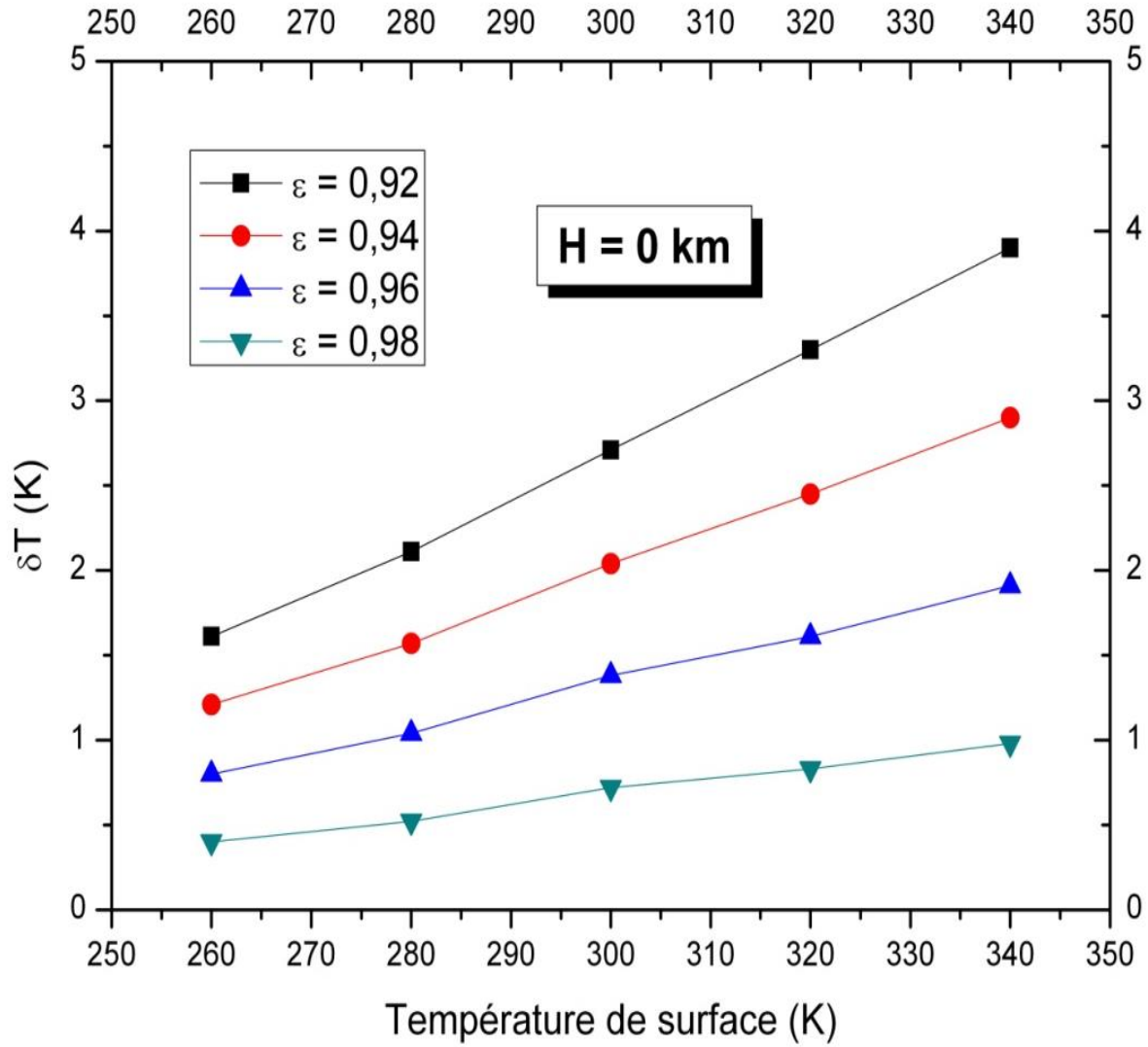
الشكل (3-5): تغير درجة حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي بدلالة درجة حرارة السطح من أجل ثلاث زوايا مختلفة للرؤية، جو من النوع الاستوائي.

نستخلص من الأشكال (3-3) و (4-3) و (5-3) أن درجة المعدن على مستوى القمر الصناعي تتأثر بالحالة الجوية أي درجة الحرارة ورطوبة طبقات الغلاف الجوي، كذلك بزوايا الرؤية للقمر الصناعي.

4-3 دراسة تأثير عوامل السطح على درجات حرارة المعدن على مستوى القمر الصناعي:

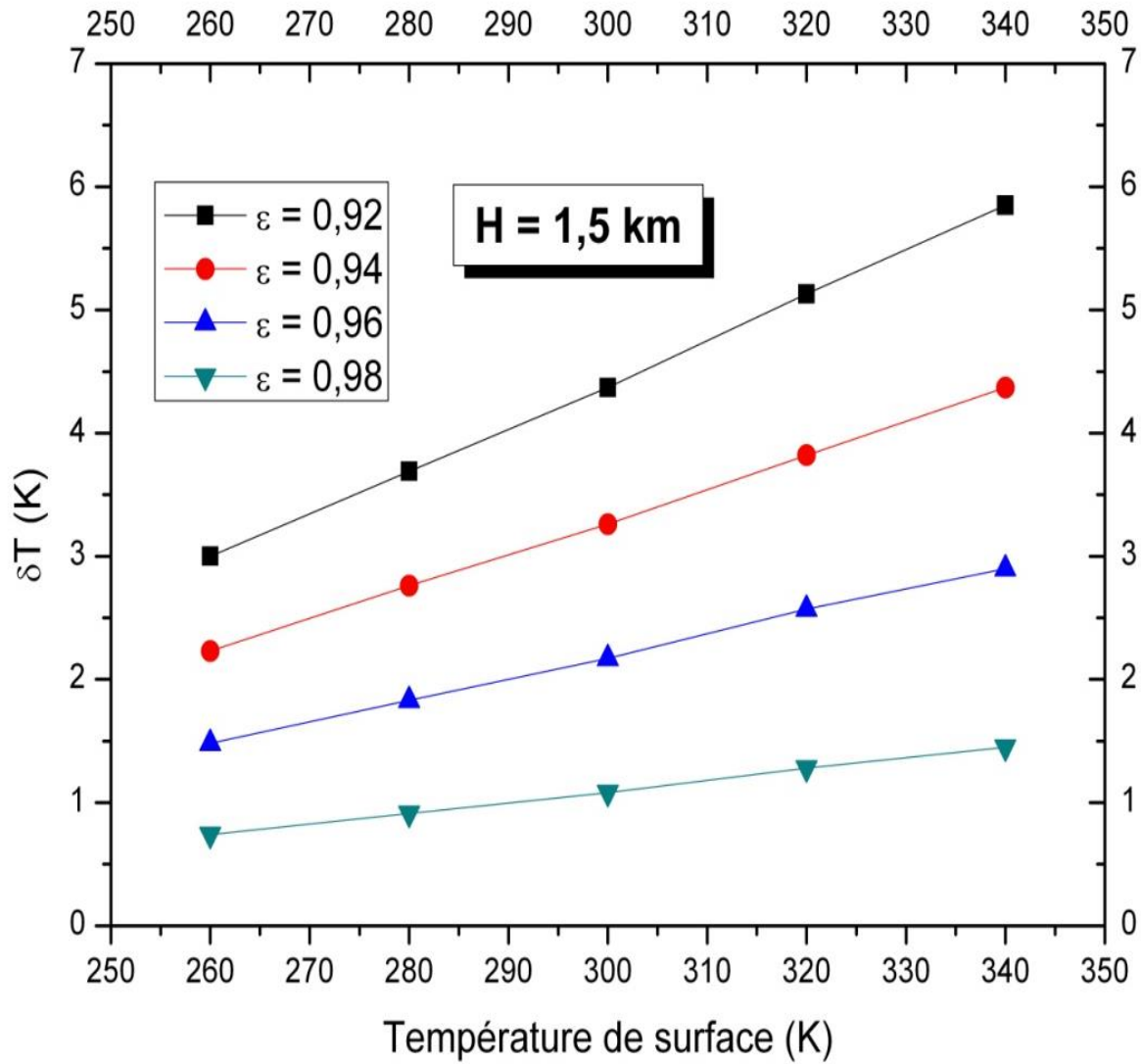
يحسب خطأ تقدير درجة حرارة السطح δT الناتج من عدم معرفة القيمة الحقيقية لمعامل انبعاثية السطح كما يلي: $\delta T = T_{\varepsilon=1} - T_{\varepsilon}$ ، حيث T_{ε} تمثل درجة الحرارة المحسوبة من أجل القيمة الحقيقية لمعامل انبعاثية السطح ε و $T_{\varepsilon=1}$ تمثل درجة الحرارة المحسوبة من أجل قيمة لمعامل انبعاثية السطح تساوي 1 (الجسم الأسود).

الشكل (3-6) يمثل تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح، حيث ارتفاع السطح بالنسبة لمستوى سطح البحر هو $H = 0 \text{ km}$ و زاوية الرؤية $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي، حيث نلاحظ زيادة الخطأ δT بزيادة درجة حرارة السطح عند قيم مختلفة لمعامل الانبعاثية، كما نلاحظ أنه كلما قلت قيمة معامل انبعاثية السطح كلما زاد تغير الخطأ δT بسرعة أكبر و العكس صحيح.



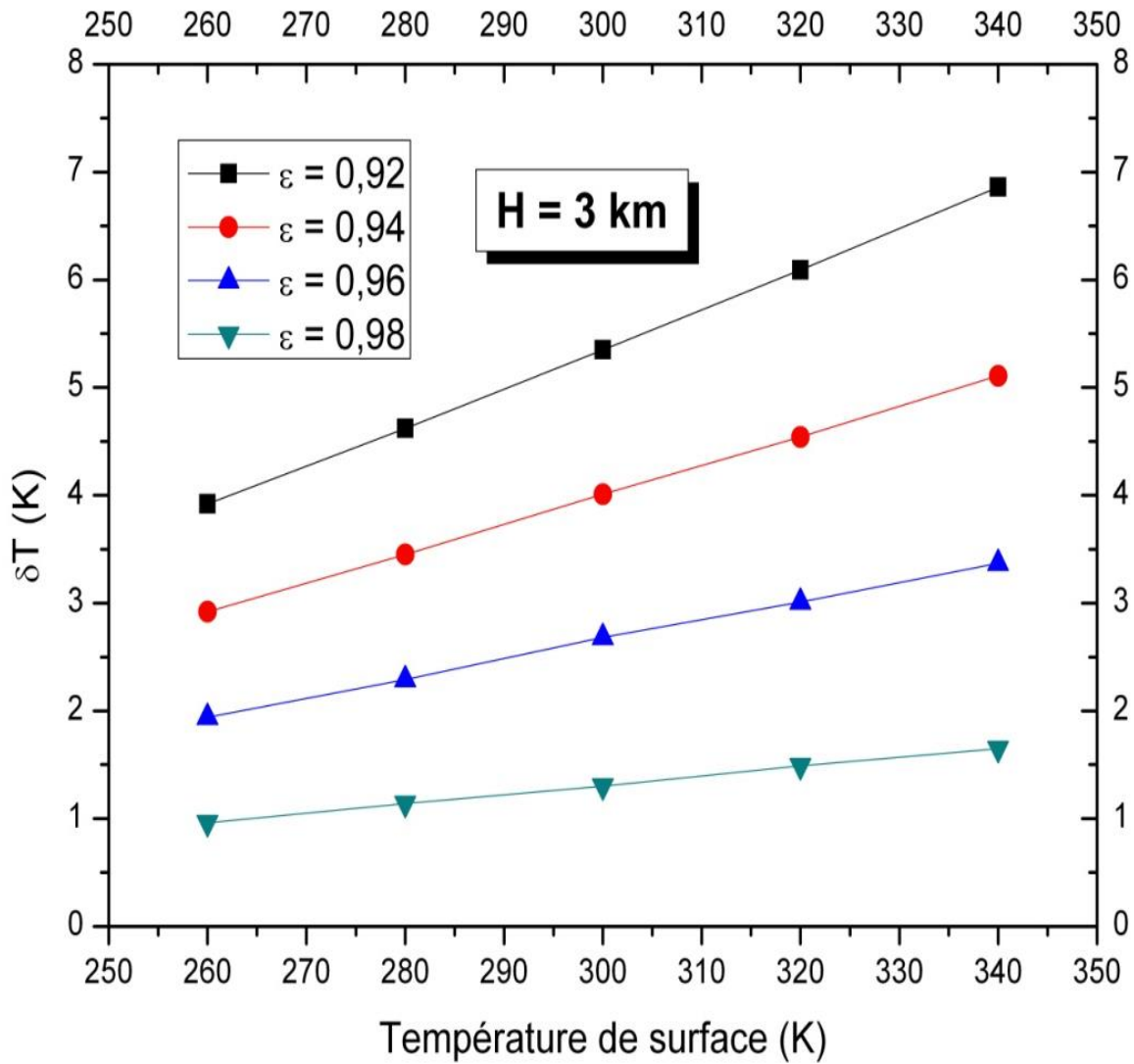
الشكل (3-6): تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح. حيث ارتفاع السطح هو $H = 0$ km و زاوية الرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي.

الشكل (3-7) يمثل تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح، حيث ارتفاع السطح بالنسبة لمستوى سطح البحر هو $H = 1.5$ km و زاوية الرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي، حيث نلاحظ زيادة الخطأ δT بزيادة درجة حرارة السطح عند قيم مختلفة لمعامل الانبعاثية، كما نلاحظ أنه كلما قلت قيمة معامل انبعاثية السطح كلما زاد تغير الخطأ δT بسرعة أكبر و العكس صحيح.



الشكل (7-3): تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح. حيث ارتفاع السطح هو $H = 1.5 \text{ km}$ و زاوية الرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي.

الشكل (8-3) يمثل تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح، حيث ارتفاع السطح بالنسبة لمستوى سطح البحر هو $H = 3 \text{ km}$ و زاوية الرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي، حيث نلاحظ زيادة الخطأ δT بزيادة درجة حرارة السطح عند قيم مختلفة لمعامل الانبعاثية، كما نلاحظ أنه كلما قلت قيمة معامل انبعاثية السطح كلما زاد تغير الخطأ بسرعة أكبر و العكس صحيح.



الشكل (3-8): تغير الخطأ δT بدلالة درجة حرارة السطح و معامل انبعاثية السطح. حيث ارتفاع السطح هو $H = 3 \text{ km}$ و زاوية الرؤيا $\theta = 20^\circ$ و الجو من النوع الاستوائي.

نلاحظ من الأشكال (3-6) و (3-7) و (3-8) أن الخطأ يتعلق بالارتفاع H حيث نلاحظ تزايد في الخطأ كلما زاد الارتفاع H ، و منه يمكن استنتاج أن الخطأ δT يتعلق بعاملين هما قيمة الانبعاثية ϵ و كذلك بالارتفاع H (ارتفاع السطح بالنسبة لمستوى سطح البحر).

5-3 مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera مع القياسات في الموقع نفسه:

الشكل (3-9) يمثل مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي، حيث إحداثياتها الجغرافية هما 15.35 درجة شمالا و 1.48 درجة شرقا، الخط المتقطع يمثل المرجع و الخط المتصل يمثل نتائج درجة حرارة السطح المتحصل عليها باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera

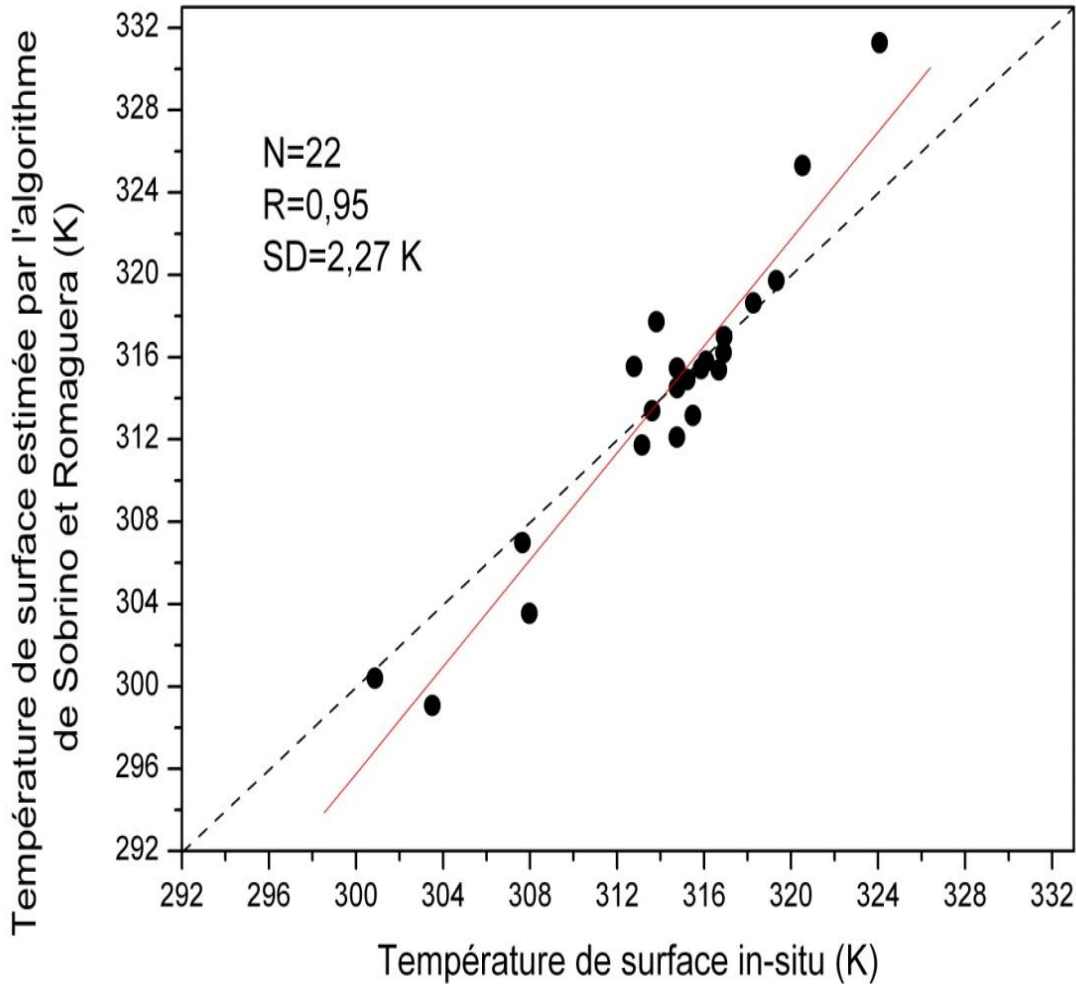
مع القياسات في الموقع نفسه، حيث عدد العينات $N=22$ و معامل الارتباط $R=0.95$ ، الانحراف المعياري $SD=2.27$ K.

نعرض بعض مؤشرات اللاقط المستعمل لقياس درجة حرارة السطح في الموقع نفسه [16]:

- المسافة بين الأرض واللاقط تصل إلى ثلاثة أمتار.

- اللاقط من النوع IRTS-P (Precision Infrared Temperature Sensor).

بعد مقارنة النتائج المتحصل عليها باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera مع القياسات في الموقع نفسه نلاحظ أنها مقبولة جدا هناك اختلاف بسيط راجع إلى عدة عوامل منها الهباء الجوي في الغلاف الجوي وعدم معرفة انبعاثية السطح و هذه المقارنة تبقى نسبية كون المساحة المتحصل عليها على مستوى القمر الصناعي كبيرة ($3\text{km} \times 3\text{km}$) مقارنة بمساحة القياس على مستوى الموقع نفسه التي لا تتعدى البضع مترات مربعة.

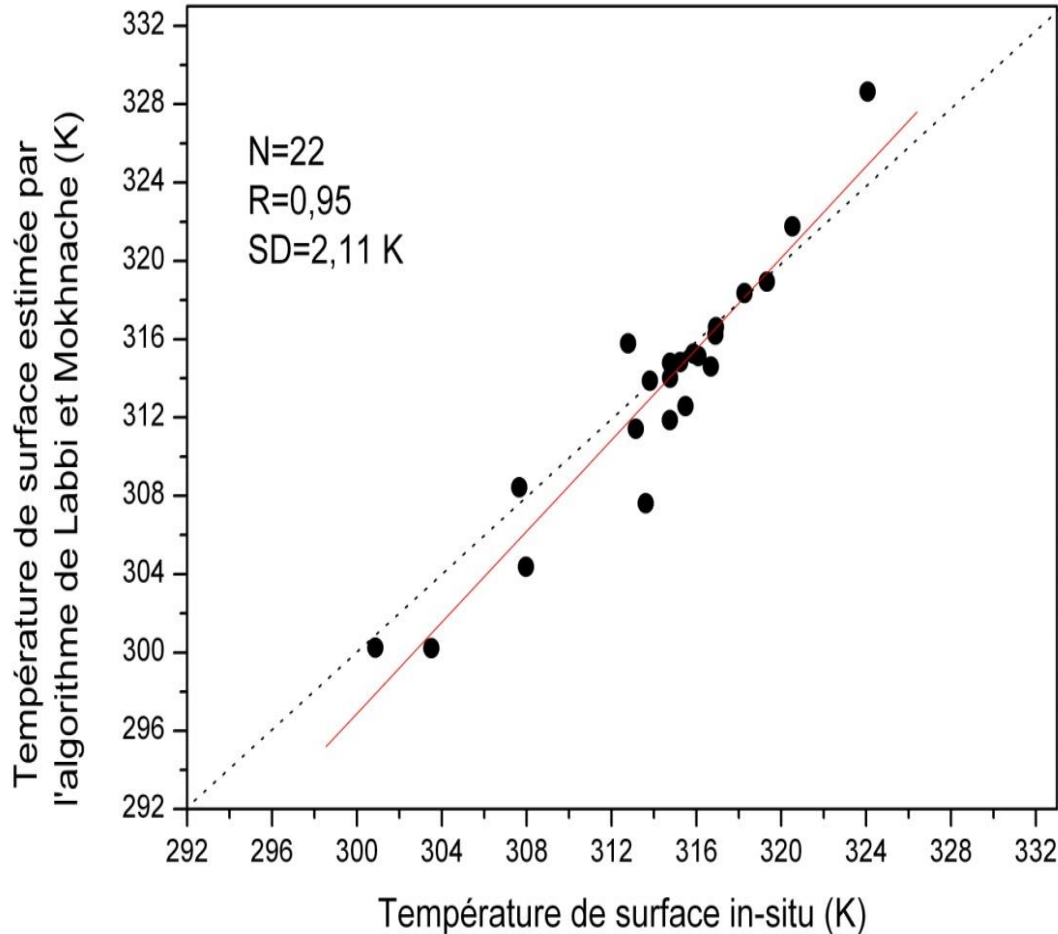


الشكل (3-9): مقارنة بين درجة حرارة السطح المقطرة باستعمال خوارزمي Sobrino و Romaguera مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي.

6-3 مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع القياسات في الموقع نفسه:

الشكل (10-3) يمثل مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي، حيث إحداثياتها الجغرافية هما 15.35 درجة شمالا و 1.48 درجة شرقا، الخط المتقطع يمثل المرجع و الخط المتصل يمثل نتائج درجة حرارة السطح المتحصل عليها باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع القياسات في الموقع نفسه حيث عدد العينات $N=22$ و معامل الارتباط $R=0.95$ ، الانحراف المعياري $SD=2.11K$.

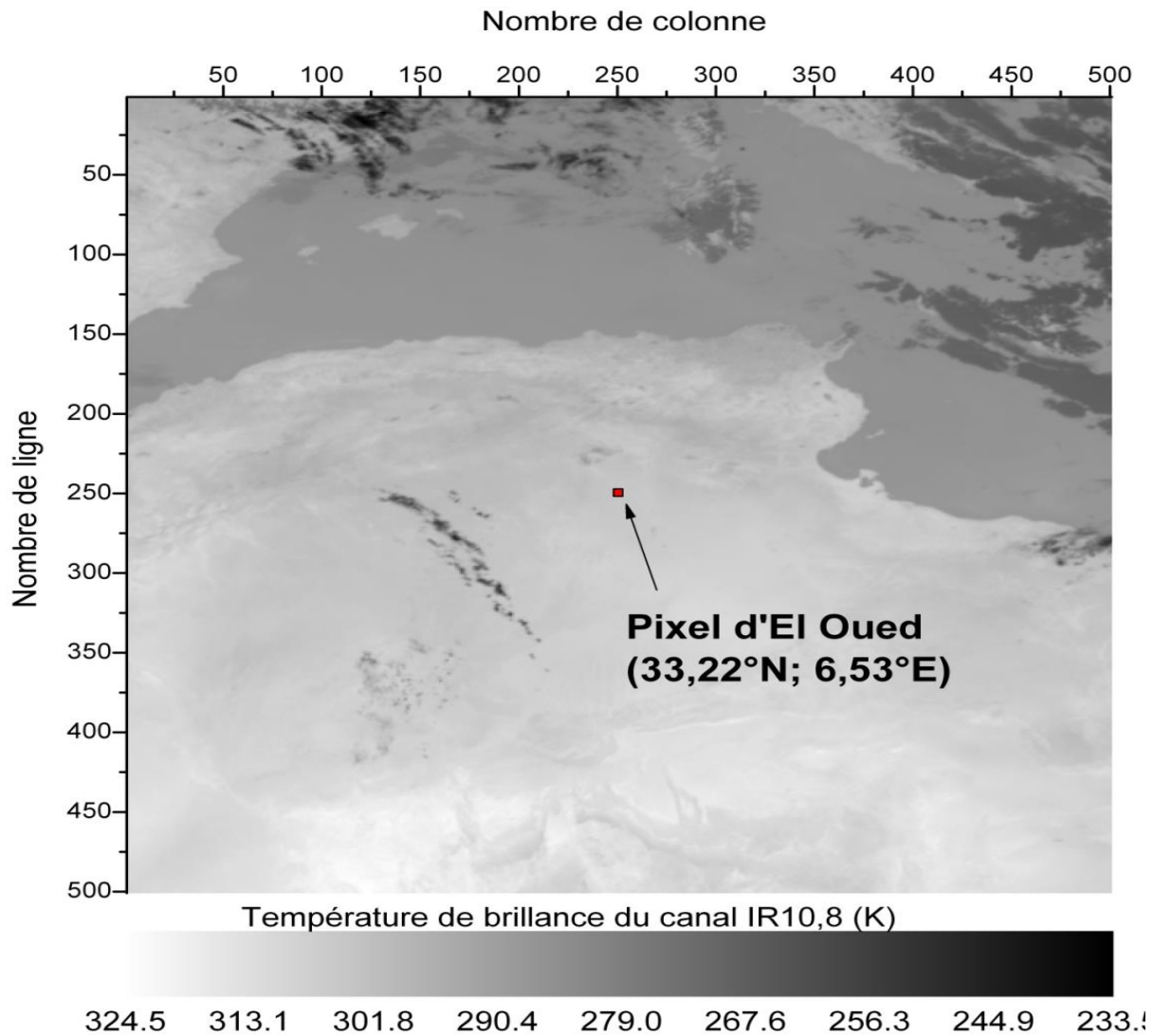
بعد مقارنة النتائج المتحصل عليها باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع القياسات في الموقع نفسه نلاحظ أنها مقبولة جدا هناك اختلاف بسيط راجع إلى عدة عوامل منها الهباء الجوي في الغلاف الجوي وعدم معرفة انبعائية السطح و هذه المقارنة تبقى نسبية كون المساحة المتحصل عليها على مستوى القمر الصناعي كبيرة ($3km \times 3km$) مقارنة بمساحة القياس على مستوى الموقع نفسه التي لا تتعدى البضع مترات مربعة.



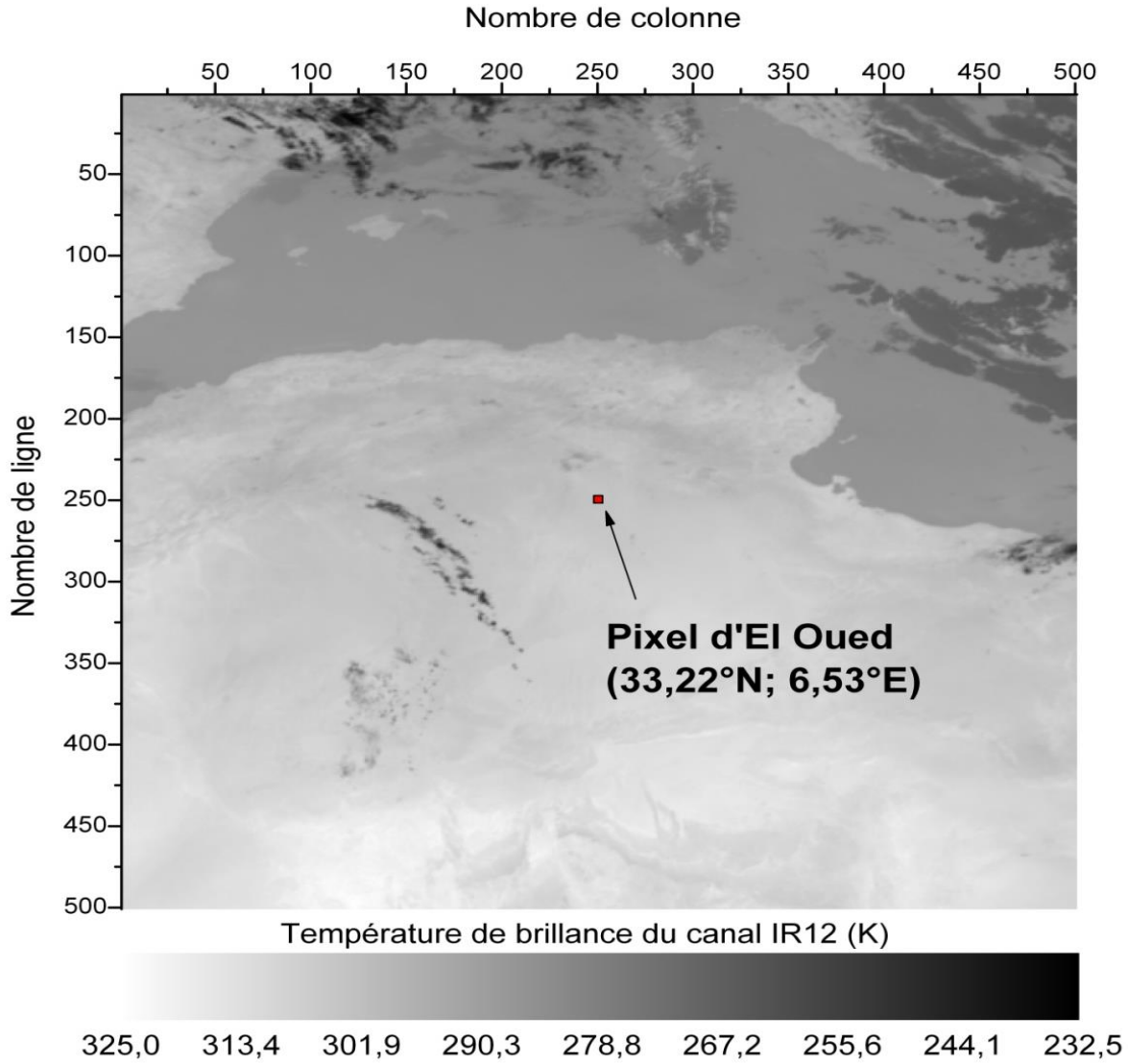
الشكل (10-3): مقارنة بين درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزمي اللبي و مخناش مع قياسات درجة حرارة السطح في الموقع نفسه، منطقة أفوفو الموجودة في مالي.

7-3 التوزيع الفضائي لدرجة حرارة السطح المحسوبة باستعمال معطيات القمر الصناعي MSG-1:

الشكل (11-3) و (12-3) يمثلان التوزيع الفضائي لدرجة حرارة اللمعان للقناتين ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8 و IR12 على التوالي أي درجة حرارة السطح قبل حساب التصحيحات الناتجة عن تأثيرات الغلاف الجوي، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، الإحداثيات الجغرافية لمركز الصورة هما 33.22 درجة شمالا و 6.53 درجة شرقا، الصورتين ملتقطتين في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.

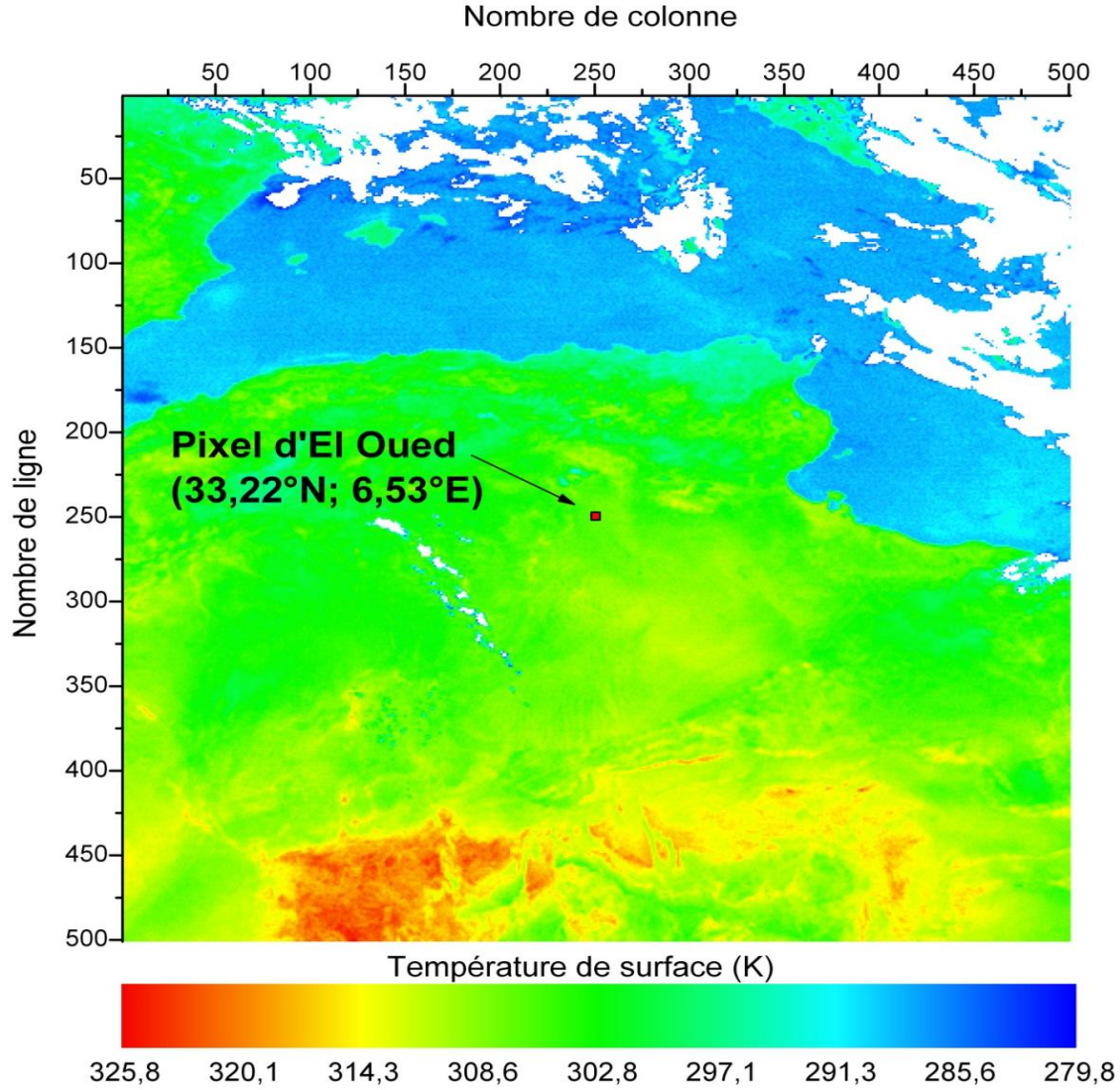


الشكل (11-3): التوزيع الفضائي لدرجة حرارة اللمعان للقناة ما تحت الحمراء الحرارية IR10.8، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.



الشكل (12-3): التوزيع الفضائي لدرجة حرارة اللمعان للقناة ما تحت الحمراء الحرارية IR12، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام.

الشكل (13-3) يمثل التوزيع الفضائي لدرجة حرارة السطح المحسوبة باستعمال خوارزمي Romaguera و Sobrino، أي درجة حرارة السطح بعد حساب التصحيحات الناتجة عن تأثيرات الغلاف الجوي، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، الإحداثيات الجغرافية لمركز الصورة هما 33,22 درجة شمالا و 6,53 درجة شرقا الصورة ملتقطة في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام. السحب في الصورة أخفيت باللون الأبيض. نلاحظ أن درجة حرارة السطح في هذه المنطقة تتراوح تقريبا بين 279 إلى 325 كلفن.



الشكل (3-13): التوزيع الفضائي لدرجة حرارة السطح المحسوبة باستعمال خوارزمي Romaguera و Sobrino، مركز الصورة يقع في منطقة الوادي، في يوم 15 مارس 2006م على الساعة 12:00 توقيت عام. السحب في الصورة أخفيت باللون الأبيض.

الخلاصة:

درسنا في هذا الفصل الأخير من هذا العمل مختلف العوامل الناتجة عن سطح الأرض و الجو و المؤثرة على درجة اللمعان على مستوى القمر الصناعي حيث وجدنا أن هذا الأخير يتعلق بمعامل انبعاثية السطح و بدرجة حرارة و رطوبة الغلاف الجوي أي بالحالة الجوية و كذلك بزوايا الرؤيا للقمر الصناعي.

أخيرا، قمنا بالتحقق من صحة نتائج درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال تقنية النافذة المقسومة فوجدناها مقبولة جدا هذه المقارنة تبقى نسبية نظرا لوجود اختلافات كون المساحة المتحصل عليها على مستوى القمر الصناعي كبيرة (3km×3km) مقارنة بمساحة القياس على مستوى الموقع نفسه التي لا تتعدى البضع مترات مربعة.

الخاتمة العامة

الخاتمة العامة

إن للأقمار الصناعية والاستشعار عن بعد دورا مهما في دراسة التغيرات المكانية و الزمانية لحالة السطح و الغلاف الجوي الأرضي. هذا العمل عرض فيه بعض الطرق من أجل حساب درجة حرارة سطح أرضي عن طريق الاستشعار عن بعد باستعمال معطيات متيوسات-7 و MSG-1. توصلنا في هذا العمل إلى أن درجة حرارة اللمعان المقاسة على مستوى الأقمار الصناعية يجب تصحيحها من تأثيرات الغلاف الجوي. في هذا الإطار قمنا بعرض بعض الخوارزميات التي تسمح بتصحيح الإشارة الملتقطة من طرف الأقمار الصناعية و ذلك بتطبيق إحدى هذه الطرق التي تعتمد على بخار الماء من أجل حساب درجة حرارة السطح انطلاقا من معطيات القناتين IR10.8 و IR12 للقمر الصناعي MSG-1. عند تقدير درجة حرارة سطح أرضي باستعمال معطيات الأقمار الصناعية يجب اختيار ظروف ملائمة تخلو من الغيوم و من الهباء الجوي.

إن هذا العمل يبرز خوارزميات متعددة لتقدير درجة حرارة سطح أرضي باستعمال معطيات الأقمار الصناعية، حيث كانت البداية بخوارزمي أحادي القناة من أجل تقدير درجة حرارة السطح انطلاقا من معطيات متيوسات-7. يمكن الحصول على هذه الخوارزمية انطلاقا من معادلة الانتقال الإشعاعي و هي تتطلب معرفة درجة الحرارة الفعالة للهواء و معامل نفاذية الغلاف الجوي و كذلك المحتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء. إن التطبيق المباشر لهذه الخوارزمية و للحصول على حسابات دقيقة يتوقف على المعرفة الجيدة لحالة الجو و كذلك المعرفة الجيدة لدرجة الحرارة الفعالة للهواء فإذا تعذر معرفة هذه الأخيرة و جب التوجه إلى طريقة أخرى تعرف بتقنية النافذة المقسومة و التي كانت محور دراستنا في عملنا الحالي. سميت هذه التقنية بالنافذة المقسومة لامتلاكها أكثر من قناة في مجال ما تحت الأحمر الحراري. إن خوارزمية النافذة المقسومة تعتمد على معرفة المحتوى الكلي للغلاف الجوي من بخار الماء لتقدير درجة حرارة السطح عبر القناتين IR10.8 و IR12. يمكن الحصول على هذه الخوارزمية انطلاقا من معادلة الانتقال الإشعاعي. في هذا النوع أي في تقنية النافذة المقسومة ذكرنا بعض الخوارزميات و هي خوارزمية Sobrino و Romaguera و خوارزمية اللبي و مخناش.

قمنا في الفصل الأخير من هذا العمل بدراسة مختلف العوامل الناتجة عن سطح الأرض و الجو و المؤثرة على درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي، حيث وجدنا أن قيمة درجة حرارة اللمعان تتعلق بمعامل انبعاثية السطح و بالحالة الجوية (أي درجة حرارة و رطوبة طبقات الغلاف الجوي) و كذلك تتعلق بزاوية الرؤيا للقمر الصناعي.

أخيرا، تم التحقق من صحة نتائج درجة حرارة السطح المقدرة باستعمال خوارزميات النافذة المقسومة حيث وجدنا أنها مقبولة بالمقارنة مع القياسات عند الموقع نفسه، فهذه المقارنة تبقى نسبية و ذلك لوجود اختلافات ناتجة عن عدة أسباب من بينها أن مساحة البيكسل الملتقطة عبر القمر الصناعي كبيرة مقارنة بمساحة القياسات في الموقع نفسه. حتى الآن تبقى الأبحاث مستمرة في هذا المجال على أمل التوصل إلى نتائج أكثر قبولا في المستقبل القريب. كما أنه يمكن في المستقبل تحسين نتائج تقدير درجة حرارة سطح أرضي أي التحسين في دقة الخوارزميات إذا أخذ بعين الاعتبار التأثير المترتب عن وجود الهباء الجوي على مستوى الغلاف الجوي.

قائمة المراجع

قائمة المراجع

✓ المراجع باللغة الأجنبية:

- [1] O. Diop, "Détection de nuages de poussière dans les image Météosat à l'aide des attributs de textures et de la fusion de segmentations: Application a la zone sahélienne du continent africain", Thèse de doctorat, INAS, Rennes, p. 144, France (2007).
- [2] A. Ratier, H. Roquet, J. Schmetz et S. Sénési, L'imagerie géostationnaire et son évolution, La Météorologie, N°40, 74-79 (2003).
- [3] D. Renaut, Les satellites Météorologiques, La Météorologie, N°45, 33-37 (2004).
- [4] Z. L. Li, "L' émissivité spectrale en télédétection infrarouge thermique: Mesure relative, Analyse spectrale et Impacts sur la détermination de la température de surface", Thèse de doctorat, Univ Louis Pasteur de Strasbourg, p. 162, France (1990).
- [5] J. A. Sobrino et M. Romaguera, Land surface temperature retrieval form MSG1-SEVIRI data, Remote Sensing of Environment, vol. **92**, N°2, 247-254 (2004).
- [6] J. Zhou, W. Zhan, D. Hu et X. Zhao, Improvement of Mono-window Algorithm for Retrieving Land surface Temperature form HJ-1B Satellite Data, Chinese Geography Science, vol. **20**, N°2, 123-131, (2010).
- [7] M. S. Malkevich et A. K. Gorodetsky, Determination of ocean surface temperature taking account of atmospheric effects by measurements of the angular IR-Radiation distribution of the (ocean- atmosphere) system made form the satellite (Cosmos- 1151), Remote Sensing Reviews, vol. **3**, 137-161, (1988).
- [8] A. Labbi et A Mokhnache, Un simple algorithme mono-canal pour l'estimation de la température de surface à partir des image du canal infrarouge thermique de surface à partir des images du canal infrarouge thermique de METEOSAT, Revue des Energies Renouvelables, vol. **13**, N°2, 327-338, (2010).
- [9] Z. Wan et J. Dozier, A Generalized Split- Window Algorithm for Retrieving Land-Surface Temperature form Space, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. **34**, N°4, 892-905, (1996).

- [10] J. C. Price, Estimating surface temperature from satellite thermal infrared data-A simple formulation for the atmospheric effect, Remote Sensing of Environment, vol. **13**, 353-361, (1983).
- [11] A. Labbi et A. Mokhnache, Derivation of split-window algorithm to retrieve land surface temperature from MSG-1 thermal infrared data, European Journal of Remote Sensing, vol. **48**, N°2, 719-742, (2015).
- [15] K. N. Liou, "An Introduction to Atmospheric Radiation", Academic press, USA, P.583 (1980).
- [16] Abdelkader Labbi, "Synergie des observations météorologiques et l'imagerie satellitaire pour l'estimation de la température de surface", Thèse de doctorat, Univ Mentouri-Constantine 1, p. 28-104, Algérie (2016).
- [17] T. Sabah, "Etude de l'effet des aérosols sur l'estimation du coefficient de réflectance bidirectionnelle à l'aide de mesures satellitaires", Mémoire de magister, Univ de Constantine, Algérie (2007).
- [19] Centre Canadien de télédétection, "Notion fondamentales de télédétection", Un cours tutoriel du centre canadien de télédétection, Canada, P. 266.
- [21] E. Grau, "Modélisation DART du transfert radiatif 3D Terre-Atmosphère pour simuler les bilans radiatifs, Images de télédétection et mesures LIDAR des paysages terrestres", Océan, Atmosphère, Univ Toulouse III, P. 43-48 (2012).
- [22] G. Vergé-Dépré, "Télédétection multi spectrale des poussières désertiques dans l'infrarouge thermique au-dessus de l'Afrique à partir de MSG/SEVIRI", Univ des Antilles-Guyane, P. xxiii-xxv (2007).
- [23] Z. Qin, A. Karnieli et P. Berliner, A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region, International Journal of Remote sensing, vol. **22**, N°18, 3719-3746, (2001).

✓ المراجع باللغة العربية:

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

[13] محمد الخزامي عزيز، "الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في التخطيط العمراني"، حولية كلية الانسانيات، جامعة قطر، العدد 16، الصفحات 353-385، (1994).

[14] إعداد مجموعة من الأساتذة، "مشروع مسح الموارد الطبيعية والزراعية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظام المعلومات الجغرافي"، الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، سوريا، الصفحات 4-21، (2010).

[20] د. جمعة محمد داود، "مقدمة في الصور الجوية والمرئيات الفضائية"، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية، الصفحة 94، (2013).

✓ المواقع الالكترونية:

[18] <http://www.ipcc.ch/publication-and-data/ar4/wg1/ar/faq-2-1.html>.

الملخص

إن تقدير درجة حرارة سطح أرضي (T_s) انطلاقاً من معطيات الأقمار الصناعية في المجال الطيفي ما تحت الأحمر الحراري يتوقف على الإشارة الملتقطة على مستوى هذه الأقمار الصناعية. لكن الإشكالية تتمحور في كون أن درجة حرارة اللمعان المقاسة على مستوى القمر الصناعي لا تعبر عن درجة الحرارة الحقيقية لسطح الأرض كونها تخضع لتأثيرات الغلاف الجوي، فلذلك وجب تصحيحها. تطرقنا في هذا العمل إلى دراسة عوامل الأرض و الجو المؤثرة على درجة حرارة اللمعان على مستوى القمر الصناعي حيث وجدت أنها تتعلق بالحالة الجوية و بمعامل انبعاثية السطح و بزاوية الرؤية. عرضنا في هذا العمل نوعين من الخوارزميات المقترحة لتقدير T_s ، خوارزميات من النوع أحادي القناة و خوارزميات من النوع النافذة المقسومة. في عملنا هذا قمنا بتطبيق خوارزمي النافذة المقسومة لتقدير T_s انطلاقاً من معطيات القمر الصناعي MSG-1.

الكلمات المفتاحية: درجة حرارة سطح أرضي، خوارزمي أحادي القناة، درجة حرارة اللمعان، خوارزمي النافذة المقسومة، MSG-1.

RESUME

L'estimation de la température de surface (T_s) à partir des données satellitaires dans le domaine infrarouge thermique dépend du signal mesuré par les satellites. Mais le problème centré sur le fait que la température de brillance mesurée au niveau du satellite ne reflète pas la température réelle de la surface terrestre à cause des effets atmosphériques, donc la température de brillance doit être corrigée. Nous avons discuté dans ce travail, l'influence des paramètres de surface et d'atmosphère sur la température de brillance au niveau du satellite et nous avons trouvé que cette dernière dépend de la situation atmosphérique et de l'émissivité de surface et de l'angle de vision. Nous avons divisé les algorithmes d'estimation de T_s en deux types: algorithmes mono-canal et algorithmes dits de split-window. Dans ce travail, nous avons utilisé la technique split-window pour estimer T_s à partir des données du satellite MSG-1.

Mots Clés: température de surface, algorithme mono-canal, température de brillance, technique split-window, MSG-1.