



الجمهورية الديمقراطية الشعبية الجزائرية وزارة التعليم العالي

والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

مجال: علوم المادة

فرع: الفيزياء

**مذكرة**

من أجل الحصول على شهادة ماستر أكاديمي

تخصص فيزياء الأرصاد الجوية

من إعداد:

**بوقصة علية**

بعنوان:

دراسة التباين الزمني للخصائص البصرية للهباء الصحراوي

على مناطق مختارة من الجنوب الجزائري

نوقشت يوم: 21 جوان 2023 أمام لجنة المناقشة المكونة من:

جامعة ورقلة

أستاذ التعليم العالي

رئيسا

بن مبروك لزهري

جامعة ورقلة

أستاذ مساعد ب

مناقشا

هبال بلخير

جامعة ورقلة

أستاذ محاضر أ

مشرفا

فقيه عبد العالي

السنة الجامعية 2023/2022

أهدي هذا العمل المتواضع إلى أُمي الغالية التي كرسْتُ شبابها لأجلي

، إلى إخوتي الذين دعموني ووقفوا بجاني، إلى عائلتي التي تستمر في

دعوتي، وإلى صديقتي .

إلى كل الذين أحبهم ويحبونني دون استثناء

عليّة

بوقصة



الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا  
محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين. والشكر كله أن  
وقفنا وألهمتنا الصبر على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا العمل  
المتواضع ، نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ فقيه عبد العالي على  
كلما قدمه لنا من توجيهات ومعلومات قيمة ساهمت في إثراء موضوع دراستنا  
في جوانبها المختلفة نتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ هبال بلخير على  
جميع مجهوداته كما نشكر جميع الأساتذة الذين قدموا لنا الكثير خلال  
المشوار الدراسي كما نتقدم بجزيل الشكر إلى أعضاء لجنة المناقشة

• الموقرة

ERREUR ! SIGNET NON DEFINI..... فهرس:

I..... قائمة الأشكال

IV..... قائمة الجداول

VI..... قائمة الرموز

1..... مقدمة عامة :

الفصل الأول: الهباء الجوي والغبار الصحراوي

5..... 1-I المقدمة

5..... 2-I الهباء الجوي

5..... 1-2-I تعريف الهباء الجوي

6..... 2-2-I تكوين الهباء الجوي

7..... 3-2-I مصادر الهباء الجوي

7..... 1-3-2-I مناطق المصدر الرئيسية على نطاق عالمي

9..... 2-3-2-I مصادر الهباء الجوي في إفريقيا

11..... 3-3-2-I مناطق المصدر في أفريقيا شمال خط الاستواء

12..... 4-2-I تصنيفات الهباء الجوي

13..... 1-4-2-I حسب المصدر

13..... 2-4-2-I حسب التكوين

## الفهرس

- 13 ..... 3-4-2-I حسب الحجم
- 14 ..... 4-4-2-I اعتمادًا على تركيبها الكيميائية:
- 15 ..... 5-2-I أنواع الهباء الجوي
- 15 ..... 1-5-2-I الكربون الأسود
- 15 ..... 2-5-2-I الغبار المعدني
- 16 ..... 3-5-2-I أملاح البحر
- 16 ..... 4-5-2-I الهباء الحيوي
- 16 ..... 5-5-2-I الهباء البركاني
- 17 ..... 6-2-I التركيب الكيميائي
- 17 ..... 3-I الغبار الصحراوي
- 17 ..... 1-3-I تعريف الغبار الصحراوي
- 18 ..... 2-3-I شكل الغبار
- 18 ..... 3-3-I تأثير الغبار
- 19 ..... 1-3-3-I تأثير الغبار على المناخ
- 19 ..... 2-3-3-I تأثير الغبار على البيئة
- 20 ..... 3-3-3-I تأثير الغبار على الإنسان
- 20 ..... 4-3-3-I تأثير الغبار على الاقتصاد
- 22 ..... 4-3-I قياس الغبار الصحراوي
- 22 ..... 1-4-3-I الاستشعار عن بعد
- 22 ..... 1-1-4-3-I تعريف الاستشعار عن بعد :
- 25 ..... 2-1-4-3-I مجالات استخدام الاستشعار عن بعد

## الفهرس

26	3-1-4-3-I وسائل مراقبة الهباء الجوي
26	4-1-4-3-I أجهزة قياس الإشعاع
27	1-4-1-4-3-I من الأرض
27	1-1-4-1-4-3-I شبكة AERONET (Aérosol Robotic Network)
28	2-1-4-1-4-3-I الرؤية الأفقية
29	2-4-1-4-3-I من الفضاء
29	MODIS 1-2-4-1-4-3-I
30	CALIPSO 2-2-4-1-4-3-I
31	TOMS 3-2-4-1-4-3-I
32	3-4-1-4-3-I ليدار

### الفصل الثاني: دورة الغبار في الغلاف الجوي

34	1-II مقدمة
34	2-II أنماط حركة جزيئات الغبار الرمل عند حالات غبارية
35	1-2-II الزحف:
35	2-2-II الففز:
36	3-2-II التعليق:
37	3-II آليات رفع جزيئات الغبار
42	5-II إنتقال الغبار الصحراوي
42	1-5-II النقل العمودي
43	1-1-5-II تدفق (Mousson):
44	2-5-II النقل الأفقي

## الفهرس

- 44 ..... 3-5-II النقل عبر المحيط الأطلسي
- 45 ..... 1-3-5-II رياح (HARMATAN):
- 45 ..... 4-5-II النقل عبر البحر الأبيض المتوسط
- 45 ..... 4-5-II النقل إلى الشرق الأوسط
- 46 ..... 6-II الظواهر الرملية والغبارية
- 46 ..... 1-6-II ظاهرة الغبار
- 46 ..... 1-1-6-II الغبش (brume sèche)
- 46 ..... 2-1-6-II الغبار الصاعد (Chasse sable)
- 46 ..... 3-1-6-II العاصفة الترابية (Tempête de poussière)
- 46 ..... 2-6-II الريح الأفقية: (Le vent horizontal)
- 47 ..... 3-6-II سرعة الرياح: (Vitesse De vent)
- 47 ..... 4-6-II مدى الرؤية الأفقية: (La visibilité horizontale)
- 48 ..... 7-II آليات ترسيب الهباء الجوي
- 48 ..... 1-7-II الترسيب الرطب أو الرشح:
- 48 ..... 2-7-II ترسيب جاف:
- 49 ..... 8-II مؤشر الهباء IDDI (Infrared Difference Dust Index)

### الفصل الثالث: تقييم الخصائص البصري للغبار والهباء الجوي

- 54 ..... 1- III مقدمة

## الفهرس

54	..... 2-III مناطق الدراسة
55	..... 1-2-III أهم الخصائص الجغرافية : .....
55	..... 2-2-III دراسة مناخية: .....
55	..... 3-2-II البيانات المناخية بمنطقة ورقلة (2014-2018): .....
61	..... 4-2-III مؤشرات الكشف عن الغبار .....
61	..... 1-4-2-III العمق البصري للهباء الصحراوي .....
62	..... 2-4-2-III معامل انغستروم .....
63	..... 5-2-III التحليل الزمني لمنطقة ورقلة في الفترة الزمنية من 2007/03/01 إلى 2007/03/13: .....
65	..... 5-2-III تباين الخواص الزمنية للعواصف الجوية والغبار الصحراوي فوق منطقة ورقلة: .....
72	..... 6-2-III تباين الخواص الزمنية للعواصف الجوية والغبار الصحراوي فوق منطقة تمنراست: .....
83	..... 7-2-III دراسة حالة غبارية بمنطقة ورقلة في أبريل 2016 .....
84	..... 7-2-III دراسة حالة غبارية بمنطقة تمنراست في أبريل 2016 .....
86	..... الخلاصة العامة .....
87	..... قائمة المراجع : .....



## قائمة الأشكال

### قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
<b>الفصل الأول : الهباء الجوي والغبار الصحراوي</b>		
6	صورة توضح الهباء الجوي في الغلاف الجوي	الشكل I-1
8	موقع المناطق الصحراوية والصحاري الرئيسية.	الشكل I-2
9	المتوسط السنوي للتركيز السطحي للتراب المعدني في عام 2018	الشكل I-3
10	موقع 131 نقطة ساخنة من متوسط 1990-1984 لمؤشر الهباء الجوي (AI) من أرصاد الفضاء	الشكل I-4
11	المتوسط الشهري خلال الفترة 1980-1992 من (TOMS AI x10) يوضح الرئيسي مناطق المنبع من شمال أفريقيا: (أ) بوديليه ؛ (ب) غرب أفريقيا ؛ (ج) صحراء نوبية و (د) صحراء ليبيا	الشكل I-5
12	المتوسط السنوي لـ IDDI لـ IR-METEOSAT على IR خلال الفترة 1984-1984 1993 يشير إلى موقع مناطق المصدر الرئيسية للايروسولات الصحراوية من الهباء الصحراوي في أفريقيا من الشمال	الشكل I-6
15	تدفق الدورة العامة للهباء المعدني في المحيطات	الشكل I-7
16	صور لجزيئات الهباء الجوي التي شوهدت تحت المجهر الإلكتروني الماسح.	الشكل I-8
18	أبرزت صور التقطتها الأقمار الصناعية رقعة كبيرة بنية اللون من الغبار الصحراوي تغطي مساحة كبيرة من أجواء البرتغال وإسبانيا وفرنسا، ما يثير مخاوف تتعلق بجودة الهواء وضبابية السماء.	الشكل I-9
19	المناطق الجغرافية التي أجريت فيها دراسات عن الآثار الصحية لغبار الصحراء. ملاحظة: كلما زادت كثافة اللون ، تم إجراء المزيد من الدراسات حول الآثار الصحية للغبار الصحراوي في تلك المنطقة	الشكل I-10
24	مبدأ الاستشعار عن بعد	الشكل I-11
25	تتبع سحابة الأقمار الصناعية	الشكل I-12
27	أداة قياس الضوء الشمسي المستخدمة في شبكة AERONET.	الشكل I-13
27	توزيع مواقع AERONET على أساس نوع الجسيمات السائدة.	الشكل I-14

## قائمة الأشكال

28	DF320 مقياس الرؤية الأفقية	الشكل I-15
30	مكونات جهاز MODIS	الشكل I-16
32	ليدار CALIOP الفضائي مضمن في سلسلة الأقمار الصناعية التي ساهمت في الشبكة منذ عام 1993 وحتى مارس 2016	الشكل I-17
<b>الفصل الثاني: دورة الغبار في الغلاف الجوي</b>		
34	تخطيطي للعمليات الثلاث التي تساهم في نقل الهباء الجوي الصحراوي	الشكل II-1
35	رسم تخطيطي للدوران والانزلاق ( www.ma.auf.org )	الشكل II-2
36	مخطط حركة القفز ( www.ma.auf.org )	الشكل II-3
36	عملية التعليق ( www.ma.auf.org )	الشكل II-4
37	توضيح الظواهر التي تحكم حركة جسيم بفعل الرياح	الشكل II-5
39	توازن القوى التي تتعرض لها حبة رمل ذات القطر $D_p$ تحت إجهاد القص $\tau$	الشكل II-6
41	تمثيل تأثير التربة على تدفق الهواء و إجهاد القص $\tau$ الذي يمارسه التدفق على الأرض	الشكل II-7
44	مسارات النقل الرئيسية للغبار المعدني	الشكل II-8
48	ترسب الهباء الجوي المعدني (جم / م <sup>2</sup> / سنة) من متوسط 10 سنوات لثلاثة نماذج من التقديرات	الشكل II-9
49	مبدأ التصنيع لمؤشر الغبار (IDD1 (v1).	الشكل II-10
50	المبدأ الفيزيائي	الشكل II-11
51	صوة بواسطة IDD1 أثناء بداية الرياح الموسمية 2006/06/10	الشكل II-7
<b>الفصل الثالث: تقييم الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي</b>		
55	تغيرات درجة الحرارة بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة (2014-2018)	الشكل III-1
56	تغيرات الرطوبة النسبية بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في فترة (2014-2018)	الشكل III-2
56	وردة الرياح لمنطقة ورقلة	الشكل III-3

## قائمة الأشكال

57	تغيرات السرعة القصوى للرياح بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة الممتدة (2014-2018)	الشكل III-4
58	تغير كمية التساقط بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في (2014-2018)	الشكل III-5
58	تغيرات كمية التبخر بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة (2014-2018)	الشكل III-6
62	تغيرات العمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة معطيات MERRA-2	الشكل III-7
63	تغيرات العمق البصري في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة معطيات MERRA-2	الشكل III-8
63	تغيرات معامل انغشتروم في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة معطيات MERRA-2	الشكل III-9
65	التباين اليومي للسلك البصري للغبار والسلك البصري ومعامل انغشتروم للهباء الجوي فوق ورقلة خلال 2013-2022.	الشكل III-10
66	التباين اليومي للسلك البصري للغبار والسلك البصري ومعامل انغشتروم للهباء الجوي فوق ورقلة خلال 2013-2022.	الشكل III-11
67	التباين الشهري للعمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة.	الشكل III-12
68	التباين الشهري للغبار الصحراوي في منطقة ورقلة	الشكل III-13
68	التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي وللعلمق البصري ومعامل انغشتروم للغبار الصحراوي في منطقة ورقلة	الشكل III-15
69	التباين الفصلي لمعامل انغشتروم للهباء الجوي في منطقة ورقلة.	الشكل III-16
70	التباين الفصلي للعمق البصري للغبار الصحراوي في منطقة ورقلة	الشكل III-17
71	التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة	الشكل III-18
72	التباين اليومي للعمق البصري للهباء الجوي والعمق البصري للغبار الصحراوي ومعامل انغشتروم في منطقة تمنراست	الشكل III-19
73	التباين الشهري للسلك البصري للغبار والسلك البصري ومعامل انغشتروم للهباء الجوي فوق تمنراست خلال 2013-2022	الشكل III-20

## قائمة الأشكال

75	التباين الشهري للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمرناست	الشكل III- 21
75	التباين الشهري للعمق البصري للغبار الصحراوي	الشكل III- 22
76	التباين الشهري لمعامل انغشتروم للغبار الصحراوي بمنطقة تمرناست	الشكل III- 23
77	التباين الفصلي للعمق البصري ومعامل انغشتروم للهباء الجوي والعمق البصري للغبار الصحراوي	الشكل III- 24
78	التباين الفصلي لمعامل انغشتروم للهباء الجوي	الشكل III- 25
79	التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي	الشكل III- 26
79	التباين الفصلي للعمق البصري للغبار الصحراوي	الشكل III- 27
80	التباين السنوي لمعامل انغشتروم للهباء الجوي بمنطقة ورقلة	الشكل III- 28
80	التباين السنوي للعمق البصري للغبار الصحراوي بمنطقة ورقلة	الشكل III- 29
81	التباين السنوي للعمق البصري للغبار الصحراوي بمنطقة ورقلة	الشكل III- 30
81	التباين السنوي لمعامل انغشتروم للهباء الجوي بمنطقة تمرناست	الشكل III- 31
82	التباين السنوي للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمرناست	الشكل III- 32
82	التباين السنوي للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمرناست	الشكل III- 33
83	التباين الساعي للخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي	الشكل III- 34
84	التباين الساعي للخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي بمنطقة تمرناست في الفترة ( 01-07april2016 )	الشكل III- 35

## قائمة الجداول

### قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
	الفصل الأول: الهباء الجوي والغبار الصحراوي	
4-3	يوضح آليات تكوين الهباء الجوي	الجدول 1-I
	الفصل الثاني: دورة الغبار في الغلاف الجوي	
32	سرعة عتبات رفع الغبار لمختلف البيئات الصحراوية	الجدول 1-II
	الفصل الثالث: تقييم الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي	
48	الخصائص الجغرافية لمحطات الدراسة	الجدول 1-III

## قائمة الرموز

### قائمة الرموز

الوحدة	تسمية الرموز	الرمز
Pa	قوة الاحتكاك	$\rightarrow$ $\tau$
Pa	التقل	$\rightarrow$ $P$
N	قوة التماسك بين الجسيمات	$\rightarrow$ $I_P$
N	القوى الشعيرية	$\rightarrow$ $F_C$
M	قطر حبة الرمل	$\rightarrow$ $D_P$
N	القوة الناتجة عن الحركة الميكانيكية للرياح	$\rightarrow$ $F_U$
N	القوة الناتجة (القوة الحاصلة)	$\rightarrow$ $F_r$
m/s	متوسط عتبة رياح السطح المطلوبة لرفع الجزيئات	$u_z$
m/s	سرعة الاحتكاك (م/ث) وعادة ما تعطى ب(سم/ث)	$u_*$
Pa/s	معامل اللزوجة الحركية للهواء	$\mu_a$
$Kg/m^3$	الكتلة الحجمية للهواء	$\rho_a$
بدون وحدة	ثابت فون كارمان $K=0.38$	$K$
$\mu m$ و $m$	خشونة السطح	$Z$ و $Z_0$
$nm$	قيمة الإشعاع الضوئي قبل اختراق وسط معين	$I_0(\lambda)$
$nm$	قيمة الإشعاع بعد اختراق الوسط	$I(\lambda)$
Pa	الجزء الضائع عبر الوسط عن طريق معامل الامتصاص والانتشار	$\tau(\lambda)$
بدون وحدة	معامل انغستروم	$\alpha$
بدون وحدة	معامل الانتشار	$\beta$
بدون وحدة	السلك البصري للهباء الجوي	$\tau$

## قائمة الاختصارات

### قائمة الاختصارات

الاختصار	التسمية باللغة الأجنبية	التسميات باللغة العربية
TOMS	<b>T</b> otale <b>O</b> zone <b>M</b> apping <b>S</b> pectrometre	مطياف خرائط الأوزون الكلي
PM	<b>P</b> articule <b>M</b> atter	جسيمات دقائقية
RADAR	<b>R</b> adio detection And <b>R</b> aning	شبكة الهباء الجوي الروبوتية
AERONET	<b>A</b> erosol <b>R</b> obotic <b>N</b> ETwork	شبكة الهباء الجوي الروبوتية
MODIS	<b>M</b> oderate <b>R</b> esolution <b>I</b> maging <b>S</b> pectra radiometer	مقياس طيف التصوير ذو الدقة المتوسطة
CALIPSO	<b>C</b> loud- <b>A</b> erosol <b>L</b> idar And <b>I</b> nfrared <b>P</b> athfinder <b>O</b> bservation	الرصد الساتلي للسحب والهباء الجوي بواسطة الليدار والأشعة تحت الحمراء باثفايندر
CALIOP	<b>C</b> loud- <b>A</b> erosol <b>L</b> idar with <b>O</b> rthogonal <b>P</b> olarization	ليدار الهباء الجوي مع الاستقطاب المتعامد
IRT	<b>I</b> nfra-rouge thermique	الأشعة تحت الحمراء الحرارية
NASA	<b>N</b> ational <b>A</b> eronautics <b>S</b> pace <b>A</b> dministration	المركز الوطني للملاحة الجوية وإدارة الفضاء
AII	<b>A</b> bsorbing <b>A</b> erosol <b>I</b> ndex	مؤشر امتصاص الهباء الجوي
IR	<b>I</b> nfra- <b>R</b> ouge	الأشعة تحت الحمراء
AERONET	<b>A</b> erosol <b>R</b> obotic <b>N</b> ETwork	شبكة الهباء الجوي الروبوتية
AOD	<b>A</b> erosol <b>O</b> ptical <b>D</b> epth	العمق البصري للهباء الجوي
CLS	<b>C</b> ouche <b>L</b> imite de <b>S</b> urface	الطبقة الحدودية للسطح
IDDI	<b>I</b> nfrared <b>D</b> ifference <b>D</b> ust <b>I</b> ndex	مؤشر غبار الفرق بالأشعة تحت الحمراء

## مقدمة عامة :

الهباء الجوي والغبار الصحراوي هما ظاهرتان بيئتان ترتبطان بالبيئة الصحراوية. تعد الصحارى بيئات مميزة وهشة، حيث يتسم المناخ بالجفاف الشديد وقلة الأمطار. تتميز الصحارى بتضاريسها الرملية الواسعة والمناظر الطبيعية الجميلة والمناخ القاسي. إلا أن هذه البيئة تتعرض أحياناً لظواهر بيئية مميزة مثل الهباء الجوي والغبار الصحراوي. الهباء الجوي يشير إلى تجمع الجزيئات الدقيقة في الجو وتعلقها به. يتكون الهباء الجوي من جزيئات عضوية وغير عضوية مثل الأتربة والرمل واللقاحات والأملاح والجسيمات الملوثة. قد يكون الهباء الجوي مرئياً في شكل ضباب أو غبار يحجب الرؤية، وقد يكون غير مرئي بالعين المجردة ولكن لا يزال يؤثر على جودة الهواء والصحة العامة. يمكن أن يسبب الهباء الجوي مشاكل تنفسية وتهيج للعيون والجلد، وقد يزيد من خطر الأمراض القلبية والرئوية. أما الغبار الصحراوي، فيشير إلى الجسيمات الدقيقة من الأتربة والرمال التي ترفعها الرياح في المناطق الصحراوية. يحدث الغبار الصحراوي عندما تكون الرياح قوية وتهب عبر الصحراء وتجرف الجزيئات الدقيقة معها. يتم نقل هذا الغبار على مسافات بعيدة ويؤثر على مناطق بعيدة عن الصحراء التي ينشأ منها. بالإضافة إلى ذلك، يتم الكشف عن الهباء الجوي والغبار الصحراوي باستخدام وسائل الاستشعار عن بعد. تعتبر التقنيات الحديثة للاستشعار عن بُعد مثل الأقمار الصناعية والطائرات بدون طيار وأجهزة الرادار والأقمار الصناعية من أدوات قوية لرصد وتتبع حركة وانتشار الهباء الجوي والغبار الصحراوي. من خلال تلك التقنيات، يمكن قياس تراكيز الجسيمات العالقة في الهواء وتحديد مناطق الاكتساب الأولي ومسارات انتشار الغبار الصحراوي. يتم تحليل الصور الملتقطة والبيانات المقدّمة من تلك الوسائل لتحديد نوعية وكمية الغبار وتأثيره على البيئة والصحة العامة. تكنولوجيا الاستشعار عن بعد تساهم في تحسين فهمنا للهباء الجوي والغبار الصحراوي، وتوفر بيانات هامة لاتخاذ التدابير اللازمة للتعامل مع تلك الظواهر البيئية. كما تساهم في توجيه الجهود للتخفيف من تأثيراتها السلبية على الصحة العامة والبيئة في المناطق المتأثرة. البشرية. يبدأ الدور بتكوين الغبار في مناطق محددة، مثل الصحاري والأراضي الجافة، حيث تتكون الجسيمات الصغيرة وترتفع في الجو بفعل الرياح. ثم يتم انتشار الغبار في الجو بفعل حركة الرياح، ويمكن أن ينقل عبر مسافات بعيدة قبل أن يترسب. عندما تتغير الظروف الجوية أو تتلاقى الرياح بعوامل أخرى، يمكن للغبار أن يترسب أو يترسب على الأرض والمسطحات المائية. وفي نهاية الدورة، يمكن أن يتم إعادة تحريك الغبار من خلال العوامل البيئية مثل الرياح أو النشاط البشري وبالتالي تبدأ دورة الغبار من جديد.



فهم دورة الغبار يساعدنا في فهم تحركات الجسيمات الجوية وانتشارها، ويساهم في تحسين الإجراءات البيئية والصحية للتعامل مع التلوث الناجم عن الغبار.

يهدف هذا العمل على دراسة يهدف هذا العمل على دراسة التباين الزمني للخصائص البصرية للهباء الصحراوي في منطقتين مختارتين من الصحراء الجزائرية ممثلة في كل من منطقة ورقلة الجنوب الشرقي ومنطقة تمنراست أقصى الجنوب. تم التركيز في هذه الدراسة الزمنية على التباين في سلوك عنصري العمق البصري ومعامل انغستروم في المناطق المذكورة في الفترة من 2013-2022 بالاستعانة بمعطيات إعادة التحليل (MERRA-2) التابعة لوكالة ناسا. في الفصل الأول من المذكرة، قمنا بدراسة الهباء الجوي والغبار الصحراوي. تعرفنا على الهباء الجوي وأنواعه وكيفية تكوينه. كما تناولنا مصادر الهباء الجوي في العالم وخاصة في منطقة شمال إفريقيا. وصلنا أيضًا إلى فهم الغبار الصحراوي وتأثيراته المختلفة. وتشير الدراسة إلى أن الهباء الجوي هو مزيج من الجسيمات الصلبة والسائلة والعضوية التي تعلق في الجو. ومن المصادر الطبيعية للهباء الجوي تشمل البراكين والعواصف الرملية والعواصف الغبارية والحرائق الطبيعية، بينما تشمل المصادر البشرية الصناعة واحتراق الوقود وحرائق الغابات وحركة المرور والبناء. وفيما يتعلق بمنطقة شمال إفريقيا، تعاني المنطقة من تأثيرات العواصف الرملية والعواصف الغبارية التي تحدث في الصحاري المجاورة مثل صحراء الصحراء الكبرى و صحراء الساحل و صحراء النوبة. وتؤدي هذه العواصف إلى زيادة تركيز الهباء الجو

وتأثير سلبي على جودة الهواء. أخيرًا، تعرفنا على الغبار الصحراوي وهو نوع من الهباء الجوي يتكون من الرمال والتربة والجسيمات العضوية التي تنشأ في المناطق الصحراوية وتنقلها الرياح. ويترتب على وجود الغبار الصحراوي تأثيرات على البيئة والصحة العامة، بما في ذلك تأثيره السلبي على الجهاز التنفسي ومدى الرؤية.

أما في الفصل الثاني، تناولنا مفهوم دورة الغبار بصفة عامة. يتمثل دور الغبار في سلسلة من العمليات التي يمر بها الغبار في البيئة، مما يؤثر على انتشاره وتراكمه وتأثيراته على النظام البيئي. تتأثر دورة الغبار بعوامل عديدة، مثل الطقس والرياح والتضاريس والأنشطة. ليتم

في الفصل الثالث تقييم الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي، وذلك بالاعتماد على معطيات MERRA-2،

MERRA-2 هو نظام نمذجة جوية يقوم بتجميع وتحليل البيانات المناخية والجوية من مجموعة متنوعة من المصادر، بما في ذلك

الأقمار الصناعية والمحطات الأرضية. استخدمت معطيات MERRA-2 لتحليل توزيع الغبار الصحراوي والهباء الجوي على مستوى العالم وفهم أنماط انتشارها. تتضمن هذه البيانات معلومات مهمة مثل تراكم الجسيمات وتوزيعها الزمني والمكاني، وتغيراتها على مر الزمن. وتم استخدام هذه البيانات لتحليل الخصائص البصرية للغبار الصحراوي والهباء الجوي، بما في ذلك قيم الانعكاس والامتصاص للجسيمات في مجالات الطول الموجي المختلفة. تم استخدام هذه النتائج لتقييم تأثير الغبار الصحراوي والهباء الجوي على التوزيع الضوئي والإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي. باستخدام معطيات MERRA-2 وتحليلها، تمكنا من فهم الخصائص البصرية للغبار الصحراوي والهباء الجوي وتأثيرها على النظام البيئي والصحة العامة.

## الفصل الأول :

الهباء الجوي والغبار الصحراوي

**I-1 المقدمة**

يعتبر الهباء الجوي والغبار الصحراوي من المشكلات البيئية التي تؤثر على صحة الإنسان والبيئة والاقتصاد. فهو ينشأ عندما يتم تحريك الرمال والتربة الجافة بفعل الرياح وينتقل عبر الأجواء ليصل إلى مناطق بعيدة عن مصدره. ويتأثر المناخ بشكل كبير بحجم وتركيب الهباء الجوي، ويؤثر على البيئة الطبيعية والزراعية والحيوانية، ويمكن قياس كمية الهباء الجوي باستخدام تقنيات الرصد الجوي وأجهزة الاستشعار عن بعد وغيرها من الأدوات. حيث في هذا الفصل، سنقوم بتعريف الهباء الجوي والتعرف على أنواعه، بالإضافة إلى دراسة آلية تكوينه ومصادره على مستوى العالم، وستناول بشكل مفصل تأثيراته السلبية على الصحة والبيئة والمناخ بشكل عام إضافة إلى تأثيره على الاقتصاد.

**I-2 الهباء الجوي****I-2-1 تعريف الهباء الجوي**

تم اكتشاف مصطلح الهباء الجوي في عام 1920 من قبل الألماني (schmauss) [1]، الهباء الجوي عبارة عن معلقات لجزيئات أو قطرات صغيرة جدا في الهواء التروبوسفير (طبقة الغلاف الجوي التي تمتد من السطح إلى حوالي عشرة كيلومترات الارتفاع) أو الستراتوسفير حتى خمسين كيلومترا فوق مستوى سطح البحر [2]، ناشئة عن كل من الإنبعاثات الطبيعية والأنشطة البشرية [3]. غالبا مايرتبط شكلها الصغير جدا بالكرة، مما يجعل من الممكن وصفها بسهولة من خلال مراعاة معلمة واحدة فقط، وهي القطر الذي يتراوح نصف قطره عموما بين 0.001 و 10 ميكرومتر [4]، حجم الهباء الجوي بشكل عام بين بضعة نانومترات وبضع عشرات من الميكرومترات. يمكن أن تظل معلقة في الهواء بين بضع ثوان أو ساعات أو بضعة أيام، مكوناته تتفاعل حتى مع الإشعاع [5]



الشكل I-1: صورة توضح الهباء الجوي في الغلاف الجوي [6]

## I-2-2 تكوين الهباء الجوي

تختلف الدقائق العالقة في آلية تكوينها إذ توجد آليات متعددة تتولد بها الدقائق، مثل دقائق الغبار (Dust) التي تتولد بفعل العوامل الميكانيكية التي تشمل تكسر الدقائق الكبيرة بواسطة الطحن أو السحق أو بالنشر للخشب وتبلغ أقطارها ما بين (1.0-0.3) ميكرون و الدخان (Smoke) والذي ينشئ بفعل عمليات الإحراق غير المتكاملة للوقود وهي بأقطار تتراوح ما بين (0.5-1) ميكرون ، ودقائق الأبخرة (Fumes) التي تنشئ من عمليات التقطير والصهر والتكلس والتكرير وأقطارها ما بين (0.3-0.03) ميكرون ، والرماد (Ash) والذي تطلقه عمليات احتراق المواد العضوية وتتراوح أقطار هذه الدقائق ما بين (0.1-0.001) ميكرون، و تعد هذه الأنواع من الدقائق الأربعة التي ذكرت دقائق صلبة (Solid Particles) وأما دقائق السديم (mist) والرذاذ (Spray) فهما من الدقائق السائلة (Liquid Particles) وتنتج الأولى من عمليات الرش أو تكثيف الأبخرة وتقل أقطارها عن 10 ميكرون في حين تتراوح أقطار الثانية ما بين (10-1000) ميكرون، وتتولد بفعل عمليات التريزيد للسوائل ومن أهمها رذاذ المبيدات العشبية والحشرية وغيرها [8]

الجدول I-1: يوضح آليات تكوين الهباء الجوي [8]

النوع	آلية التكوين	القطر (ميكرون)
الغبار ( Dust )	الطحن-السحق-النشر بالخشب	( 1000-1.0 )
الدخان ( Smoke )	الإحراق غير المتكامل للوقود	( 1-0.5 )
البخار ( Fumes )	التقطير-الصهر-التكلس- التكرير	( 0.3-0.03 )
الرماد ( Ash )	احتراق المواد العضوية	( 1000-0.1 )
السدسم ( mist )	عمليات الرش أو تكثيف الأبخرة	أقل من 10 ميكرون
الرذاذ ( Spray ) (رذاذ المبيدات العشبية والحشرية)	التزديد للسوائل	( 1000-10 )

الدقائق الصلبة  
(Particles Solid)

الدقائق السائلة

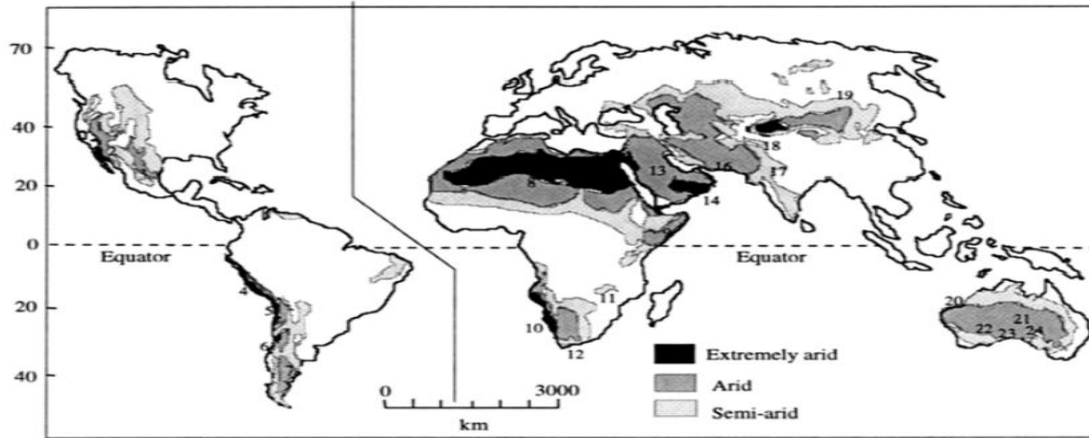
(Particles Liquid )

### I-2-3 مصادر الهباء الجوي

#### I-2-3-1 مناطق المصدر الرئيسية على نطاق عالمي

يأتي الهباء المعدني من المناطق القاحلة وشبه القاحلة من الكرة الأرضية التي يكون سطحها أقل حماية من التعرية بفعل الرياح بغطاء نباتي غير موجود تقريبًا ورطوبة التربة المنخفضة جدًا، ومن هنا جاء الاسم البديل للهباء الجوي الغبار الصحراوي. في الواقع، الجفاف يتوافق مع حالة نقص الموارد المائية الدائمة في الهواء وفي التربة ويتم تحديده من خلال عجز توازن الماء في التربة ويعتمد على العوامل المناخية ونوع التربة. بشكل عام، يتم تحديد المناطق شبه القاحلة والجافة وفقًا لكمية هطول الأمطار التي تتلقاها. وبالتالي، تتميز المناطق القاحلة أو الصحراوية بمعدل هطول سنوي أقل من 200 ملم.

تقع المناطق القاحلة وشبه القاحلة عمومًا على جانبي خط الاستواء كما هو موضح في الشكل I-2. وبالتالي، تقع غالبية هذه المناطق في شمال وغرب إفريقيا. تم العثور على البعض الآخر في آسيا الوسطى والجزيرة العربية وأستراليا، وكذلك أجزاء من غرب الولايات المتحدة وأمريكا الجنوبية. [9]

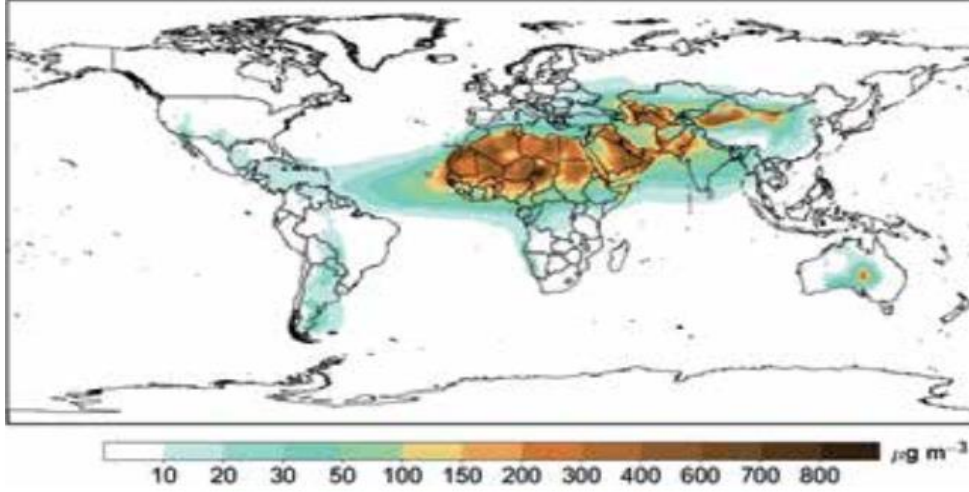


الشكل I-2 : موقع المناطق الصحراوية والصحاري الرئيسية. [9]

تمثل الأرقام الموضحة في الشكل I-2 ما يلي : حوض العظيم، 2-سونورا، 3-الشواوية، 4-بيرو 5-أناكاما 6-موني 7-باتاغونيا - 8الصحراء الكبرى 9-الصومالية-شيلي 10-ناميب 11-كلاهاري 12-كارو 13-العربية 14-الربع الخالي 15-تركستان - 16إيران 17-نار 18-تكلمكان 19-جوبي 20-صحراء الرمل الكبرى 21-سيمبسون 22-جيسون 23 -صحراء فيكتوريا الكبرى 24-ستورث ستوني.

- قامت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية سنة 2018، برصد حزام ترابي واسع في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، والذي يتألف من مصادر رئيسية للهباء الجوي في شمال ووسط إفريقيا، وشبه الجزيرة العربية، وشمال الهند، ووسط آسيا، والصحاري في شمال غرب وشمال الصين.. كما هو موضح في الشكل I-3، حيث نلاحظ المناطق التي تحتوي على تراكيز مرتفعة للهباء الجوي في بعض مناطق شبه الجزيرة العربية، ووسط آسيا، وشمال غرب الصين مع وجود تراكيز كتلية تتراوح من 400 إلى 600 ميكروغرام تقريباً في المتر المكعب وصولاً إلى الذروة في بعض مناطق تشاد بوسط أفريقيا والتي تتراوح من 900 إلى

1000 ميكروغرام في متر المكعب الواحد . وينتقل التراب، من هذه المصادر، إلى المناطق المجاورة، من قبيل المنطقة المدارية الشمالية من المحيط الأطلسي الواقعة بين غرب أفريقيا والبحر الكاريبي، وأمريكا الجنوبية، وحوض البحر الكاريبي، والبحر الأبيض المتوسط، وبحر العرب، وشمال الهند أو وسط شرق الصين، وكوريا، واليابان. [10]

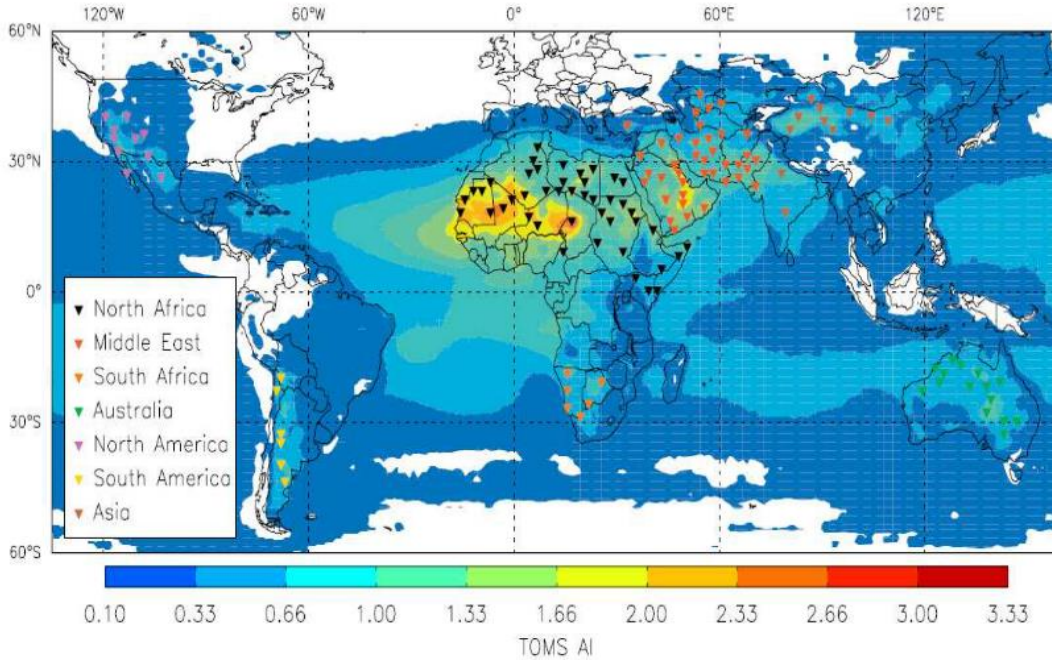


الشكل I-3 : المتوسط السنوي للتركيز السطحي للتراب المعدني في عام 2018 [10]

### I-2-3-2 مصادر الهباء الجوي في إفريقيا

على الرغم من أن المنطقة التي تغطي الساحل والصحراء تعتبر المصدر الرئيسي للانبعاثات الهباء الجوي الصحراوي في إفريقيا وفي العالم، العملية ليست متجانسة على الإطلاق هذا الامتداد من الفضاء. أظهرت ملاحظات الأقمار الصناعية أن الانبعاثات محلية في مناطق نشطة بشكل خاص تسمى "النقاط الساخنة". في عام 2006 أظهر أن غالبية "النقاط الساخنة" على كوكب الأرض تقع في أفريقيا شمال خط الاستواء. يظهر هذا في الشكل I-4 الذي يعرض التوزيع من 131 "بقعة ساخنة" من ملاحظات (TOMS)





الشكل 4-I : موقع 131 نقطة ساخنة من متوسط 1990-1984 لمؤشر الهباء الجوي (AI) من أرصاد الفضاء [1]

علاوة على ذلك، هناك العديد من الدراسات مثل تلك التي أجريت من الأشعة تحت الحمراء مؤشر الغبار (IDDI) من مصور METEOSAT بالأشعة تحت الحمراء، بناءً على مؤشر Toms Aerosol .

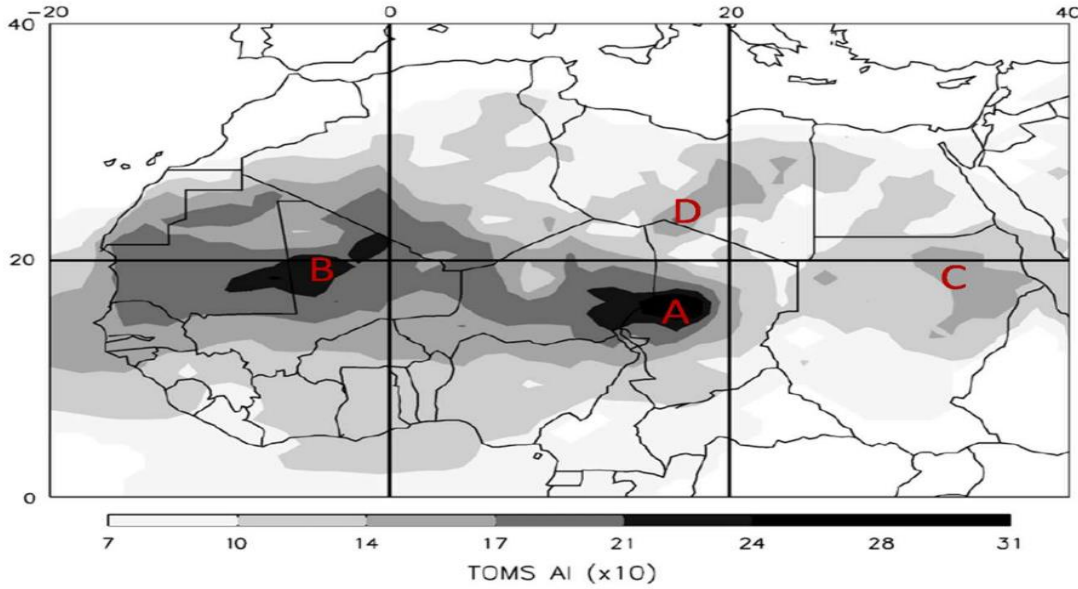
تحديد 4 مناطق للمصادر الرئيسية للانبعاث في أفريقيا كما هي موضحة في الشكل I-5 وهي:

A. منطقة منخفض بوديلي

B. منطقة غرب إفريقيا وتغطي شمال موريتانيا ومالي وجنوب الجزائر

C. الصحراء النوبية بين شمال السودان وجنوب مصر،

D. الصحراء الليبية بين شمال النيجر وجنوب ليبيا [1]



الشكل I-5 : المتوسط الشهري خلال الفترة 1980-1992 من TOMS AI (x10) يوضح الرئيسي مناطق المنبع من شمال أفريقيا:

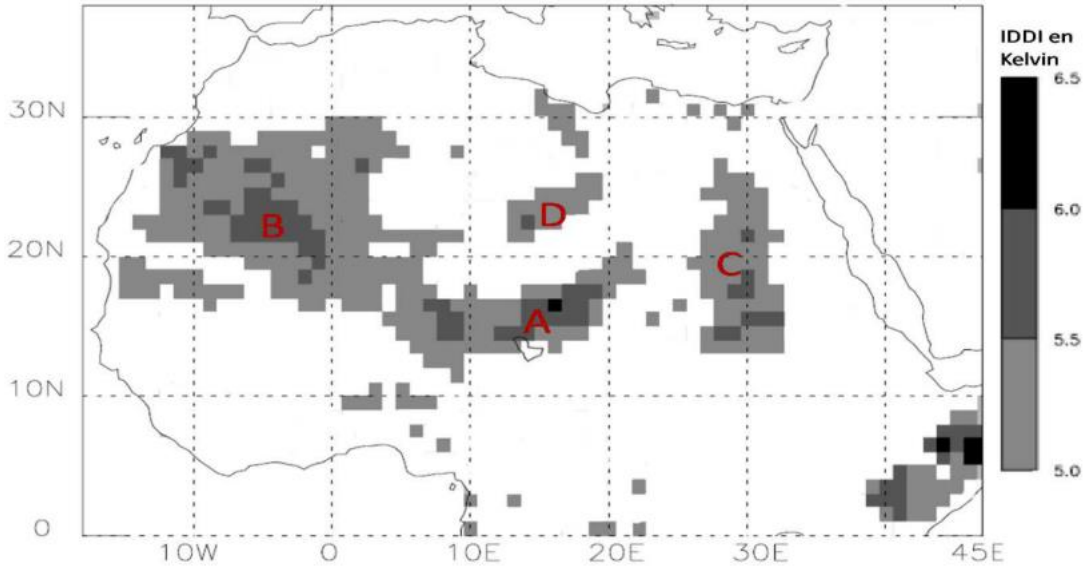
(A) بوديبليه ؛ (B) غرب أفريقيا ؛ (C) صحراء نوبية و (D) صحراء ليبيا [1].

### I-2-3-3 مناطق المصدر في أفريقيا شمال خط الاستواء

تمثل منطقة الصحراء والساحل في شمال إفريقيا أكبر مصدر في العالم للغبار الصحراوي بإنتاج سنوي للهباء الجوي يقدر بـ 400-700 مليون طن. وتعد الصحراء الكبرى، أكبر صحراء على وجه الأرض، 8.5 مليون كيلومتر مربع، يحدها من الغرب المحيط الأطلسي ومن الشرق البحر الأحمر ومن الشمال البحر الأبيض المتوسط ومن الجنوب منطقة الساحل شبه القاحلة التي تتميز بظهور نباتات السهوب.

تقع مناطق المصدر الرئيسية للصحراء الساحلية بالقرب من المناطق الجبلية وخاصة عند سفح الجبال أو "سفوح الجبال". هذا ناتج عن عاملين رئيسيين: الوجود الغزير للرواسب في هذه المناطق تحت تأثير التعرية النهرية، وتكرار حدوث رياح سطحية قوية مرتبطة بوجود نفاثات منخفضة المستوى يتعزز تواترها وشدتها بوجودها.

تقع أربع مناطق مصدر رئيسية في شمال إفريقيا من مؤشر غبار الفرق بالأشعة تحت الحمراء (IDDI) المشتق من مصور METEOSAT بالأشعة تحت الحمراء في (A) تشاد ، والشيش التي تقع في شمال موريتانيا ومالي وجنوب الجزائر (B) ، (C) في منطقة تقع في شمال السودان وجنوب مصر و (D) في شمال النيجر وجنوب ليبيا [9]، وهذا ما يظهره الشكل I-6.



الشكل I-6 : المتوسط السنوي ل IDDI ل IR - METEOSAT على IR خلال الفترة 1984-1984

1993 يشير إلى موقع مناطق المصدر الرئيسية للأيروسولات الصحراوية من الهباء الصحراوي في أفريقيا من الشمال . [9]

## 4-2-I تصنيفات الهباء الجوي

يمكن تصنيف الهباء الجوي إلى عدة مجموعات ووفقًا لعدة معايير تتراوح من حجمها إلى تركيبها الكيميائي، بما في ذلك عمليات

تكوينها ومصادرها وسنقوم في هذه الدراسة بعرض جميع التصنيفات:

### I-2-4-1 حسب المصدر

- الهباء الجوي الطبيعي: يتولد عن عمليات وأحداث وتحولات طبيعية بدون فعل بشري (عواصف رملية، ثورات بركانية، الخ). وفقاً للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تمثل الهباء الجوي الطبيعي 90٪ من إنبعاثات الهباء الجوي العالمية.
- الهباء الجوي البشري المنشأ: ينتج عن عمل الإنسان. هذه هي التصريفات الصناعية، النشاط الزراعي، حرائق الكتلة الحيوية، النقل وإنتاج الطاقة، الخ.

### I-2-4-2 حسب التكوين

- الهباء الجوي الأساسي: يمثل كل الجسيمات المنبعثة مباشرة في الغلاف الجوي، سواء كانت طبيعية أو بشرية المنشأ. يمكننا الاستشهاد بمثال الرماد البركاني أو الرماد الناتج عن حرائق الكتلة الحيوية أو نوبات ارتفاع الغبار. غالبية الهباء الجوي الأولي من أصل طبيعي، ويمثل هذا الجزء حوالي 90٪ من الإنبعاثات الأولية.
- الهباء الجوي الثانوي هو نتيجة للتحولات الكيميائية للغازات الجزئية من الغازات المنبعثة في الغلاف الجوي من خلال ظاهرة التكثيف أو التنوي أو الاهتزاز أو التفاعل في المرحلة المائية. هذه الهباء الجوي هي أساساً (حوالي 80٪) من مصادر بشرية المنشأ

### I-2-4-3 حسب الحجم

- اعتماداً على حجم الهباء الجوي، يمكن تصنيفها إلى ثلاث مجموعات كبيرة تسمى الأنماط، ويتميز كل وضع بنصف قطر متوسط. كلاسيكياً، يتم تحديد ثلاثة أوضاع رئيسية
- - الوضع الدقيق: يميز هذا الوضع الجسيمات التي يبلغ متوسط نصف قطرها أقل من 0.05 ميكرومتر. ويسمى أيضاً وضع التنوي أو وضع "أيتكين" ويتكون أساساً من جزيئات ناتجة عن عمليات تحويل جسيمات الغاز أثناء احتراق الوقود الأحفوري في حرائق الغابات. وبالتالي فهي جسيمات أولية تتطور بسرعة في الحجم، إما عن طريق تكثيف الغاز ببخار

مشبع ضعيف، أو عن طريق التبختر بينها أو بجزيئات أكبر للوصول إلى وضع وسيط يسمى وضع التراكم. هذا الوضع هو

الأكثر انتشارًا في توزيع الهباء الجوي ولكن له كتلة منخفضة نسبيًا ومساهمة بصرية ضعيفة

➤ وضع التراكم: يتكون من جسيمات يتراوح نصف قطرها بين 0.05 و 1 ميكرومتر. لا يحتوي فقط على جسيمات

ثانوية تتكون من عمليات تكثيف غير متجانس، عن طريق تخثر جزيئات وضع التنوي، ولكن أيضًا يحتوي على

جسيمات أولية من الوضع الدقيق للهباء الجوي البحري والمعدني. عمرهم هو الأطول وبالتالي يساهم بشكل كبير في

توازن الإشعاع في الغلاف الجوي، وتشكيل السحب والتأثير على الصحة.

➤ يتكون الوضع الخشن من مجموعة واسعة من الجسيمات ذات نصف قطر أكبر من 1 ميكرومتر. ويشمل الهباء الجوي

الأولي الناتج ميكانيكيًا بفعل الرياح على التربة (خاصة في المناطق القاحلة) وأملاح البحر والانبعاثات البركانية

والانبعاثات من النباتات. هذا الوضع هو الأكثر انتشارًا في الكتلة في مجموعة الهباء الجوي ولكن له عمر أقصر لأنه

يمكن التخلص منها بسهولة عن طريق الترسيب (تقع تحت تأثير الجاذبية).

➤ التصنيف النموذجي ليس معياريًا، فالأعمال التجريبية والنظرية تشير أحيانًا إلى عدة أوضاع ضمن فئات الحجم

الموصوفة، اعتمادًا على طبيعة الهباء الجوي، والخصوصية الجغرافية والمناخية للأماكن المدروسة.

#### I-4-4-2 اعتمادًا على تركيبها الكيميائية:

➤ الهباء الجوي المعدني: تأتي في الغالب من مناطق قاحلة أو شبه قاحلة وتشكل بفعل الرياح على الأرض.

➤ الهباء البحري عبارة عن جزيئات من أملاح البحر ناتجة عن الصدمات التي تحدثها مياه المحيطات والبحار أثناء حركتها

وترفعها الرياح.

➤ الكبريتات والنترات هي جزيئات تنتجها تفاعلات كيميائية في الغلاف الجوي من غازات سبق انبعاثها هناك. هذه هي

أكسيد الكبريت للكبريتات وأكسيد النيتروجين للنترات. هذه الهباء الجوي في تراكيز عالية فوق المناطق الحضرية.

➤ تتكون الأيروسولات الكربونية من كربون السخام والكربون العضوي الناتج عن الاحتراق الناتج عن حرائق الكتلة الحيوية

وتشغيل المركبات ومعدات النقل وكذلك الآلات الصناعية. [1]

## 5-2-I أنواع الهباء الجوي

يمكن تصنيف جسيمات الهباء الجوي إلى فئات مختلفة، حسب حجمها أو التركيبة الكيميائية، ولقد اخترنا وصفها هنا وفق لمصادر

انبعاثاتها و هكذا نميز 5 أنواع من المصادر الرئيسية للهباء الجوي [11]

### 1-5-2-I الكربون الأسود

يقوم الكربون الأسود بدوره في الإشعاع الشمسي حيث يعمل على امتصاص الأشعة الواردة التي تعمل على تدفئة طبقة التروبوسفير التي

تحيط بغلاف الأرض، ويمكن أن تظل الجسيمات في الفضاء أو ترسب على الجليد والثلج في الأماكن الباردة [12]

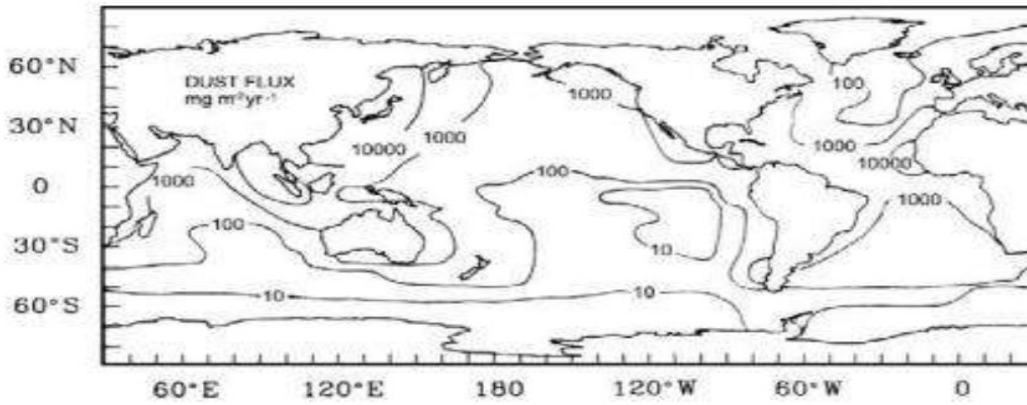
### 2-5-2-I الغبار المعدني

الغبار المعدني يتوافق مع الجسيمات الأولية المنبعثة من تآكل التربة أو ملوحة الرياح. في المناطق الصحراوية أو جاف، خالي من الغطاء

النباتي، احتكاك الرياح على السح إلى سحب الجزيئات التربة وجزء منها معلق في الغلاف الجوي. يعتمد تكوين هذا النوع من الهباء

على تكوين التربة التي نشأ منها يتراوح الحجم النموذجي لهذا الهباء بين 1000 نانومتر إلى بضع عشرات ميكرومترات في القطر

، المقاييس العالمية لإنبعاثات الغبار المعدني على نطاق عالمي هي الصحراء والصحراء في اسيا الوسطى وجنوب إفريقيا [11]



الشكل I-7: تدفق الدورة العامة للهباء المعدني في المحيطات [13]

### I-2-5-3 أملاح البحر

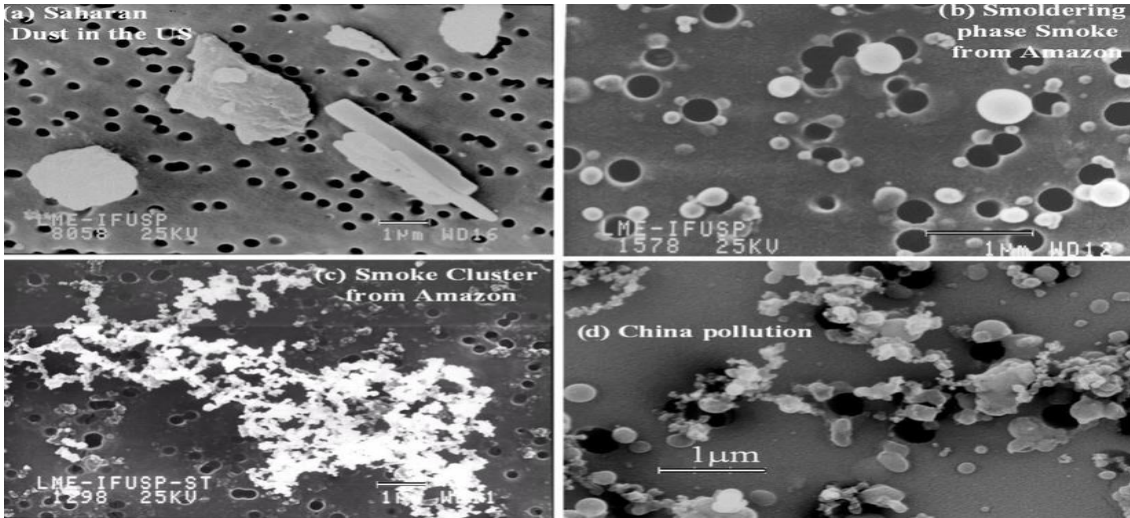
يتم إنتاج أملاح البحر (المصدر الأساسي) عن طريق الأمواج المتكسرة، عن طريق احتكاك الرياح على السطح، أو عن طريق انفجار القطرات المتولدة عن تكسر الأمواج مما يؤدي إلى طرد جزيئات الماء المالح. الجسيمات المنبعثة لها أحجام تتراوح من 0.5 ميكرومتر إلى 10 ميكرومتر في القطر [11].

### I-2-5-4 الهباء الحيوي

تشمل هذه الفئة الأنواع المنبعثة من الحيوانات والنباتات. هنا نجد الإنبعاثات الأولية مثل حبوب اللقاح والجراثيم في حالة تعليق في الجوي الذي يتراوح أقطاره بين 10 و15 ميكرومتر لحبوب اللقاح وبين 5 و10 ميكرومتر للجراثيم. الكميات الكبيرة من المركبات العضوية المتطايرة المنبعثة من الغطاء النباتي أيضا في زيادة جزء من الهباء الجوي العضوي في الغلاف الجوي عن طريق التحولات الكيميائية [11].

### I-2-5-5 الهباء البركاني

البراكين التي تنبعث منها جزيئات الصخور والمعادن تتراوح من ميكرومتر إلى مليمتر. غالبا ما تكون كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون يساهم في زيادة الغلاف الجوي لهباء الكبريتات [11].



الشكل I-8: صور لجزيئات الهباء الجوي التي شوهدت تحت المجهر الإلكتروني الماسح. [11]

## I-2-6 التركيب الكيميائي

يختلف الهباء من حيث تركيبها الكيميائي ويرجع ذلك إلى الأصل الذي نشأت منه وقابليتها على الاشتراك في التفاعلات الكيميائية [8]، تقنيات القياس الحالية لا تسمح بتحديد أي جزء من مكوناته. عمل كلين (1955) توضيح من الصعب جدا مع تكوين الهباء الجوي منذ آلاف الأنواع الكيميائية [6]. وبشكل عام فهي إما أن تحتوي على مركبات عضوية أو لا عضوية والمكونات الرئيسية في الدقائق العالقة هي أيونات غير عضوية وتتكون بشكل أساسي من نترات، كبريتات الألومنيوم، غبار معدني، ملح بحري والهباء الكربون [8][5]

## I-3-3 الغبار الصحراوي

### I-3-1 تعريف الغبار الصحراوي

يستعمل مصطلح الغبار Dust و المواد الدقائقية PM (Matter Particulate) بشكل متبادل إلى حد ما إلا في بعض الأحيان التي يميل إلى تفضيل مصطلح على آخر، ويعرف الغبار Dust بأنه دقائق صلبة عالقة في الجو تتكون نتيجة تحطم واخلال المواد و يشمل هذا الاصطلاح مدى واسع من الدقائق ولكن دقائق الغبار عادة ما تتراوح أقطارها ما بين 1 إلى 76 ميكرون [8]. حيث أن الغبار الصحراوي المنبعث بشكل أساسي من تربة المناطق القاحلة وشبه القاحلة هو المكون الرئيسي للغلاف الجوي ويمثل أهم مصدر طبيعي



[5]، ويقدر أنه يتم حقن حوالي 2000 طن من الغبار في الغلاف الجوي كل عام يشارك في دورات مختلفة من نظام الأرض ويؤثر بشكل مباشر على ميزانية طاقة الأرض [14]، ويمكن نقلها مئات أو حتى آلاف الكيلومترات حول العالم كما هو موضح في الشكل. غالبًا ما تتأثر مناطق المصدر المحتملة بالعواصف الصحراوية الكبيرة المقترنة بالنباتات تكاد تكون معدومة و تراكيز عالية من الجسيمات، شمال إفريقيا وشرق آسيا هما المصدران الرئيسيان . [5] .



الشكل I-9: أبرزت صور التقطتها الأقمار الصناعية رقعة كبيرة بنية اللون من الغبار الصحراوي تغطي مساحة كبيرة من أجواء البرتغال

وإسبانيا وفرنسا، ما يشير مخاوف تتعلق بجودة الهواء وضبابية السماء. [15]

### I-3-2 شكل الغبار

يتنوع شكل غبار الصحراء بشكل كبير، ويتراوح من الكريستال الخالي من العيوب إلى التكتلات هو حبيبات صغيرة غير منتظمة من خلال أشكال شبه كروية. مثل الحجم، الشكل له امتداد يمكن أن تحدث المواد الكيميائية غير المتجانسة. بناء على مقارنة بين عوامل الشكل تحليلات مختلفة، فإن عامل الشكل ليس له صلة مباشرة بحجم الجسيمات. في هذه الدراسة، معلمة شكل الجسيمات غير معروفة. لذا يتم اختيار تقريب الجسيمات الكروية [5]

### I-3-3 تأثير الغبار

يعتبر الغبار الصحراوي ذو أهمية كبيرة في الدراسة نظراً لمصادر انبعاثه الكبيرة ولكن أيضاً بسبب تأثيره على المستوى العالمي بعد انتقال هذه الجسيمات على مسافات طويلة جداً. يعتبر الغبار المعدني في المناطق المعرضة للعواصف الصحراوية ملوثات ضارة الهواء فإن الغبار الصحراوي له تأثير أيضاً ديناميكياً الأرصاد الجوية والمناخية للكوكب. فإن ملف التأثير الإشعاعي الناجم عن الهباء الجوي المعدني قريب من الصفر ولكن أشرطة عدم اليقين كذلك مهم ومستوى الفهم العلمي لا يزال منخفضاً جداً لعدة سنوات من تم إحراز تقدم كبير في معرفة أوضاع التعليق، الرواسب والتفاعلات الكيميائية وتأثيرات الغبار الصحراوي الموجود في ومع ذلك، فإن هذه الشكوك لا تزال موجودة حتى اليوم [5]

### I-3-3-1 تأثير الغبار على المناخ

للغبار تأثير طويل المدى على المناخ من خلال التأثير الإشعاعي المباشر وغير المباشر، اعتماداً على خصائص الغبار والتوزيع الرأسي والبياض من الغطاء السحابي والسطح السفلي. [1]، يؤثر على المناخ من خلال تأثيره على الإشعاع الشمسي والحراري. فالجسيمات الدقيقة في الهواء، التي تشمل الهباء الجوي، تعمل على تشتيت الضوء الشمسي في كل الاتجاهات، مما يؤدي إلى تقليل كمية الإشعاع الواصلة إلى سطح الأرض. وعندما تمتزج الجسيمات مع الماء الموجود في الغلاف الجوي، تشكل السحب وتتحكم في كمية الإشعاع الواصلة إلى السطح الأرضي والعودة إلى الفضاء، وبالتالي تؤثر على توازن الطاقة في النظام الأرضي، كما يؤثر الهباء الجوي على حركة الرياح ونقل الطاقة في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تغييرات في النظام الجوي. فالهباء الجوي يؤدي إلى تغيير توزيع الضغط الجوي والرطوبة في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تغيير في حركة الرياح والتيارات الهوائية. وهذا يمكن أن يؤثر على الأنماط المناخية العالمية، بما في ذلك مواسم الأمطار وتغيرات درجات الحرارة، ويؤثر الهباء الجوي أيضاً على جودة الهواء وصحة الإنسان والحيوان، حيث يحتوي على عدد كبير من الملوثات الصغيرة التي يمكن أن تسبب مشاكل صحية. ويؤثر الهباء الجوي على المحاصيل الزراعية، حيث يتجمع على الأوراق ويمنع النباتات من امتصاص الإشعاع الشمسي، مما يؤدي إلى تقليل الإنتاج [16][17][18]

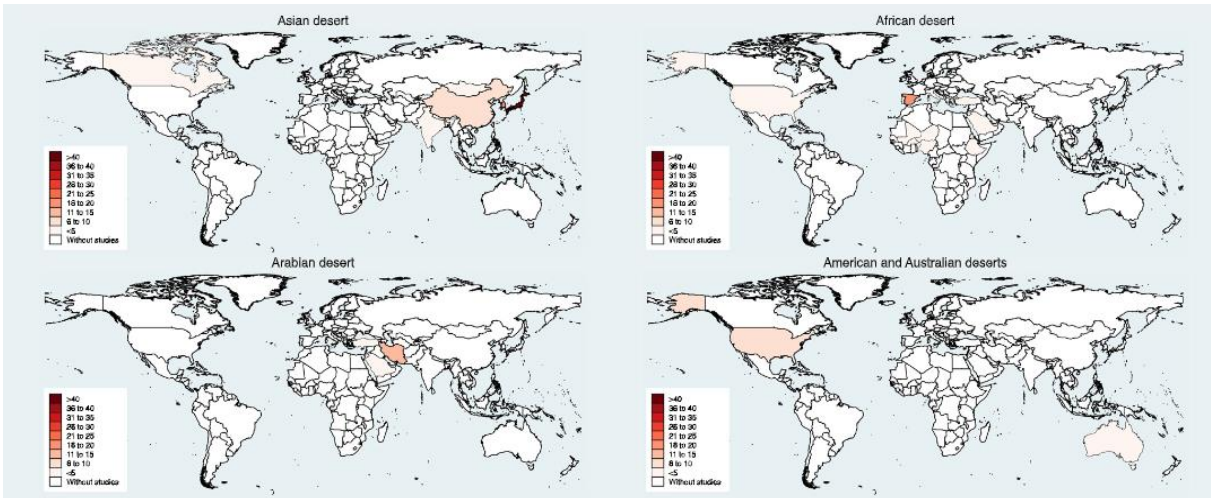
### I-3-3-2 تأثير الغبار على البيئة

تشمل الآثار البيئية الأخرى للغبار انخفاض خصوبة التربة والمحصول، وترسب الغبار في المحيط. وانخفاض الإشعاع الشمسي على السطح. ونتيجة لذلك انخفاض كفاءة الطاقة الشمسية [5][1]

### I-3-3-3 تأثير الغبار على الإنسان

بعد الغبار المعدني في المناطق المعرضة للعواصف الصحراوية ملوثات هواء ضارة يمكن أن تسبب الأمراض والتهابات الجهاز التنفسي. في بعض المناطق، يساهم الغبار في تفشي الأوبئة عن طريق نقل مسببات الأمراض. يتفاعل الهباء الصحراوي أيضًا مع النظم البيئية البرية والبحرية من خلال كونه مصدرًا للمغذيات الدقيقة. تم وضع فرضية حول حقيقة أن الغبار الصحراوي قد يكون قد خصب غابات الأمازون بشكل كبير وأن تأثير التسميد على المحيطات سيكون له تأثيرات كبيرة على المناخ. يرتبط الجانب الاقتصادي أيضًا بأحداث العواصف الصحراوية، خاصة بسبب انخفاض الرؤية التي تؤثر، على سبيل المثال، على حركة المرور الجوية البرية والعسكرية. [5]،

حيث يؤثر بشكل كبير على الجهاز التنفسي للإنسان [19]



الشكل I-10: المناطق الجغرافية التي أجريت فيها دراسات عن الآثار الصحية لغبار الصحراء. ملاحظة: كلما زادت كثافة اللون، تم

إجراء المزيد من الدراسات حول الآثار الصحية للغبار الصحراوي في تلك المنطقة. [20]

### I-3-3-4 تأثير الغبار على الاقتصاد

إن من المرجح أن تتضرر جميع القطاعات الاقتصادية من جراء تغير المناخ بشكل متزايد مع مرور الوقت، ولكن من الواضح أن بعض البلدان تتأثر أكثر من غيرها، ومن أبرز القطاعات الاقتصادية المتضررة جراء التغيرات المناخية في البلدان العربية ما يلي:

- يعتبر قطاع الطاقة أحد القطاعات الاقتصادية الأكثر تأثراً بتغيرات المناخ، حيث قد تؤدي تلك التغيرات إلى نقص في إنتاج الكهرباء من المحطات المائية بسبب الجفاف، وتزايد الطلب على الكهرباء لأنظمة التكييف والتبريد بسبب الارتفاع في درجات الحرارة. كما يمكن أن يتسبب ارتفاع مستوى البحر في غرق منشآت إنتاج الطاقة، خاصةً المنصات البحرية لإنتاج النفط، ومحطات توليد الكهرباء في المناطق الساحلية. ويمكن أن تتعرض شبكات الكهرباء وخطوط نقل الغاز الطبيعي في المناطق المتضررة للتلف. كما يتزايد الطلب على الطاقة اللازمة لوحدة تحليه المياه. لذا، يتطلب التصدي لتأثيرات التغير المناخي على قطاع الطاقة وتطوير سياسات تخفيض الانبعاثات الكربونية وتشجيع على استخدام مصادر الطاقة المتجددة والسياحة مهمة للاقتصاد العربي، ولكنها تتأثر بتغيرات المناخ، فالجاذبية السياحية للمنطقة تعتمد على العوامل المناخية ولكنها ليست العامل الوحيد، ومع تغير المناخ، فإن مؤشر الراحة السياحية الذي يقيس درجة المتعة المناخية في موقع معين، سينخفض في المنطقة العربية خلال العقود القادمة. كما أن ارتفاع درجات الحرارة يشكل تهديداً واضحاً للسياحة في المنطقة، وتشير التحليلات إلى أن السياح سوف يفضلون الوجهات الأكثر برودة على المدى الطويل. وتعد السياحة المبنية على الطبيعة ذات أهمية خاصة للمنطقة، إلا أن الشعاب المرجانية والحياة البرية الموجودة في العديد من المواقع السياحية المميزة قد تتعرض للخطر. لتحويل إلى نماذج استهلاك الطاقة المستدامة.
- تأثير القطاع الصناعي على البيئة يعتبر من أكثر القضايا إلحاحاً في الوقت الحالي، إذ يؤدي إلى استنزاف الموارد الطبيعية وتلوث الهواء والمياه. وبالإضافة إلى ذلك، يعد هذا القطاع مسؤولاً عن إنتاج كميات كبيرة من الغازات الدفيئة، مما يسهم في تغير المناخ وتفاقم التغيرات الجوية المتطرفة. ويعاني القطاع الصناعي من الظواهر الناجمة عن تغير المناخ، حيث تؤثر هذه الظواهر سلباً على إنتاجية الموارد وتغيرات الطلب على المنتجات الصناعية. وبسبب التغيرات المناخية، تقلص إنتاج السلع الغذائية وتصبح غير متاحة في بعض الأحيان. كما تؤدي موجات الجفاف إلى نقص كميات المياه وتقليل توليد الطاقة الكهرومنزلية، وتؤثر التغيرات المناخية على التخطيط للاستثمارات في البنية التحتية اللازمة للصناعة، مما يعوق مشاريع التنمية في المناطق المعرضة للمخاطر.
- بشكل أكبر في المستقبل بسبب التغيرات المناخية وسوء الاستخدام والتلوث الزراعي للتربة والمياه. وتزداد هذه المشكلات تحديداً في الدول العربية التي تعتمد بشكل كبير على الزراعة كمصدر رئيسي للغذاء والدخل.

- وبالتالي، قد يؤدي التغير المناخي إلى تقليل كمية المحاصيل الزراعية المنتجة وزيادة نسبة الأمراض والآفات الزراعية، مما يؤثر على امن الغذاء في المنطقة. ومن المهم أن يتم اتخاذ إجراءات وحلول فعالة لتحسين إنتاجية الزراعة والحد من تلوث التربة والمياه وتحسين إدارة الموارد المائية والزراعية في المنطقة. [21]

### I-3-4 قياس الغبار الصحراوي

إن مكونات الغلاف الجوي في الهباء الصحراوي سيئة التقدير في الوقت الحالي أن يتم الاعتراف بها على أنها مهمة في العمليات المناخية وفي الدورات كيميائيات بيوجيوكيميائية. نظرًا لكونه متغيرًا جدًا في الزمان والمكان، فإنه يتطلب المراقبة على نطاق عالمي يصعب الحصول عليه من القياسات السطحية. على العكس من ذلك، فإن المراقبة عبر الأقمار الصناعية هي أداة مناسبة جدًا لهذا النوع من المشاكل، بشرط ذلك تكون قادرة على الربط الكمي بين إشارة القمر الصناعي ومحتوى الهباء الجوي الموجود في الجو. فوق الأرض، يعد الاستشعار عن بعد للهباء الجوي أكثر تعقيدًا، مثل السطح، شديد الانعكاس، يساهم في إشارة القمر الصناعي أكثر من المكون الجو الذي نسعى إلى قياسه. الطريقة التي نستخدمها تعتمد على تطوير مؤشر كشف الغبار البري، هذا هو المؤشر IDDI " مؤشر الغبار لاختلاف الأشعة تحت الحمراء". ينتج عن التأثير الإشعاعي للغبار في نافذة [10.5 - 12.5] ميكرومتر لقناة Meteosat IRT

### I-3-4-1 الاستشعار عن بعد

#### I-3-4-1-1 تعريف الاستشعار عن بعد :

الاستشعار عن بعد هو مجموعة التقنيات التي تجعل من الممكن، من خلال الحصول على الصور، الحصول على معلومات عن سطح الأرض (بما في ذلك الغلاف الجوي والمحيطات)، دون اتصال مباشر بها. يشمل الاستشعار عن بعد العملية الكاملة لالتقاط وتسجيل طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث أو المنعكس، ومعالجة وتحليل المعلومات التي يمثلها، ثم تطبيق تلك المعلومات. يمكن تلخيص

مبدأ الاستشعار عن بعد في جملة من: "في الاستشعار عن بعد، نستخدم الخصائص الفيزيائية للأشياء المرصودة، ولا سيما خصائصها البصرية، للحصول على معلومات عن طبيعة الأشياء".

المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد: المبدأ الأساسي للاستشعار عن بعد مشابه لمبدأ الرؤية البشرية. الاستشعار عن بعد هو نتيجة التفاعل بين ثلاثة عناصر أساسية: مصدر طاقة وهدف وناقل (مستشعر أو كاشف)، الشكل I-11. [22]

➤ **الهدف:** هو جزء سطح الأرض الذي يلاحظه القمر الصناعي. يمكن حجمها تتراوح من بضعة عشرات إلى عدة آلاف من الكيلومترات المربعة

➤ **مصدر الطاقة:** هو العنصر الذي ينير الهدف بإصدار إشعاع الكهرومغناطيسية (تدفق الفوتون). في الغالبية العظمى من الحالات المصدر الطاقة هي الشمس. ومع ذلك، تتطلب تقنية RADAR أن يكون المرسل إما انطلقت على القمر الصناعي، في هذه الحالة يكون القمر الصناعي نفسه هو مصدر الطاقة

➤ **المتجه أو منصة الاستشعار عن بعد:** تقيس الإشعاع الكهرومغناطيسية المنعكسة عن الهدف. يمكن أن يكون المتجه (النظام الأساسي) قمرًا صناعيًا أو طائرة، على ارتفاع يتراوح من بضعة عشرات إلى بضعة آلاف من كيلومترات (36000 كم لقمر صناعي ثابت بالنسبة إلى الأرض)

➤ **مصدر الطاقة أو الإضاءة:** أصل أي عملية استشعار عن بعد هناك بالضرورة مصدر للطاقة لإضاءة الهدف. الأكثر غالبًا، إن لم يكن في جميع الحالات تقريبًا، يكون مصدر الطاقة هذا هو الشمس. لكن القمر الصناعي نفسه يمكن أن يكون مصدرًا للطاقة: هذا هو الحال بالنسبة لمجال الاستشعار عن بعد بالرادار.

➤ **تفاعل الإشعاع والغلاف الجوي:** خلال رحلته "للذهاب بين مصدر الطاقة والهدف، يتفاعل الإشعاع مع الغلاف الجوي. ثانية يحدث التفاعل أثناء رحلة "العودة" بين الهدف والمستشعر

➤ **التفاعل مع الهدف:** بمجرد وصوله إلى الهدف، تتفاعل الطاقة مع سطحه. تعتمد طبيعة هذا التفاعل على خصائص الإشعاع وخصائص السطح. يصدر كل كائن جغرافي أو ينعكس الإشعاع في ترددات مختلفة من الطيف

الكهرومغناطيسي. هذه الخاصية تسمى السلوك الطيفي. في الاستشعار عن بعد، نفترض أن أي كائن أو فئة من الأشياء على سطح الأرض لها "بصمة" خاصة بها رقمي "في الطيف الكهرومغناطيسي (التوقيع الطيفي)، اعتمادًا على الطول الموجي للإشعاع المنعكس أو المنبعث من نفسه.

➤ **الإرسال والاستقبال والمعالجة:** الإشارة المسجلة بواسطة المستشعر هي يتم إرسالها، غالبًا بالوسائل

الإلكترونية، إلى محطة استقبال تقع بشكل عام على الأرض حيث يتم تحويل المعلومات إلى صور (رقمية أو فوتوغرافية).

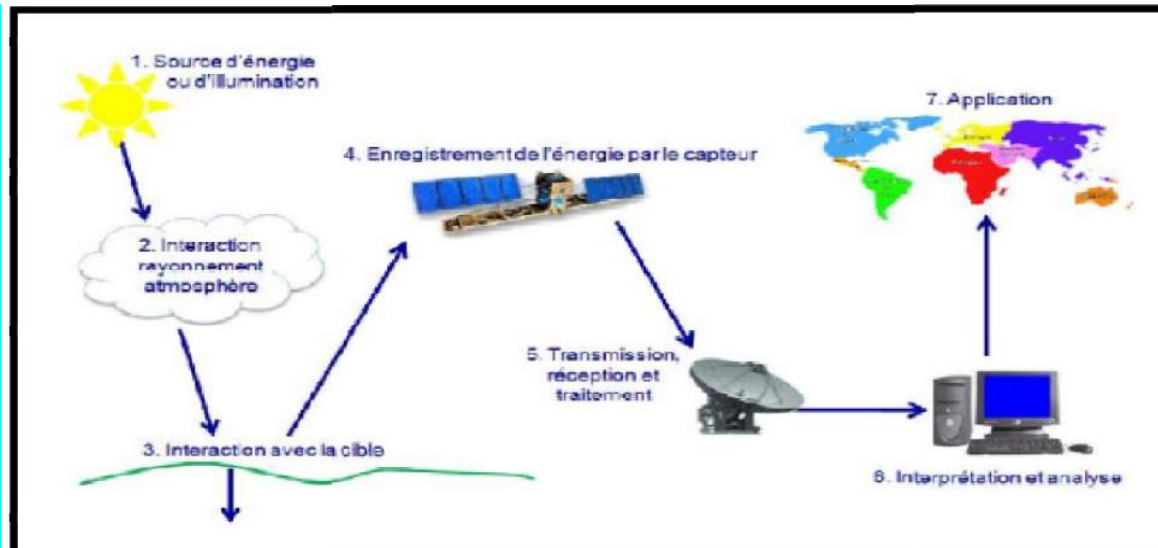
➤ **التفسير والتحليل:** يعد التفسير المرئي و / أو الرقمي للصورة المعالجة ضروريًا لاستخراج المعلومات التي يرغب

المرء في الحصول عليها على الهدف.

➤ **التطبيق:** الخطوة الأخيرة في العملية هي استخدام المعلومات المستخرجة من الصورة لفهم الهدف بشكل أفضل،

أي جزء المساحة المدروسة (مدينة، منطقة مغمورة بالفيضانات، غابة...) لجعلنا نكتشف مناطق جديدة الجوانب أو للمساعدة في حل مشكلة معينة.

➤ تغطي هذه الخطوات السبع عملية الاستشعار عن بعد ، ويمثلها التالي من البداية إلى النهاية. [22]



الشكل I-11: مبدأ الاستشعار عن بعد [22]

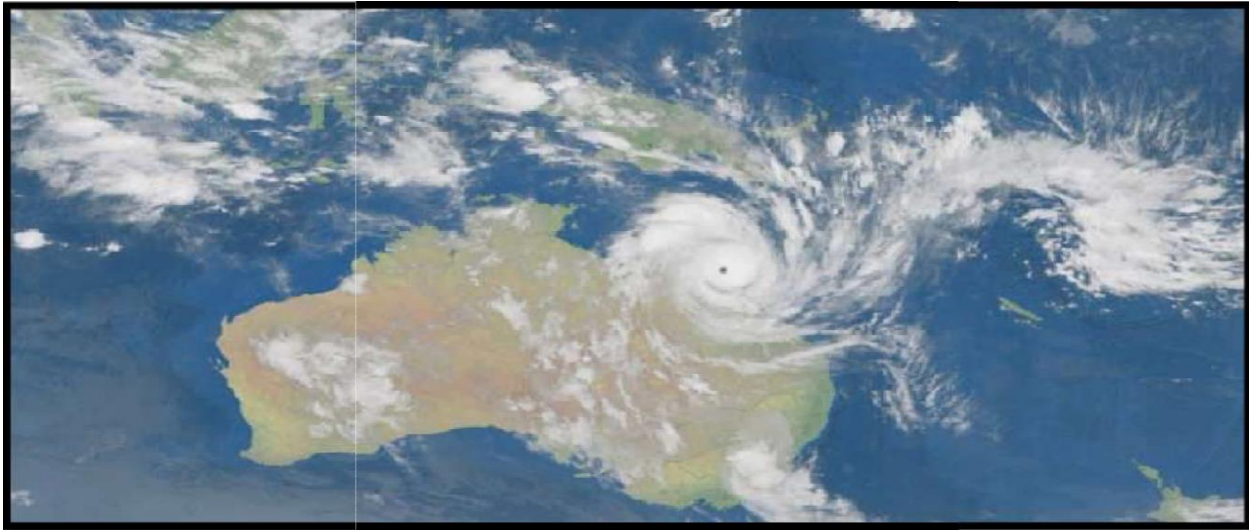
### I-3-4-1-2 مجالات استخدام الاستشعار عن بعد

يستخدم الاستشعار المدني عن بعد في عدة مجالات مثل الزراعة والهيدرولوجيا والتخطيط الحضري والأرصاد الجوية. بالنسبة لمجالنا،

تتعلق مراقبة الكوكب بما يلي:

السحب (التصنيف، درجة الحرارة والارتفاع الأعلى، الكشف عن الخلايا الحملية، محتوى الماء السائل، الطابع المترسب، الخ)، انظر

الشكل I-12:



الشكل I-12 : تتبع سحابة الأقمار الصناعية

➤ الغلاف الجوي (درجة الحرارة، الرطوبة، الهباء الجوي، أعمدة الرماد البركاني، تركيز بعض الغازات، ...)، تلوث الغلاف

الجوي، الخ.

➤ السطح (درجة الحرارة، التدفقات الإشعاعية، مؤشر الغطاء النباتي، الثلج، حرائق الغابات، رسم خرائط الغطاء النباتي، الجليد

البحري، قوة الرياح واتجاهها، الخ).

➤ بيانات التنبؤ العددي بالطقس: استيعاب البيانات بتنسيق الموديلات.



➤ مراقبة المناخ: أرشفة البيانات طويلة المدى واستخدامها (توازن الإشعاع، إحصاءات عن السحب وهطول الأمطار، الخ)، التحقق من صحة النماذج المناخية.

### I-3-1-4-3 وسائل مراقبة الهباء الجوي

توجد تقنيات مراقبة مختلفة لفحص وتقييم حالة وتكوين الغلاف الجوي. على الرغم من أوجه عدم اليقين المرتبطة بالأدوات وتقنيات القياس، فإن المعلومات التي توفرها لها أهمية قصوى لأنها تحتوي على توقيع واقع الغلاف الجوي. يتم تشغيل أجهزة القياس على أنواع مختلفة من الدعامات، وهي: المحطات الأرضية، والمنصات المحمولة جواً والأقمار الصناعية. كل وسيط له مميزاته وعيوبه عندما يتعلق الأمر بأخذ العينات المكانية والزمانية. لرصد ومراقبة الأنشطة وحركة كتل الغبار في الغلاف الجوي، يتم استخدام مقاييس الإشعاع (الأرضية أو الفضائية) أو الليدار (أداة الليزر) (الأرضية أو الفضائية أيضاً).

### I-3-1-4-3-4 أجهزة قياس الإشعاع

هي أدوات تستخدم على نطاق واسع في علوم الغلاف الجوي لتقدير، على سبيل المثال: التدفقات الإشعاعية، والغطاء السحابي، ونوع السحب والارتفاع، وخصائص الهباء الجوي أو حتى تركيزات المركبات الغازية المختلفة (بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والأوزون، وما إلى ذلك). مقياس الإشعاع هو أداة سلبية تقيس شدة تدفق الإشعاع الكهرومغناطيسي في نطاقات أطوال موجية مختلفة. يمكن أن تكون الفواصل الطيفية التي تم النظر فيها واسعة ("مطياف النطاق العريض") لتقدير التوازن الإشعاعي على سبيل المثال، أو تتمحور حول أطوال موجية معينة (مقياس طيفي "ضيق النطاق") من أجل تحديد مركبات معينة في الغلاف الجوي. إذا تم قياس الإشعاع وفقاً لطول الموجة، فيسمى مقياس الإشعاع الطيفي. أجهزة قياس الإشعاع بالمسح هي أدوات شائعة الاستخدام في العديد من منصات الأقمار الصناعية. مجهزة بشكل عام بمرشحات تجعل من الممكن تحديد الإشعاع حول طول موجة معين. يمكن

استخدام مقاييس الإشعاع من الأرض أو على متن المركبات الفضائية (الطائرات والأقمار الصناعية).

### I-3-4-1-4-1 من الأرض

#### I-3-4-1-4-1 شبكة AERONET (Aerosol Robotic Network)

يتم قياس توهين الإشعاع الشمسي بواسطة الهباء الجوي عن طريق مقياس الضوء (وهو مقياس إشعاع، انظر الشكل I-12 مثل شبكة AERONET (Aerosol Robotic Network)، وهي اتحاد لشبكات الاستشعار عن بعد الهباء الجوي على الأرض الذي أنشأته وكالة ناسا و (LOA-PHOTONS (CNRS)). يوفر البرنامج قاعدة بيانات مجال عام طويلة الأجل ومستمرة ويمكن الوصول إليها بسهولة من الخصائص البصرية والفيزيائية الدقيقة والإشعاعية للهباء الجوي لأبحاث الهباء الجوي والتوصيف والتحقق من منتجات الهباء الجوي الساتلي والتآزر مع قواعد البيانات الأخرى. تتطلب الشبكة توحيد الأدوات والمعايرة

والمعالجة والتوزيع. [22]



الشكل I-13 : أداة قياس الضوء الشمسي المستخدمة في شبكة AERONET.



الشكل I-14: توزيع مواقع AERONET على أساس نوع الجسيمات السائدة. تم اختيار المواقع استنادًا إلى حجم البيانات والموقع الجغرافي ومنطقة مصدر الهباء الجوي الأساسي. الجسيمات السائدة الأخرى الأنواع (مثل ملح البحر والهباء الجوي الحيوي) لم تؤخذ في الاعتبار بسبب ظروف تحميل الهباء الجوي المنخفضة ( $t_{440nm} \leq 0.4$ ) ، والذي كان حدًا مقيّدًا لإصدار AERONET 2 ، المستوى 2.0 لامتناس الهباء الجوي [23]

### I-4-3-1-4-2-1 الرؤية الأفقية

الرؤية الأفقية هي المسافة التي يمكن للشخص رؤية الأشياء فيها بوضوح ودون عوائق. ويتم قياس الرؤية الأفقية بوحدة الكيلومتر، ويتم تحديدها بشكل أساسي بواسطة الضباب أو الغبار أو الدخان أو الضوء المنعكس من الثلوج والأمطار وغيرها. وتهدف الرؤية الأفقية إلى تحسين السلامة العامة، وتقليل الحوادث المرورية وتحسين جودة الهواء. ويتم تحديد الحد الأدنى للرؤية الأفقية التي يجب أن تكون متاحة لتشغيل المركبات وتحديد القيود اللازمة على النشاطات الصناعية عند انخفاض الرؤية الأفقية. ويتم تحديد المعايير الخاصة بالرؤية الأفقية والحد الأدنى لها في معظم الدول على أساس المعايير المعتمدة من قبل منظمات دولية مثل منظمة الصحة العالمية والمنظمة العالمية

للأرصاد الجوية. يوضح الشكل **15-I** مقياس الرؤية الأفقية DF320



الشكل **15-I**: DF320 مقياس الرؤية الأفقية [24]

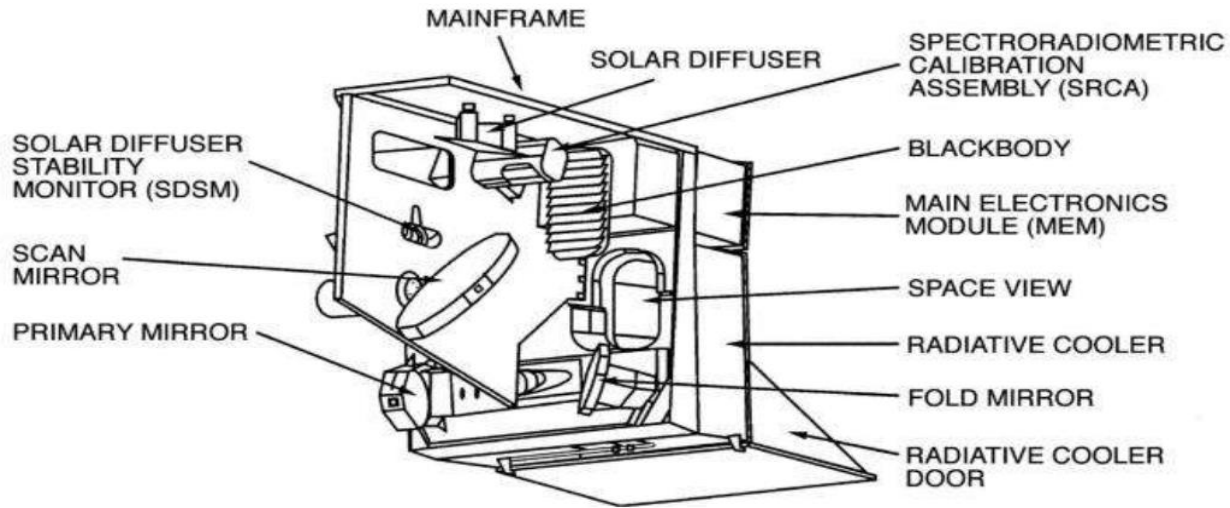
### I-3-4-1-2 من الفضاء

توجد أجهزة قياس الإشعاع على متن منصات أقمار صناعية مثل الأقمار الصناعية

MODIS و TOMS و METEOSAT. تكتشف مقاييس الإشعاع هذه الهباء الجوي أعلاه:

### I-3-4-1-2 MODIS

تحصل أداة MODIS (مقياس طيف التصوير ذي الدقة المتوسطة) على متن ساتل Terra و Aqua على بيانات في 36 نطاقاً طيفياً. يدور القمر الصناعي Terra حول الأرض من الشمال إلى الجنوب ويمر فوق خط الاستواء في الصباح بينما يمر Aqua فوق خط الاستواء في فترة ما بعد الظهر. يتيح ذلك تغطية كاملة للكورة الأرضية كل يومين تقريباً. تساهم بيانات الأقمار الصناعية MODIS عالية الدقة في المرئي، ولكن بطريقة أكثر جودة، في تحديد مناطق الانبعاث وتصوير أعمدة الهباء الصحراوي حتى لو كانت الصور المرئية فعالة بشكل خاص لدراسة الهباء الجوي فوق الأسطح المظلمة مثل المحيط. سيتم استخدام ملاحظات MODIS لذلك تقدم معطيات الأقمار الصناعية اليوم وسائل جديدة تسمح بإجراء دراسة نوعية وكمية للتغير المكاني والزمني لإنبعاثات الهباء الجوي. ومع ذلك، لم يكن الوصول إلى التوزيع الرأسي للهباء الجوي في الغلاف الجوي من الفضاء ممكناً قبل وصول أجهزة الفضاء القائمة على الليدار مع مهمة الفضاء LITE على وجه الخصوص. [9][11]



الشكل I-16: مكونات جهاز MODIS [12]

## CALIPSO 2-2-4-1-4-3-I

هو جزء من كوكبة الأقمار الصناعية للقطار الفضائي، وهو أول مرصد فرنسي أمريكي في مدار مخصص لرصد السحب والهباء الجوي ودورة المياه.

انطلاق القمر الصناعي "CALIPSO" :

1) A CALIOP (Cloud-Aerosol Lidar) مع الاستقطاب المتعامد أداة ليدار مبعثرة للخلف مصممة لاكتشاف الهباء الجوي والسحب الرقيقة. تم تصميم CALIOP للحصول على مقاطع جانبية عمودية ، بدقة 30 مترًا ، للمكونين المتعامدين اللذين ينتجان عن إزالة الاستقطاب لإشارة الليزر عند 532 نانومتر وملامح رأسية متناثرة بإجمالي إشارة ليزر عند 1064 نانومتر متناثرة في الحضيض. توفر كل قراءة ليدار ملغًا جانبيًا بعرض 90 مترًا. من خلال تجميع الصور الملتقطة أثناء المدار، نحصل على "شريحة" من الغلاف الجوي.

تغطي ملامح CALIOP عند 532 نانومتر طبقة الغلاف الجوي الواقعة بين ارتفاع 2 كم و 40 كم، وتغطي تلك الملامح عند 1064 نانومتر شريحة الغلاف الجوي الواقعة بين 2 كم و 30 كم. تختلف الدقة الرأسية والأفقية حسب نطاقات الارتفاع. وبالتالي، يتم استخدام أفضل درجات الدقة في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي حيث توجد الهباء الجوي والغيوم بشكل عام ولديها تباين مكاني أكبر. بتعبير أدق، يكون للقياسات عند 532 نانومتر استبانة تبلغ 30 مترًا رأسياً و 3/1 كيلومترًا أفقيًا بين 0.5 كيلومتر و 8.2 كيلومتر على ارتفاع. يمرّون على التوالي عند 60 م و 1 كم بين 8.2 كم و 20.2 كم. بالنسبة للارتفاعات بين 20.2 كم و 30.1 كم، تبلغ الدقة 180 م و 3/5 كم على التوالي. بعد 30.1 كم، يتم تقليل الدقة إلى 300 متر عموديًا و 5 كيلومترات أفقيًا.

2) مقياس إشعاع تصويري (مقياس إشعاع تصوير بالأشعة تحت الحمراء، IIR) بثلاث قنوات في الأشعة تحت الحمراء

الحرارية عند 8.65 ميكرومتر و 10.6 ميكرومتر و 12.05 ميكرومتر. يوفر سياق قياس الليدار الليلي. عند

استخدامه بالتآزر مع الليدار، فإنه يجعل من الممكن استعادة الخصائص الفيزيائية الدقيقة للسحب.

3) ( مصور أحادي القناة (كاميرا ذات مجال رؤية واسع ، WFC) بدقة 645 نانومتر تحدف إلى توفير سياق قياس

الليدار يومًا بعد يوم. [9][11]

## TOMS 3-2-4-1-4-3-I

تعد (TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) جهازاً للقياس المناخي تابع لوكالة الفضاء الأمريكية NASA. تم تطوير الجهاز في الفترة من 1978 إلى 1993 ويعمل على قياس الأوزون في الغلاف الجوي العلوي. يتم استخدام TOMS في مختلف المهام المناخية والعلمية، مثل تقييم تأثير النشاطات البشرية على الغلاف الجوي والبحث عن تغيرات المناخ. ويتم تحليل البيانات التي يجمعها جهاز TOMS باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) لفهم البيانات والتنبؤ بتغيرات المناخ في المستقبل. وتستخدم العديد من المؤسسات والباحثين في جميع أنحاء العالم بيانات TOMS في أبحاثهم وتحليلاتهم في مجالات علوم المناخ والجيوفيزياء.. [12]

➤ **المناطق الجافة:** يتم اكتشاف الهباء الصحراوي بشكل رئيسي في:

النطاق فوق البنفسجي [0.34 - 0.38] مع سواتل TOMS (مثل مؤشر الهباء

الجوي AAI (مؤشر امتصاص الهباء الجوي). نطاق الأشعة تحت الحمراء [8-13 ميكرومتر] مع الأقمار الصناعية METEOSA من الجيل الأول والثاني (على سبيل المثال مؤشر IDDI (فهرس غبار فرق الأشعة تحت الحمراء).

➤ **فوق المحيط (والمناطق المظلمة الشبيهة بالغيابات)،** تتم المراقبة الساتلية في: النطاق المرئي [0.4 - 0.8] ميكرومتر ، مع

الأقمار الصناعية MODIS، POLDER .

### I-3-4-1-4-3-1 ليدار

ينتج LIDAR ملفات تعريف ويوفر وصولاً محلياً إلى الهيكل الرأسي للغلاف الجوي. يعتمد مبدأ الجهاز على حزمة الليزر التي تسير الغلاف الجوي في المنطقة المرئية و / أو الأشعة تحت الحمراء القريبة على الفور، دون أن ترعجها البيئة.

تتفاعل الإشارة المنبعثة من LIDAR مع مكونات الغلاف الجوي المختلفة حاضراً. ثم يسجل التلسكوب الإشارة المتناثرة. يمكن بعد ذلك استنتاج خصائص المكونات من خلال استغلال العمليات الفيزيائية المختلفة المسؤولة عن تشتت الخلفي للإشارة. هناك أنواع مختلفة من LIDAR يمكن قياسها أيضاً على أساس تشتت الخلفي المرن، والبعض الآخر على الامتصاص التفاضلي، أو حتى تأثير

دوبلر (يستخدم LIDAR لقياس المظهر الجانبي الرأسي لسرعة الرياح واكتشاف القصف) أو حتى استقطاب رامان. يعتمد التشتت الخلفي لحزمة الليزر على تركيز الجسيمات وقوتها العاكسة، وهناك:

✓ ليدار (tel that lidar Cimel).

✓ ليدار CALIOP الفضائي ، مضمن في CALIPSO في سلسلة الأقمار الصناعية (قطار أ). [22] تظهر الشكل المحطات التي

ساهمت في الشبكة منذ عام 1993 وحتى مارس 2016، وكثافتها غير متجانسة، خاصة في المناطق الأكثر صحراوية .



الشكل I-17: ليدار CALIOP الفضائي مضمن في سلسلة الأقمار الصناعية التي ساهمت في الشبكة منذ عام 1993 وحتى مارس 2016

[25]



**الفصل الثاني :**

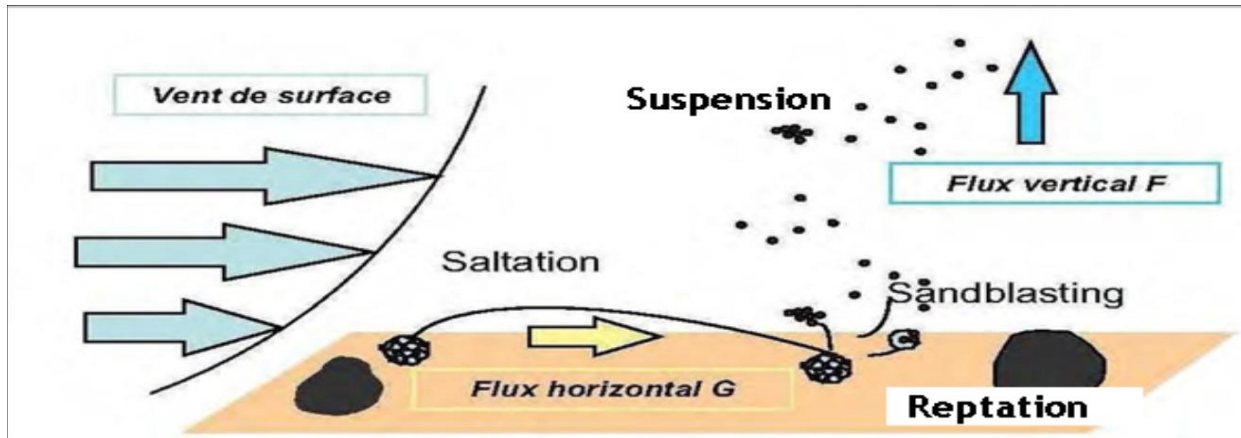
**دورة الغبار في الغلاف الجوي**

## 1-II مقدمة

تم في هذا الفصل شرح دورة الغبار في الغلاف الجوي، تعد دورة الغبار في الغلاف الجوي ظاهرة طبيعية تحدث عندما يتم رفع جزيئات الغبار من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي وتحركها في الأجواء. تتأثر حركة الجزيئات بعدة عوامل، منها الرياح وتغيرات الضغط الجوي والظروف الديناميكية. عادة ما تبدأ العواصف الرملية بنفخ الرياح على الرمال والأترية في الصحاري، مما يؤدي إلى رفع الغبار في الهواء ونقله إلى مناطق أخرى. يمكن للغبار الصحراوي التحليق عبر القارات والمحيطات، ويمكن لهذه الجسيمات الدقيقة أن تتأثر بتغيرات في الطقس والرياح والتيارات الهوائية، مما يؤدي إلى انتقال الغبار الصحراوي إلى مناطق أخرى ويمكن أن يؤثر على الصحة والبيئة المحيطة به.

## 2-II أنماط حركة جزيئات الغبار الرمل عند حالات غبارية

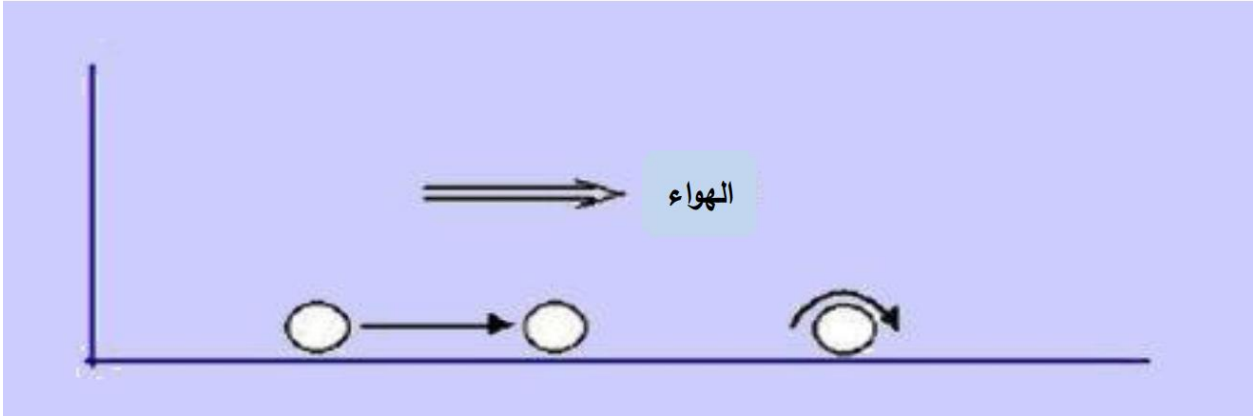
يشترط انتشار الجسيمات في الهواء أو رفعها من مصادرها الطبيعية أو الصناعية، توافر ثلاثة شروط أساسية. الشرط الأول هو توافر الجسيمات بكميات كافية في التربة لتحريكها بواسطة الرياح. والشرط الثاني هو عدم وجود عوائق على السطح الذي يساهم في تقليل حركة الجسيمات، مثل الغطاء النباتي. وأخيراً، يجب أن يكون توافر طاقة الرياح كافياً لتغلب على القوى اللاصقة بين الجسيمات. وفي حال توافرت هذه الشروط، يمكن حدوث أنواع مختلفة من حركة الجسيمات في الهواء. [26]



الشكل 1-II-1 تخطيطي للعمليات الثلاث التي تساهم في نقل الهباء الجوي الصحراوي [27]

## II-2-1 الزحف:

تتعلق بأكبر الجسيمات التي يزيد قطرها عن 2 مم، فهي ضخمة جداً بحيث لا يمكن رفعها، لكن تأثير الرياح على سطح الأرض يسمح بانزلاقها. تتحرك أفقياً بفعل القصور الذي تسببه الرياح على سطح التربة، ويساعد حجم الجزيئات الكبيرة أو الرياح الضعيفة على تسهيل الانزلاق الأفقي لتلك الجسيمات [26]

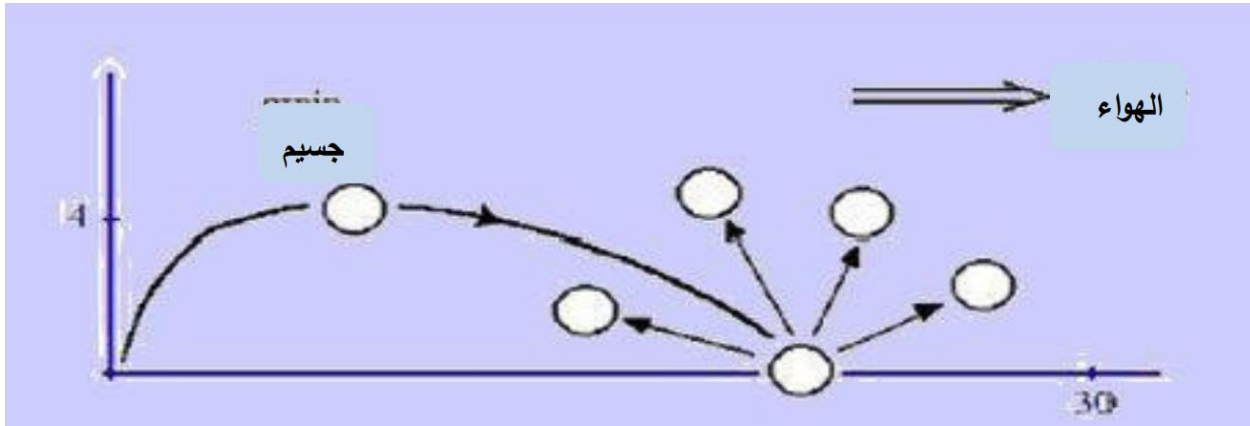


الشكل II-2: رسم تخطيطي للدوران والانزلاق ( www.ma.auf.org )

## II-2-2 القفز:

القصف الرملي تؤثر الحركة على الجسيمات التي يصل قطرها إلى 100 ميكرومتر، حيث ترتفع هذه الجسيمات عن سطح الأرض وتنقل بعيداً عنه بمسافات تصل إلى عدة سنتيمترات أو أمتار. لكي تظل هذه الجسيمات معلقة في الهواء، يجب أن تتواجد القوى الجاذبية الناجمة عن حجم الجسيمة وقوة الرفع الهوائية في حالة توازن على الأقل. بسبب حجمها الكبير، تتساقط الجسيمات الأكبر بسرعة بالقرب من مصدرها ويمكن أن تتجمع في تجمعات. ومع ذلك، يمكن أن تبقى الجسيمات الكبيرة معلقة في الهواء بشكل متزايد مع زيادة سرعة الرياح. عند الاصطدام، يتم تكوين جسيمات أصغر حجماً وتحريكها بدورها.

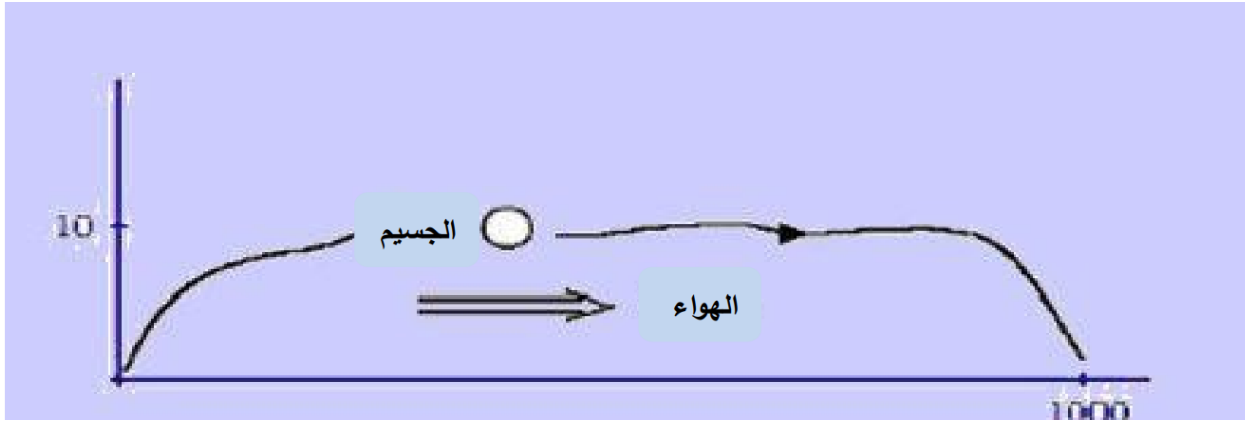
إذا عادت الجسيمات التي تم رفعها إلى الأرض واصطدمت بجسيمات أخرى، فإنها ترتد باتجاه الأعلى والأمام ويستمر العملية. إن الحركة المتقطعة هي عملية فعالة للغاية في تحريك ونقل الجسيمات، ويمكن أيضاً حمل الجسيمات الأثقل [26].



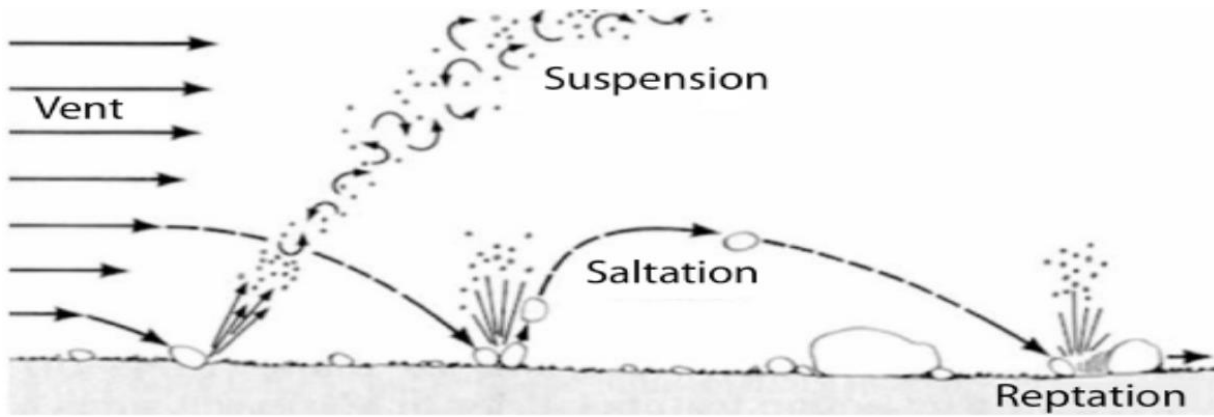
الشكل II-3: مخطط حركة القفز ( www.ma.auf.org )

### II-2-3 التعليق :

يتم نقل الجزيئات الرملية عبر الهواء وتعليقها بواسطة الرياح، خاصةً إذا كان حجم الجسيمات صغيراً بما يكفي (أقل من 10 ميكرومتر)، حيث تظل معلقة لفترة طويلة بفعل التيارات الصاعدة القوية التي تستطيع حملها. وبمجرد دخولها في الغلاف الجوي، يمكن أن تبقى الجسيمات معلقة لفترة قصيرة، ويصل حجمها إلى ما بين 20 و 70 ميكرومتر. وإذا كان حجم الجسيمات أكبر من 20 ميكرومتر، فسيتم توزيعها في الطبقات العليا للغلاف الجوي ونقلها بواسطة التيارات الهوائية عبر مسافات طويلة. يمكن للرياح القوية أن تنقل جسيمات الغبار لآلاف الكيلومترات عبر مجرى دوامات متجدد، ويعتمد كمية الجزيئات المنقولة على حجمها وتكوينها المعدني وبالتالي يمكن أن تصل إلى المصب البعيد فوق سطح الأرض. [28]



الشكل II-4: عملية التعليق ( www.ma.auf.org )



الشكل II-5: توضيح الظواهر التي تحكم حركة جسيم بفعل الرياح [26]

### 3-II آليات رفع جزيئات الغبار

تحريك الغبار بواسطة الرياح هي ظاهرة طبيعية يتم تحديدها بواسطة خصائص السطح الأرضي مثل الغطاء النباتي وخشونة التربة والرطوبة، بالإضافة إلى سرعة الرياح بالقرب من السطح. لحدوث عاصفة ترابية، يتطلب الأمر سرعة رياح كافية لرفع وجر جزيئات الغبار من الأرض فوق سمك الطبقة الحدودية السطحية (CLS)، التي لا يتجاوز سمكها عشرة أضعاف سمك الطبقة الحدودية الجوية. تشير التجارب المخبرية والملاحظات إلى وجود علاقة غير خطية بين حجم الجسيمات المرفوعة وسرعة الرياح، بالإضافة إلى حد أدنى

لسرعة الرياح يسمى العتبة، والذي يتطلب أن تكون سرعة الرياح فوقه لتحريك الحبيبات. في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، يتم تقدير هذا الحد الأدنى لسرعة الرياح بحوالي 6 م / ث [29].

يوضح الجدول سرعات الرياح اللازمة لرفع جسيمات الرمل والأتربة المنقولة في بيئات مصدرها المختلفة. وتتمثل أول جسيمات الرمل والأتربة المنقولة في تلك التي يتراوح قطرها بين 0.08 و 1 مم. ويتطلب رفع هذه الجسيمات سرعة رياح تتراوح بين 5 و 13 م / ث [30]

الجدول II-1: سرعة عتبات رفع الغبار لمختلف البيئات الصحراوية [30]

عتبة سرعة الرياح م / ث	المحيط
5 إلى 8	كثبان رملية تقترب إلى المتوسط
10	المناطق الرملية والمناطق الحجرية الصغيرة
9 إلى 11	مصادر الملح الصحراوي، مواد منتهية
20	صحراء الحصى

تعد عملية رفع الغبار في الطبقة الحدودية السطحية أحد الظواهر البيئية المهمة التي تتأثر بتقلبات الرياح. وتؤدي الاضطرابات والدوامات الأفقية التي تولدها حركة الرياح عمومًا إلى تثير الغبار في الجو. ووفقًا للنتائج التجريبية الموثوقة، فإن سرعة الرياح اللازمة لرفع الغبار تتفاوت بشكل كبير حسب ارتفاع المكان عن سطح الأرض. وعلى سبيل المثال، فإنه إذا هبت الرياح على سطح الأرض بسرعة 8 م/ث، فإنه يجب أن تصل سرعة الرياح عند ارتفاع 305 متر فوق سطح الأرض إلى حوالي 15 م/ث للحفاظ على جزيئات الغبار في مكانها. [30][31][32].

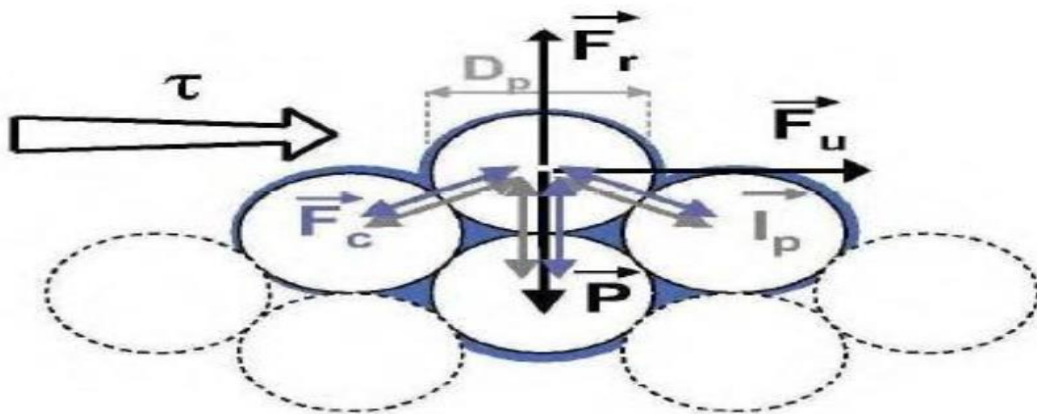
تعتبر العواصف الترابية ظاهرة شائعة تؤثر على مناطق مختلفة من العالم، وتفضل بشكل خاص من قبل الطبقات الحدودية للغلاف الجوي غير المستقرة (CLS)، وذلك بسبب الحركات الرأسية القوية التي تساعد في رفع جزيئات الغبار إلى الغلاف الجوي العلوي. بالمقابل، فإن الطبقات الحدودية للغلاف الجوي المستقرة (CLS) تمنع حركات الرفع الرأسية، مما يحول دون رفع الغبار إلى الغلاف الجوي العلوي [26].

## II-4 الظروف الديناميكية في بداية الرياح الرملية

يعتمد عملية رفع الجزيئات المعدنية على الخصائص الفيزيائية للتربة والرياح. وتشمل هذه الخصائص خشونة التربة، وحجمها، وكتلتها، ورطوبتها، بالإضافة إلى سرعة واتجاه الرياح. تمارس الرياح ضغطاً ايروديناميكياً على سطح التربة، وتختلف قوة هذا الضغط وفقاً لخصائص التربة. وتعد هذه الظاهرة عتبية، وتعتمد على عوامل متعددة، بما في ذلك سرعة الرياح واتجاهها، وخصائص التربة. في الواقع قوة الاحتكاك على السطح  $\tau$  يميل إلى سحب الرمل من الأرض، بينما الثقل،  $p$  قوة التماسك بين الجزيئات، القوى الشعرية (عكس الجاذبية) والتي يمكن أن تكون مهمة عندما تحتوي التربة على نسبة كبيرة من الماء السائل تميل إلى الاحتفاظ بها على الأرض.

$$\vec{\tau} = \vec{P} + \vec{I}p + \vec{F}p \quad (1 - II)$$

بالقرب من سطح السطح، تمثل الرياح تدرجا عموديا تعتمد قوته على القدرة التربة على إبطاء تدفق الهواء، إن قوة الاحتكاك للرياح تمارس على الحبيبات الشديدة للحساسية للتغيرات في خصائص السطح المتعلقة بوجود الغطاء النباتي أو الصخري.



الشكل II-6: توازن القوى التي تتعرض لها حبة رمل ذات القطر  $D_p$  تحت إجهاد القص  $\tau$  [33].

حيث :

$(D_p)$  قطر حبة الرمل

$(\vec{F}u)$  القوة الناتجة عن الحركة الدينامكية للرياح

$(\tau)$  إجهاد القص

$(\vec{P})$  ثقل الجسم

$(\vec{I}_p)$  قوى الجسيمات

$(\vec{F}_c)$  القوى الشعيرية

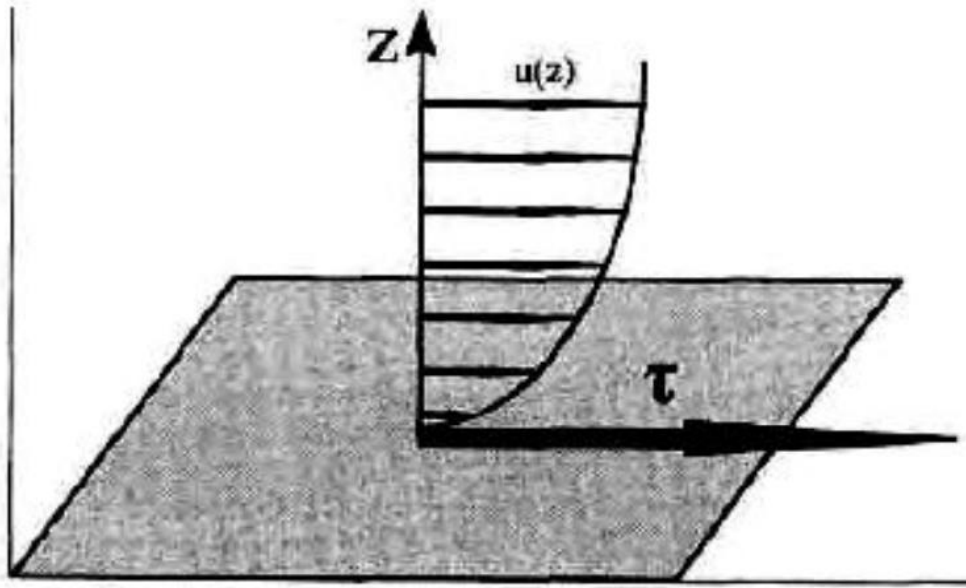
$\vec{F}r$  القوة الناتجة

يجب أن نأخذ بعين الاعتبار العلاقة المتبادلة بين الريح والتربة وتأثير الرياح الوسطية السينوبتيكية على حركة حبيبات التربة في الطبقة الحدودية. تتأثر حركة الحبيبات بقوة الاحتكاك التي تمارسها الرياح، والتي يمكن حسابها باستخدام قانون نيوتن للحركة. يتم حساب الإجهاد القصي على سطح التربة  $(\tau)$  عن طريق ضرب معامل الاحتكاك بين التربة والرياح  $(\mu)$  في قوة الرياح المستعملة  $(F)$ ، أي:



$$\tau = u \left( \frac{du}{dz} \right) = \rho_a u_*^2 \quad (2 - II)$$

بالإضافة إلى ذلك، يؤدي التدرج العمودي لسرعة الرياح إلى توليد تيارات هوائية متعددة تتفاعل مع حبيبات التربة وتؤدي إلى تدفق رقائقي على السطح الأفقي. يمكن تحديد شكل حركة حبيبات التربة واتجاه تدفقها باستخدام نماذج حركة الهواء وتحليل الطبقة الحدودية. اعتمادا على طبيعة التربة، فإن متوسط عتبة الرياح السطح  $Z$  المطلوبة لرفع الجزيئات ليس هو نفسه [27][34].



الشكل II-7: تمثيل تأثير التربة على تدفق الهواء و إجهاد القص  $\tau$  الذي يمارسه التدفق على الأرض [35]

يتم شرح قوة الاحتكاك كدالة لسرعة الاحتكاك ( $u$ )، المعادلة هي بعد فيزيائي يستخدم لقياس قوى الاحتكاك التي تسببها الرياح على السطح فيزيائيا تمثل سرعة الاحتكاك تجسد معدل زيادة سرعة الرياح بدالة لوغاريتم الارتفاع بالقرب من السطح الأرض في الطبقة السطحية ( $CLS$ ) يتم تحديدها في وضع محايد من متوسط سرعة الرياح المقاسة على ارتفاع ( $Z$ ) للأرض وتتميز بالخشونة ( $Z_0$ ) [34]

• من أجل  $Z_0 > Z$

$$u_* = Ku(z) / \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right) \quad (3- II)$$

$u_z$  : متوسط سرعة الرياح الأفقية (m/s) على الارتفاع ( $Z$ ) في  $CLS$ .

$u_*$ : سرعة الاحتكاك m/s

$\mu_a$ : معامل اللزوجة الحركية للهواء

$\rho_a$ : الكتلة الحجمية للهواء

$k$  : 0.38 ثابت فون كارمان

$Z_0$  و  $Z$ : خشونة السطح

بشكل عام، يمكن القول إن الطبيعة الفيزيائية للتربة تلعب دورًا حاسمًا في تأثير الرياح الوسطية السينوبتيكية على حركة حبيبات التربة وتدفعها على السطح الأفقي. يجب دراسة هذه العلاقة بدقة لفهم تأثير الظروف المناخية والجيولوجية على تشكل التضاريس [35]

## 5-II إنتقال الغبار الصحراوي

عندما يتم رفع جزيئات الهباء الجوي في الوسط الجوي، فإنه يمكن نقلها عموديًا إلى طبقات التروبوسفير العليا بالقرب من المصادر، أو أفقيًا على مسافات طويلة قبل النزول. وتختلف الظواهر الجوية والديناميكية التي تؤثر على هذه السيناريوهات اعتمادًا على خصائص فيزياء الجسيمات، مثل الاضطرابات والنسائم وحدود الحرارة والأمامية وما إلى ذلك. ويمكن للهباء الجوي أن يبقى في الغلاف الجوي لفترات تتراوح بين بضع دقائق إلى عدة أيام قبل النزول إلى الأرض.

## 1-5-II النقل العمودي

➤ يمكن رفع الهباء الجوي بشكل رأسي في المناطق القريبة من مصادره، وترسبه على مسافات قريبة تصل إلى أقل من 2 كيلومتر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن رفع الهباء الجوي بشكل عمودي بواسطة الحمل الجاف في المنخفضات الحرارية والطبوغرافية [36]، ويشكل طبقة داخل الطبقة الحدودية الصحراوية. تشكل الطبقة الحدودية الصحراوية ثلاث طبقات متميزة، بما في ذلك طبقة من الهواء الصافي من السطح إلى أعلى الطبقة الحدودية، وطبقة من الغبار الصحراوي، وطبقة أخرى من الهواء النقي. ويتم

رفع الأتربة التي تم رفعها حديثًا بين 0 و 1 كيلومتر، في حين تنتشر الأتربة على مسافة تتراوح بين 1.5 كيلومتر و 4 كيلومترات. يجب الإشارة إلى أن ظاهرة القفز الهيدروليكي مرتبطة بعلم الجبال ويمكن أن تؤدي إلى ارتفاع الغبار، مما يساهم في تشكيل التكوين المتزامن لطبقة الأتربة الجوية. [37]

➤ يمكن أن يكون النقل العمودي للهباء الجوي مرتبطًا بالدورة النهارية للحمل الجاف. وذلك يعني أن الاضطراب الناجم عن عدم الاستقرار الحراري في فترة ما بعد الظهر يؤدي إلى خليط متجانس من طبقات مختلفة من الجو، ومن ثم يتم رفع الهباء الجوي عموديًا. وعلى هذا الأساس، تمتد طبقات الهباء الصحراوي من سطح الأرض حتى 6 كيلومتر، ويمكن ملاحظتها على مستوى الاحتباس الحراري.

➤ يمكن رصد تأثيرات الهواء الصحراوي المحمل بالغبار عندما يلتقي بتيارات (Mousson). يمكن رفع الهواء الصحراوي عموديًا بسبب تدفق (Mousson)، ويمكن أن ينتج ذلك عن ثلاث طبقات مختلفة من الناحية الحرارية. يشمل ذلك طبقة رطبة من تيار (Mousson)، وطبقة مسطحة من الهواء الصحراوي المحمل بالغبار، وأخيرًا طبقة من الهواء النقي فوق 500 هكتوباسكال تقريبًا.

➤ يمكن رفع الهباء الصحراوي إلى سحب الحمل الحراري، ومن ثم تصل إلى طبقة التروبوسفير العليا (<16 كم) بتركيز حوالي 6 جسيمات لكل سنتيمتر مكعب. [38][1]

## II-5-1-1 تدفق (Mousson):

تدفع موسمي هو رياح رطبة ودافئة تهب من المحيط الهندي وخليج البنغال إلى القارة الآسيوية خلال فصل الصيف. يعتبر تأثير هذه الرياح الجزء الأهم من مناخ جنوب آسيا وجنوب شرق آسيا. يتسم تدفق الرياح الموسمية بشكل خاص أثناء الليل في حالة عدم وجود اختلاط مضطرب [39]، يمكن أن تمتد طبقة الهواء الرطب على ارتفاع 1500 إلى 2000 متر [40]، تؤدي تلك الرياح إلى هطول الأمطار الغزيرة على بلدان المنطقة خلال الصيف، مما يؤدي إلى تغذية مصادر المياه وزراعة المحاصيل الحيوية. وتتميز هذه الرياح بتغير اتجاهها بين فصل الشتاء والصيف، حيث تهب في اتجاه عكسي خلال فصل الشتاء. تكون شدة الرياح الموسمية قصوى في الساعات الأولى من اليوم ويمكن أن تصل سرعتها إلى 20 م / ث على ارتفاع 500 م [41]

## II-5-2 النقل الأفقي

يتم نقل الهباء الجوي المنبعث من منطقة الساحل والصحراء في ثلاثة اتجاهات تفضيلية.



الشكل II-8: مسارات النقل الرئيسية للغبار المعدني [42]

## II-5-3 النقل عبر المحيط الأطلسي

يخضع هذا النقل نحو المحيط الأطلسي بشكل أساسي لتدفق HARMATAN غرب إفريقيا تتبع مسارين رئيسيين:

1. نحو الجنوب: وفقاً، ما يقرب من 60٪ من الهباء الجوي الصحراوي إلى خليج غينيا. وقد أظهرت

دراسات أخرى أن هذه الجسيمات يمكن أن تصل إلى أمريكا الجنوبية [43].

2. 28٪ من الغبار الصحراوي ينتقل غرباً نحو المحيط الأطلسي ويمكن أن تصل إلى جزر الهند الغربية.

يتسبب تدفق الرياح الموسمية والنشاط الإعصاري في حدوث هذا النقل في على ارتفاعات أعلى مما

كانت عليه في الشتاء.

**II-3-5-1 رياح (HARMATAN):**

إنها رياح حارة وجافة وملئية بالغبار من الصحراء تجتاح غرب إفريقيا من الشمال الشرقي إلى سواحل خليج غينيا في الجنوب. إنه نشط على مدار العام ولكنه أكثر وضوحًا في هذه المنطقة خلال موسم الجفاف بين شهري نوفمبر ومارس / أبريل. هذا شكل مكثف من الرياح التجارية الشمالية الشرقية، ويمكن أن تؤثر مدته وشدته بشدة على نمط هطول الأمطار وبالتالي على الإنتاج الزراعي. عند مواجهة تدفق الرياح الموسمية، ترتفع هذه الرياح، مكونة فوق الساحل، طبقة جافة في طبقة التروبوسفير الوسطى. [1]

**II-5-4 النقل عبر البحر الأبيض المتوسط**

يتم نقل جزء صغير من غبار الصحراء باتجاه البحر الأبيض المتوسط، يجتاحه ضغوط منخفضة فوق البحر الأبيض المتوسط ونشاط إحصاري في شمال إفريقيا بين مارس وأغسطس. يقدر هذا الكسر بنسبة 12%. هذه الغبار غالبًا تصل إلى أوروبا وحتى الدول الاسكندنافية [1]

**II-5-4 النقل إلى الشرق الأوسط**

من مصدر الصحراء الشرقية، يتم نقل أعمدة الهباء الجوي من مارس إلى نوفمبر إلى شبه الجزيرة العربية. يصلون في بعض الأحيان إلى اليابان وجنوب آسيا. تم تأكيد المسارات المختلفة التي تم تحديدها من خلال التطور على مدار عام كامل من متوسطات السماكة الضوئية. [1]

## 6-II الظواهر الرملية والغبارية

### 1-6-II ظاهرة الغبار

#### 1-1-6-II الغبش : (brume sèche)

هو عبارة عن سحابة من الغبار تتكون نتيجة ظروف مناخية معينة في غالبيتها من وجود عوالق غبارية تعيق الرؤية، حيث ينخفض مدى الرؤية الأفقية إلى حدود قد تصل إلى 4 كم، ويبقى الغبار والعوالق الترابية في الجو لفترة زمنية طويلة لحفة وزنه. يحدث الغبش بشكل أكبر في المناطق الصحراوية والجافة وتختلف شدته من منطقة إلى أخرى وتتأثر بشكل كبير بالرياح والتضاريس المحيطة بالمنطقة.

#### 2-1-6-II الغبار الصاعد : (Chasse sable)

يحدث الغبار نتيجة تذبذب الحالة الجوية والتغيرات المناخية التي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض. ويحدث عندما تتراوح سرعة الرياح ما بين 25-75 كم/ساعة، ويمكن أن يصل ارتفاع الغبار في هذه الحالة إلى 75 متر فوق سطح الأرض، وفي بعض الأحيان يصل ارتفاعه إلى 7 كم، وذلك يتوقف على سرعة الرياح.

#### 3-1-6-II العاصفة الترابية : (Tempête de poussière)

ينتج هذا النوع من الغبار نتيجة للرياح شديدة السرعة والتي تتراوح بين 37-60 كم/ساعة، ويتسبب في ارتفاع الغبار إلى عدة كيلومترات فوق سطح الأرض. وعند حدوث هذا النوع من الغبار، يصل مدى الرؤية الأفقية إلى أقل من 1 كم [44][32].

#### 2-6-II الريح الأفقية : (Le vent horizontal)

تعرف الريح على أنها حركة الكتل الهوائية في الاتجاه الأفقي، وتنتقل الرياح من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض بفعل الفروق في الضغط الجوي. وتحدث انحرافات في حركة الرياح نتيجة دوران الكوكب، حيث يتم تعريف العلاقة بين الرياح والضغط الجوي

بتأثير كوريوليس. وتستخدم خطوط تساوي الضغط لتوصيل بين نقاط ذات ضغوط متساوية، وتشير الانحرافات في هذه الخطوط إلى شدة الرياح. وتتناسب اتجاه الرياح مع مواضع الضغط المرتفع والمنخفض، وتهب الرياح في نصف الكرة الأرضية الشمالي في اتجاه دوران عقارب الساعة حول مناطق الضغط المرتفع، وفي اتجاه معاكس لاتجاه دوران عقارب الساعة حول مناطق الضغط المنخفض

### 3-6-II سرعة الرياح : ( Vitesse De vent )

ظاهرة الرمل هي ظاهرة تعتمد على معطيات الرياح، مثل سرعتها واضطرابها، ولكنها ليست مجرد قضية سرعة الرياح فقط. تعتمد الحالات التي يمكن فيها حدوث صعود الغبار أو العواصف الرملية على طبيعة التربة وحالة سطحها ودرجة الجفاف فيها. بالإضافة إلى ذلك، فإن قدرة الرياح على نقل الجسيمات تعتمد على حجم هذه الجسيمات وطبيعة التربة التي ترتفع منها. ولا يكون للرياح التي لها نفس السرعة نفس القدرة على نقل الجسيمات، نظرًا لاختلاف ظروف سطح التربة المختلفة، مثل نسبة الرطوبة وكثافة غطاء التربة بالنباتات وحجم النباتات وتأثير الجفاف. لذلك، فإن فهم ظاهرة الرمل بشكل كامل يتطلب النظر إلى العوامل المختلفة التي تؤثر عليها، وليس فقط النظر إلى سرعة الرياح. [33]

### 4-6-II مدى الرؤية الأفقية : (La visibilité horizontale)

تعتبر مدى الرؤية من المصطلحات الهامة في عالم الأرصاد الجوية، حيث يشير إلى شفافية الغلاف الجوي بالنسبة لرؤية الإنسان. ويمكن تعريف مدى الرؤية بأنه أكبر مسافة يمكن للراصد العادي رؤية جسم أسود ذو أبعاد مناسبة، وذلك بالنسبة لأفق السماء كخلفية للجسم. ويجب أن يكون الجسم يصنع زاوية عند عين الراصد بقدر نصف درجة على الأقل أفقيًا ورأسياً في نفس الوقت. كما يجب أن لا يكون الجسم كبيراً في الاتجاه الأفقي إلى درجة أن يصنع زاوية أكبر من 5 درجات. ويعرف مدى الرؤية الأفقية بأنه أقصى مدى يمكن للراصد العادي رؤيته في الظروف العادية وبالعين المجردة، سواء كان ذلك في الليل أو النهار [45].

✓ العوامل التي تؤثر على مدى الرؤية الأفقية:

المطر ، رذاذ الثلج، الضباب، الشبورة (الضباب في الصباح)، العواصف الرملية والترابية، العجاج، الدخان، أملاح البحر، هبوب الرياح الشديدة والتي تسبب تطاير الرذاذ من ماء البحر... الخ

## 7-II آليات ترسيب الهباء الجوي

ستجعل آليتان من الممكن التخلص من الهباء الجوي من الغلاف الجوي وبالتالي تلعب حوض جزيئات الهباء الجوي.

### 1-7-II الترسيب الرطب أو الرش:

عندما تكون الهباء الجوي في السحب، يتم دمج بعض الجسيمات في قطرات الماء. عندما تصل القطرات إلى حجم الترسيب، فإنها تسقط على شكل مطر تحمل معها جزيئات الهباء الجوي المدججة أثناء سقوطهم. ستسبب هذه القطرات أيضا عن طريق الاصطدام، يمر جزء من الهباء الجوي الموجود في حجم الغلاف الجوي الذي يمر من خلاله، ومع ذلك يمكن إعادة انبعث جزء من الهباء الجوي بسبب إعادة تبخر بعض القطرات أثناء سقوطها. ستكون المعلمات الديناميكية الحرارية الحاسمة لتقييم فعالية هذه الظاهرة هي الرطوبة النسبية محتوى الماء السائل في السحابة وكذلك معدل هطول الأمطار.

### 2-7-II ترسيب جاف :

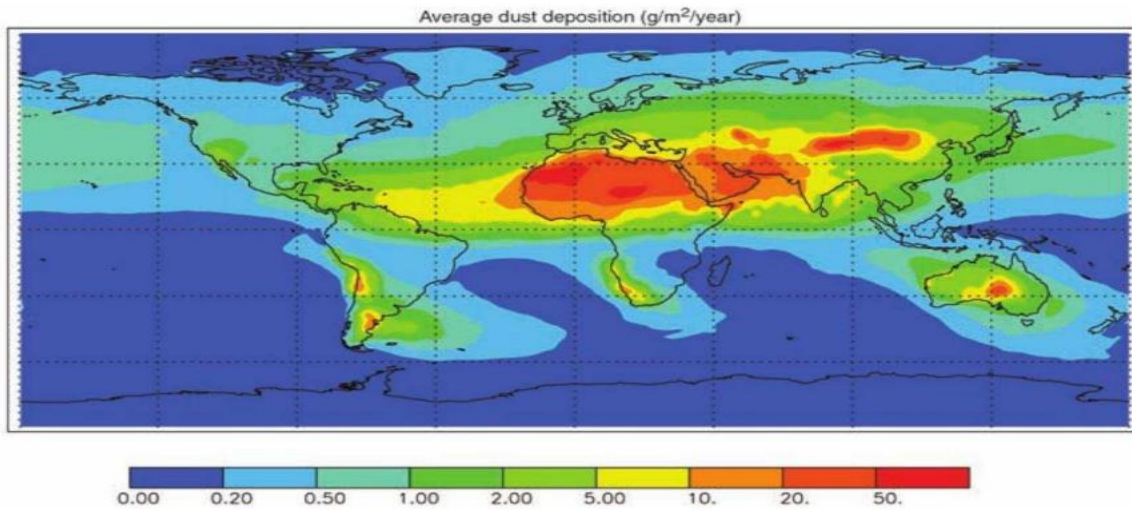
في حالة عدم وجود هطول الأمطار، يتم إزالة جزء من الهباء الجوي من الغلاف الجوي عن طريق الترسيب والحركة البروانية، والإعتراض والتأثير تتم إزالة الجسيمات الأكبر عن طريق الترسيب. هذه الآلية مهمة جدا لترسب الهباء الصحراوي على المحيط.

➤ تعتمد فعالية هاتين الآليتين في إزالة الجزيئات من الغلاف الجوي على حجم الهباء الجوي ، تفاعلها وقابليتها للذوبان ،

وكذلك الظروف الجوية. سيكون لفعالية مصدر الهباء الجوي وشروط البالوعة تأثير على التوزيع المكاني للغبار

الجوي.. [11]



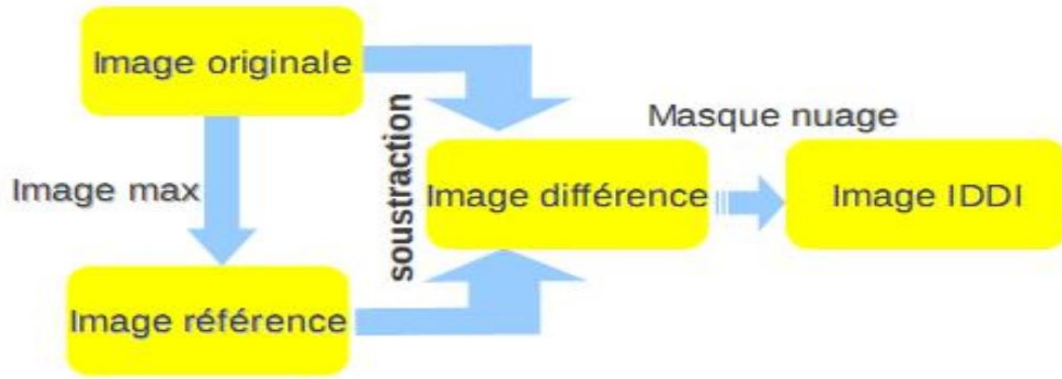


الشكل II-9: ترسب الهباء الجوي المعدني (جم / م<sup>2</sup> / سنة) من متوسط 10 سنوات لثلاثة نماذج من التقديرات [46]

## 8-II مؤشر الهباء (Infrared Difference Dust Index) IDDI

مكنت قناة Meteosat IRT من تطوير مؤشر كشف الغبار فوق الأرض، هو مؤشر (v1) IDDI. ينتج عن التأثير الإشعاعي للغبار داخل نافذة [10.5 – 12.5] ميكرومتر لقناة Meteosat IRT. يتم الحصول عليها من خلال اختلاف وحدات بكسل الأشعة تحت الحمراء بين درجة حرارة السطوع الحد الأقصى الذي تمت ملاحظته خلال فترة خمسة عشر يومًا في الساعة 12:00 بالتوقيت العالمي (صورة مرجع) ، ودرجة حرارة سطوع اليوم D في نفس الوقت (صورة يوميًا).

من الناحية المثالية، تتكون الصورة المرجعية فقط من وحدات البكسل الساطعة (بدون سحابة) ونظيفة (بدون غبار). ويعتبر أن الغيوم والغبار هما الوحيدان المتغيرات الجوية التي تؤثر على الإنارة في الغلاف الجوي. خوارزمية لاكتشاف وإخفاء السحب مدمجة في خوارزمية (v1) IDDI. المخطط التنظيمي، يعرض مبدأ التصنيع لمؤشر (v1) IDDI.

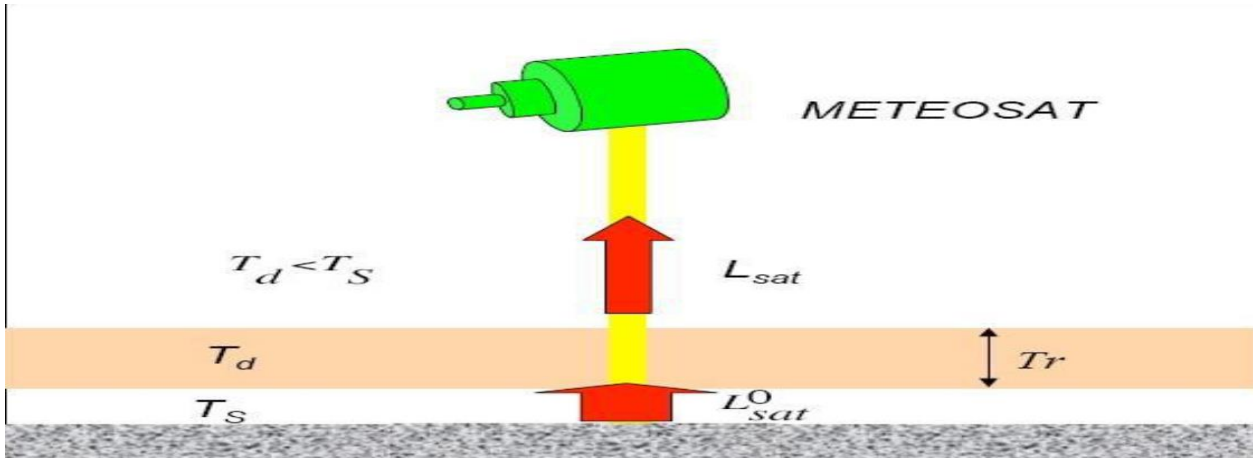


الشكل II-10: مبدأ التصنيع لمؤشر الغبار (v1) (IDDI).

يعتمد الكشف عن السحابة في خوارزمية IDDI (الإصدار 1) على التصنيف بكسل غائمة وفقاً لمبدأ القوس. درست التماسك المكاني للأحجار المرصوفة x33 بكسل، عن طريق حساب المتوسط والانحراف المعياري. العتبة تجعل من الممكن التمييز بين وحدات البكسل الملبدة بالغيوم ووحدات البكسل المترية

### المبدأ الفيزيائي :

بعد الاستشعار عن بعد لغبار الصحراء في IRT فوق القارة طريقة التباين الحراري. يمتص سطح الأرض خلال النهار الإشعاع الشمسي لذلك فهو أكثر دفئاً من الغلاف الجوي المتراكب. إذا كان الجو مغبرة، يمكن اكتشافها لأنها أبرد من السطح. إشعاع المصدر الرئيسي في IRT هو الإشعاع من السطح الساخن الذي ينبعث منه إشعاع فضاء. في حالة وجود غبار، يؤدي ذلك إلى حدوث تغيير في الإنارة الأشعة تحت الحمراء (التهوين) المنبعثة باتجاه الفضاء. في النهار، تكون درجة حرارة الغبار (Td) أبرد من درجة الحرارة السطحية (TS)، مثل (2) (Td < TS)، والسطوع المنبعث نحو الفضاء أضعف من الإنارة المنبعثة من السطح. (Lsat < L0sat).



الشكل II-11: المبدأ الفيزيائي [33]

إذا قمنا بعمل الافتراضات المبسطة التالية:

H1: وجود غازات ممتصة من الغلاف الجوي (بخار الماء ، الخ) غير معروف ؛

H2: نحن نعتبر السطح الأسود ( $\epsilon_s = 1$ ) ، مع درجة حرارة الجلد  $T_s$  ؛

H3: يُفترض أن يكون الغبار غير مبعثر ومتساوي الحرارة ، مع درجة حرارة  $T_d$  و النفاذية  $T$  ص في  $IRT$  ؛

H4: تأثير الغبار على درجة حرارة السطح مهمل (تأثيرات "المظلة" و "المظلة"). ضيق).

ينبعث نضوح السطح (يُفترض أنه أسود "أسود") باتجاه الفضاء في جو صافٍ (صافٍ) هو:

$$L_{sat}^0 = B(T_s) \quad (4-II) \quad 1. \text{ في حالة عدم وجود غبار}$$

$$L_{sat} = T_r \cdot B(T_s) + (1 - T_r) \cdot B(T_d) \quad (5-II) \quad 2. \text{ في وجود الغبار}$$

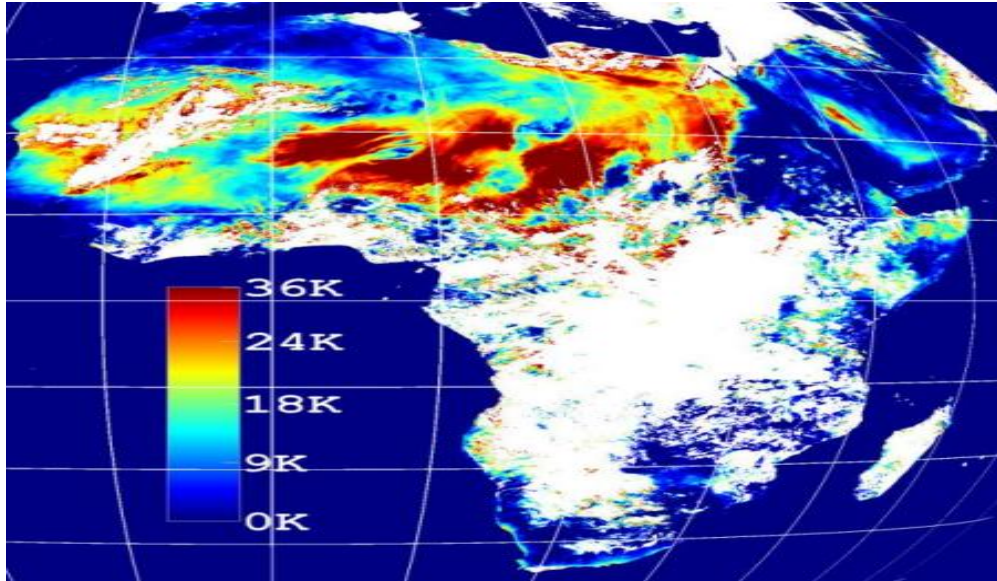
التأثير الإشعاعي لطبقة الغبار في الأشعة تحت الحمراء الحرارية أو المتباينة الحرارية هي:

$$\Delta L_{sat} = L_{sat} - L_{sat}^0 = (1 - T_r) \cdot [B(T_d) - B(T_s)] \quad (6-II)$$

يتم التعبير عن النفاذية بواسطة:  $\Delta L_{sat}^{max} = B(T_d) - B(T_s)$

يكون التأثير الأقصى إذا كان  $T_r = 0$  (طبقة غبار شديدة الكثافة) ، ومن ثم:

"التأثير الإشعاعي  $\Delta L_{sat}$  هو مؤشر الغبار IDDI في الإضاءة أو درجة حرارة السطوع". [47]



الشكل II-12: صورة بواسطة IDDI أثناء بداية الرياح الموسمية 2006/06/10 [47]

الفصل الثالث :

تقييم الخصائص البصرية للغبار

### III-1 مقدمة

في هذا الفصل، نقوم بتحليل الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي باستخدام تحليل MERRA-2 على مقياس زمني ساعي للعمق البصري للهباء الجوي (AOD550)، والعمق البصري لهباء الغبار (Dust-AOD 550) و  $\alpha$  Angstrom Exponent لإجمالي الهباء الجوي. يتم إجراء التحليل لمدة عشر سنوات تمتد من 2013 إلى 2022 على منطقتين: ورقلة و تمنراست (انظر الجدول III-1). سيركز التحليل على التباين الحراري للخصائص البصرية في نطاقات زمنية مختلفة: من الدورة اليومية إلى الدورة السنوية.

### III-2 مناطق الدراسة

- تتمثل المنطقة المدروسة في صحراء الجزائر والتي تمثل 85 من مساحة البلاد، وهي منطقة تتميز بطبيعتها القاسية حيث تشهد درجات حرارة شديدة الارتفاع نهارا وانخفاض ليلا. يتراوح هطول الأمطار فيها من النادر جدا إلى المعدوم، بكميات أمطار أقل من 100 مم في السنة في حين يصل المعدل العام إلى حوالي 25-50 مم في العديد من المناطق.
- وقد قمنا في هذه الدراسة باختيار 2 من محطات السينوبتيكية وطنية وهي: ورقلة، تمنراست.



توضح الخريطة الموقع الجغرافي لكل من منطقة ورقلة و تمنراست

### III-2-1 أهم الخصائص الجغرافية :

الجدول III-1: الخصائص الجغرافية لمحطات الدراسة

الموقع	خط الطول	خط العرض	الارتفاع
ورقلة	05°4' E	31° 91' N	144m
تمنراست	05° 51' E	22° 78' N	1377m

### III-2-2 دراسة مناخية:

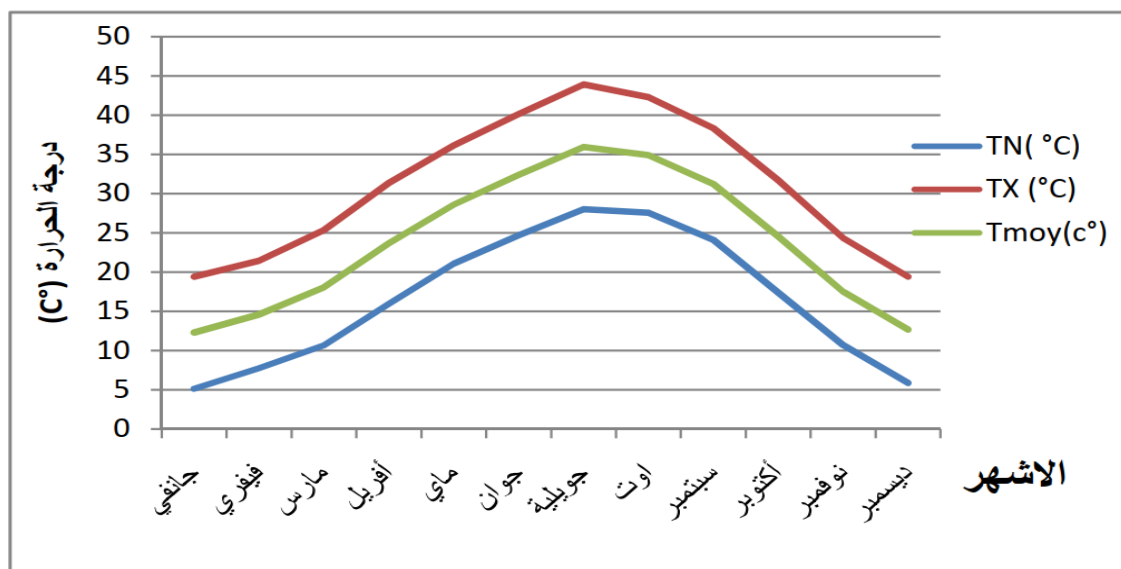
ورقلة :

تتميز بمناخ صحراوي جاف وحار، حيث تتراوح درجات الحرارة بين 10 درجات مئوية في فصل الشتاء وأكثر من 50 درجة مئوية في فصل الصيف، وتشهد كميات قليلة جدًا من الأمطار حيث يتراوح المعدل السنوي للأمطار بين 20 و30 مم فقط، وتتركز هذه الأمطار بشكل كبير خلال فصل الشتاء. كما تعد الرياح ظاهرة شائعة في الولاية خلال فصل الربيع والصيف، ويكون الرياح الجنوبية الغربية هي الأكثر شيوعًا في الولاية. وتحتوي التربة في ولاية ورقلة على نسبة عالية من الملوحة والجفاف.

### II-2-3 البيانات المناخية بمنطقة ورقلة ( 2014-2018):

✓ درجة الحرارة :

يسود هذه المنطقة مناخا صحراويا جافا بشكل عام إذ يبلغ متوسط درجة الحرارة القصوى 44° في شهر جويلية حيث يعتبر من الأشهر الأكثر سخونة في هذه المنطقة وتسجل ادني درجات الحرارة في كل من شهر جانفي وديسمبر وتبلغ 5° وتعتبر هذه الأشهر الأكثر برودة في الفترة الممتدة من (2014-2018) انظر الشكل(III-1) حيث تمثل TN درجة الحرارة الدنيا، TM درجة الحرارة القصوى، Tmoy درجة الحرارة متوسطة.



الشكل III-1 : تغيرات درجة الحرارة بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة (2014-2018)

✓ الرطوبة النسبية :

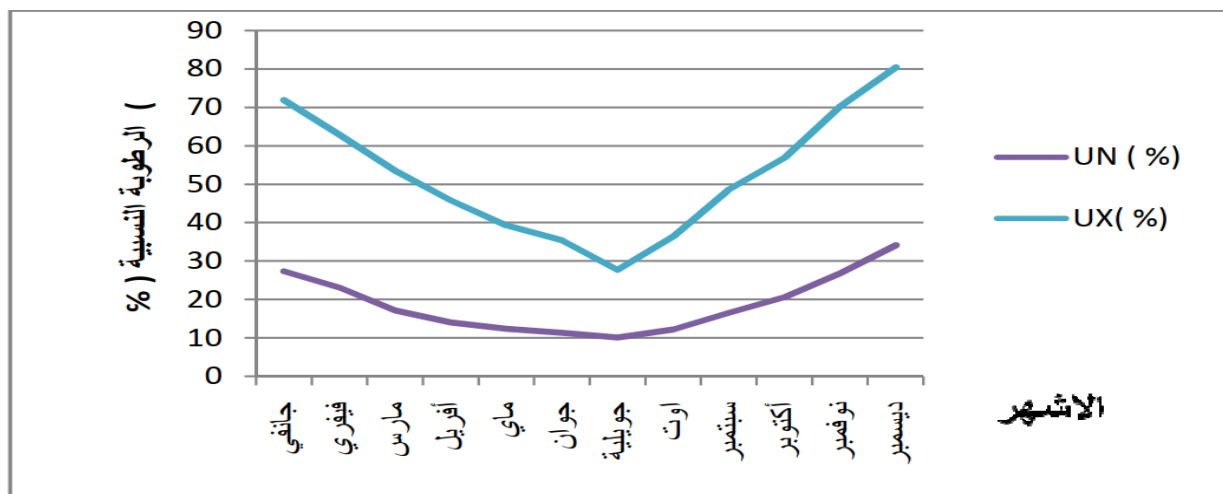
كما نسجل أكبر نسب الرطوبة في فصل الشتاء في شهر جانفي وديسمبر حيث تبلغ نسبة الرطوبة بين 71-80 % وتتناقص حتى

تصل إلى نسبة 30% في فصل الصيف سجلت هذه القيمة في شهر جويلية، حيث نلاحظ انخفاض نسبة الرطوبة خلال فصل

الصيف وهذا يرجع إلى زيادة درجة الحرارة وشح الأمطار. الشكل III-2 حيث توضح UN الرطوبة النسبية الدنيا و UX الرطوبة

النسبية القصوى .





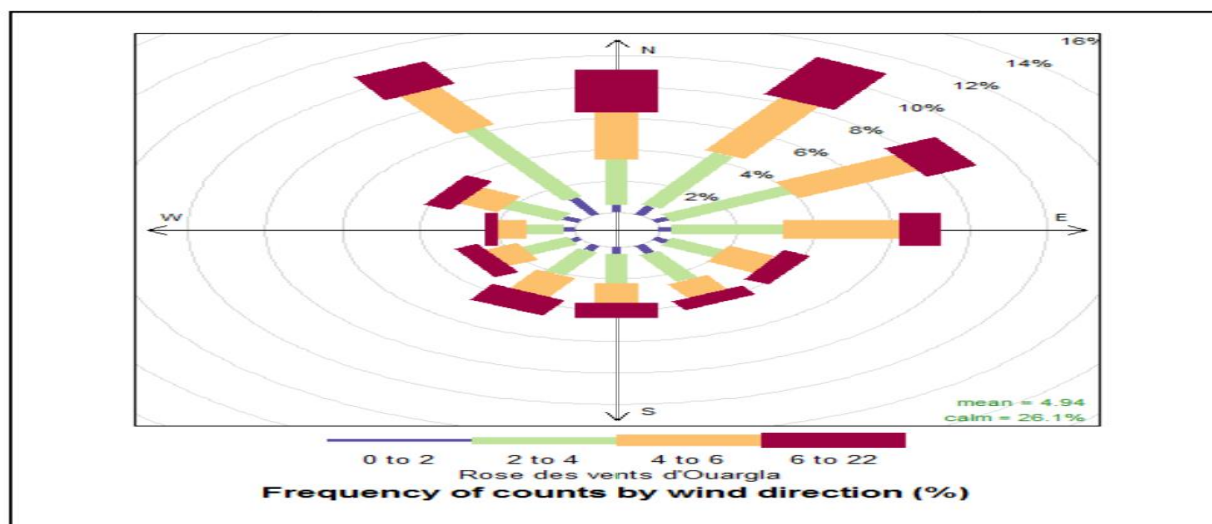
الشكل III-2 : تغيرات الرطوبة النسبية بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في فترة (2014-2018)

✓ الرياح :

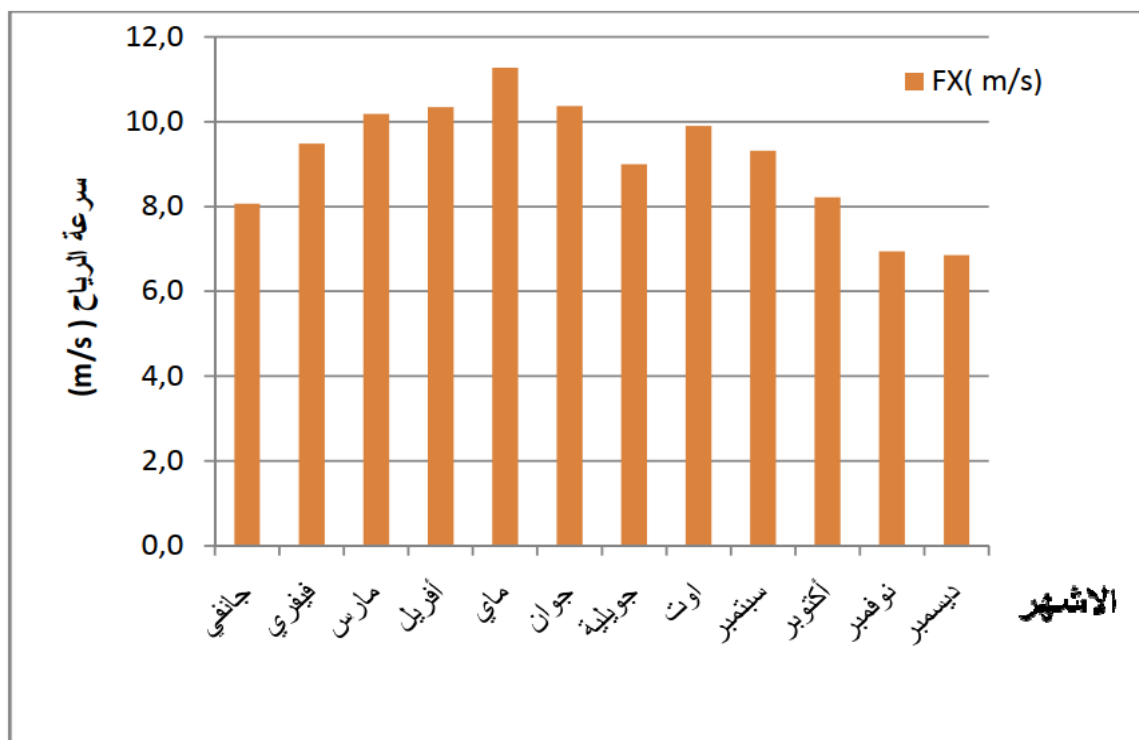
يتبين في هذه المنطقة هبوب رياح تكون شمالية شرقية في فصل الصيف حيث يبلغ متوسط السرعة 5م/ث كما هو مبين في الشكل

كما تكون هذه الرياح نشطة في الفترة الممتدة من شهر فيفري حتى شهر جويلية، وتبلغ السرعة القصوى للرياح 11م/ث في شهر ماي

حيث FX السرعة القصوى للرياح .



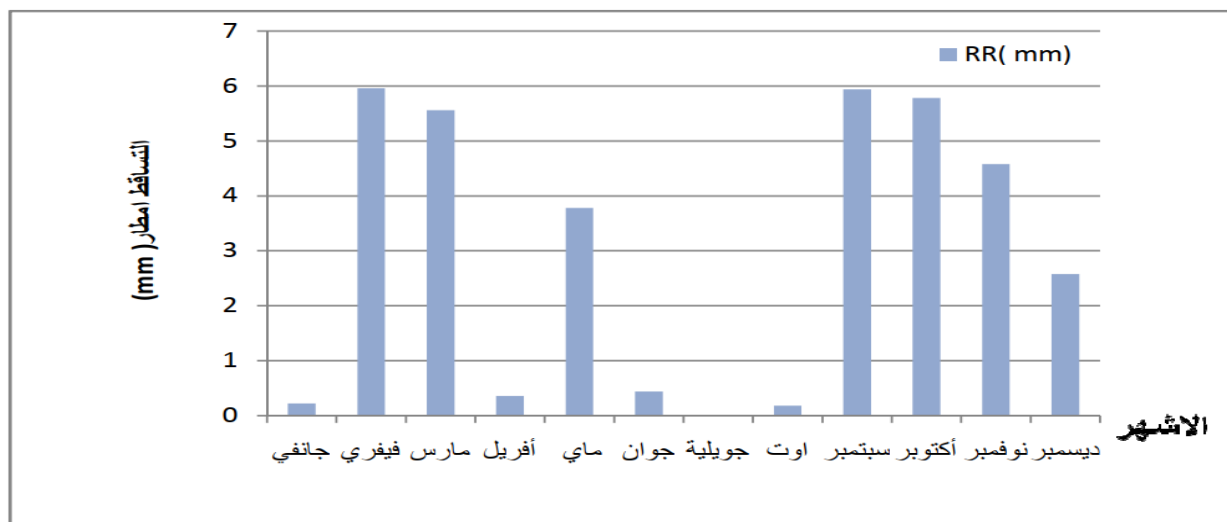
الشكل III-3 : وردة الرياح لمنطقة ورقلة



الشكل III-4: تغيرات السرعة القصوى للرياح بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة الممتدة (2014-2018)

✓ كمية التساقط :

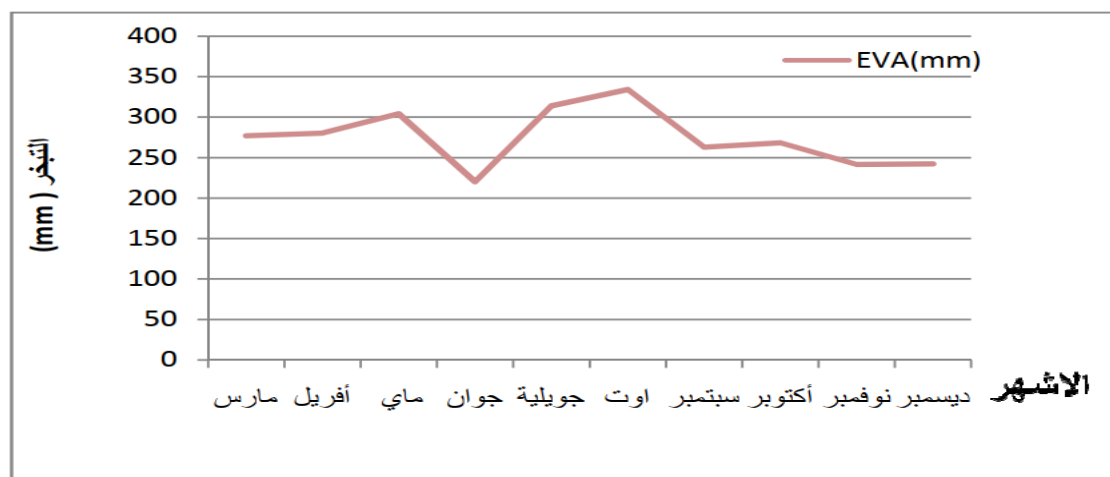
تشهد المنطقة شح في الأمطار حيث يبلغ المعدل السنوي للتساقط 35.38 ملم، وتبلغ أكبر نسبة للتساقط في شهر فيفري وسبتمبر تقريبا 6 ملم كما يكون التساقط في شهر جويلية منعدم. شهدت هذه المنطقة فترة ممطرة في فيفري مارس ماي متزامنة مع فصل الربيع ومن سبتمبر إلى ديسمبر متزامنة مع فصل الخريف كما يشهد شهر جانفي وأفريل جوان جويلية أوت حالة من الجفاف وتقدر نسبة التساقط لهذه الأشهر أقل من 1 ملم الشكل III-5 حيث RR تمثل كمية تساقط الأمطار.



الشكل III-5: تغير كمية التساقط بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في (2014-2018)

✓ التبخر :

تتميز منطقة الدراسة بتذبذب في كمية التبخر حيث ادني قيمة تقدر 240 ملم وأكبر قيمة التي تقدر 340 ملم أكبر قيمة للتبخر تسجل خلال فترت الصيف في شهر أوت وتقدر ب 340 ملم و أدنى قيمة تسجل في شهر ديسمبر وتقدر ب 245 ملم. حيث EVA يمثل التبخر.



الشكل III-6: تغيرات كمية التبخر بدلالة الأشهر بمنطقة ورقلة في الفترة (2014-2018)

تمنراست:

يتميز مناخ ولاية تمنراست بالجفاف الشديد وارتفاع درجات الحرارة خلال فترة الصيف وانخفاض درجات الحرارة خلال فترة الشتاء. تتأثر المنطقة برياح صحراوية خلال العام وخاصة خلال الفترة من أبريل إلى سبتمبر، وتصل سرعة الرياح إلى أكثر من 25 كم/ساعة. تشهد ولاية تمنراست بعض العواصف الرملية خلال العام وخاصة خلال الربيع والصيف، وتؤثر هذه العواصف على حياة السكان والحياة اليومية والزراعة. تشهد المنطقة تساقط أمطار قليلة جداً خلال فصل الشتاء والربيع، ويصل المتوسط السنوي للأمطار في تمنراست حوالي 50 ملم. الجفاف هو من أكبر التحديات التي يواجهها سكان ولاية تمنراست حيث يتعرض المنطقة لفترات جفاف طويلة وتناقص كمية المياه بشكل مستمر. تعتبر الأمطار ضرورية لنمو النباتات الصحراوية وتحافظ على تنوع الحياة البرية في المنطقة.

✓ لقد استخلصنا في هذه الدراسة باستخدام المعطيات الجوية والمناخية، واحدة من أهم المصادر المهمة لهذه البيانات هي

مشروع MERRA-2 (Modern-Era Retrospective analysis for research and Applications). الذي يوفر مجموعة

واسعة من المعلومات المناخية والجوية، تقدم الفقرة الموالية نظرة عامة عن نظام MERRA-2 ومقاييس الأداء المختلفة. كما

تشمل التحسينات في جودة MERRA-2 مقارنةً بـ MERRA. لمزيد من المعلومات أنظر المقال [48]

✓ بدأ إنتاج MERRA-2 في يونيو 2014 ، يمكن الوصول إلى منتجات MERRA-2 عبر الإنترنت من خلال مركز خدمات

معلومات بيانات علوم الأرض التابع لناسا (GES DISC).

✓ الإصدار 2 (MERRA-2) ، هو أحدث تحليل للغلاف الجوي لعصر الأقمار الصناعية الحديث الذي أنتجه مكتب النمذجة

والاستيعاب العالمية التابع لـ NASA. مكتب النمذجة والاستيعاب العالمية (GMAO). يقوم نموذج MERRA-2 بدمج أنواع

المراقبة التي لم تكن متاحة في الإصدار السابق له وهو نموذج MERRA، كما يتضمن تحديثات لنموذج (Goddard (GOES)

(Earth Observing System) ونظام التحليل، بهدف توفير تحليل مناخي مستدام يتجاوز نقطة الانتهاء لـ MERRA. أثناء

معالجة القيود المعروفة لـ MERRA ، يهدف MERRA-2 أيضاً إلى أن تكون علامة فارقة في التطوير لتحليل نظام الأرض

المتكامل المستقبلي (IESA) قيد التطوير حالياً في GMAO. [48]

- ✓ يستخدم في البحث والتطبيقات العلمية. يقدم MERRA-2 تقديرًا تاريخيًا للحالة الجوية والمناخية على مدار 36 عامًا، بدءًا من يناير 1980 وحتى الآن.
- ✓ تعتمد MERRA-2 على البيانات الواردة من مجموعة متنوعة من المصادر، بما في ذلك مجموعة شاملة من الأرقام الاصطناعية وأجهزة الرصد على الأرض ومعلومات النماذج الجوية. يتم استخدام هذه البيانات لإعادة بناء حالة الغلاف الجوي بشكل ثلاثي الأبعاد بدقة عالية وبدقة زمنية ساعة.
- ✓ يتم تنفيذ MERRA-2 بواسطة وكالة الفضاء الأمريكية (NASA)، وتم تطويره بواسطة مركز بحوث الرحلات الفضائية في جودارد للفضاء في ميريلاند، الولايات المتحدة. يتم توفير البيانات المشتقة من MERRA-2 بشكل مجاني للمجتمع العلمي والباحثين للاستخدام في الدراسات والنماذج الجوية والمناخية وغيرها من الأبحاث العلمية.

### III-2-4 مؤشرات الكشف عن الغبار

#### III-2-4-1 العمق البصري للهباء الصحراوي

يعرّف العمق البصري للهباء الجوي على أنه مقياسٌ لقدرة الغلاف الجوي على تشتيت الضوء وامتصاصه، وذلك نتيجةً للجسيمات العائمة في الهواء (مثل الغبار والدخان والضباب وجزيئات الملح وغيرها). ويتم حساب العمق البصري بمقارنة شدة الضوء المستقبلة من السماء في طبقة جوية تحتوي على هذه الجسيمات بشدة الضوء المتوقعة إذا كانت الطبقة خالية من الجسيمات. ويتم قياس العمق البصري بواسطة جهاز النيفوميتر (Nephelometer)، وهو جهازٌ يستخدم لقياس تشتت الضوء في الغلاف الجوي ومن ثم حساب العمق البصري للهباء الجوي [49][20]

يعد معامل الاضمحلال، الذي يتم توفيره من خلال المعادلة (III-1)، خاصية محلية تختلف بناءً على الارتفاع Z. يمكن اعتبار الغلاف الجوي كتكديس من الطبقات الموازية لبعضها البعض، والتي تتوافق مع الشكل الهندسي السطحي المستوي والمتوازي. إذا كانت Z هي محور انتشار الإشعاع الشمسي، فإن كل طبقة متجانسة في الاتجاهات X و Y. وفي هذه الحالة، يتم حساب التكامل لمعامل الاضمحلال:

$$\tau = \int_{\text{surface}}^{\text{sommet de l'atmosphère}} Q_{\text{att}}(z) \quad (1 - \text{III})$$

في حالة الجسيمات العائمة في الهواء، فإن الاعتمادية على  $\lambda$  مرتبطة بشدة بالحجم النسبي للجسيمات مقارنة بـ  $\lambda$ . ومع ذلك، بسبب الامتصاص، هناك اعتمادية لانحطاط الإشعاع المرتبطة بالأنواع الكيميائية التي تشكل الجسيمات العائمة في الهواء. يمتص بعض المواد أطوال موجية معينة أو جزءاً من طيف إشعاع الشمس. يمكن تحديد طيف الامتصاص من خلال دراسة التراكيب النموذجية للجسيمات العائمة في الهواء.

يتم جمع عينات بانتظام لتحليل خصائص الهباء الصحراوي، وذلك خلال حملات القياس الميدانية المنعقدة، إما بواسطة وسائل جوية خلال فترات التركيز العالي للهباء الصحراوي في الجو، أو مباشرة على الأرض في مواقع قريبة من مواقع الانبعاث المفترضة. يتم تحليل هذه العينات في المختبرات وتستخدم خصائصها الضوئية في الامتصاص والتشتت لتزويد قواعد بيانات مثل HITRAN (قاعدة بيانات الامتصاص الجزيئي عالي الدقة)، و GEISA (إدارة ودراسة معلومات الطيف الجوي)، أو OPAC (الخصائص البصرية للهباء والغيوم)

### III-2-4-2 معامل انغستروم

بفضل قياس  $\tau$  عند عدة أطوال موجية، يمكننا تحديد الأس  $\alpha$  Angstrom والذي يصف الاعتماد الطيفي لـ  $\tau$ :

$$\alpha = -\ln\left(\frac{\tau_1}{\tau_2}\right) / \ln\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right) \quad (2 - \text{III})$$

حيث  $\tau_1$  و  $\tau_2$  هما السماكة الضوئية للهباء الجوي بأطوال موجية  $\lambda_1$  و  $\lambda_2$ . بفضل هذه الصيغة، يمكن تقدير السماكة البصرية  $\tau_\lambda$  عند  $\lambda$  من السماكة البصرية  $\tau_1$ ، إلى  $\lambda_1$  ومن  $\alpha$ :

$$\tau_\lambda = \tau_1 \left(\frac{\lambda}{\lambda_1}\right)^{-\alpha} \quad (3-\text{III})$$

يمكن الحصول على معلومات حول حجم المشتت باستخدام  $\alpha$ . عندما يساوي  $\alpha=4$ ، يتوافق المشتت مع الجزيئات. عندما يساوي  $\alpha=2$ ، يتوافق المشتت مع جزيئات وضع التراكم، بينما تتميز القيم القريبة من 0 أو السالبة بالأحجام الخشنة للهباء الصغير مثل هباء

الصحراء. كما يلعب معامل الانكسار للهباء الصغير دوراً في التباين الطيفي للضوء والذي لا يتم احتساب تأثيراته في هذه

الصيغة. [25]

### III-2-5 التحليل الزمني لمنطقة ورقلة في الفترة الزمنية من 2007/03/01 إلى

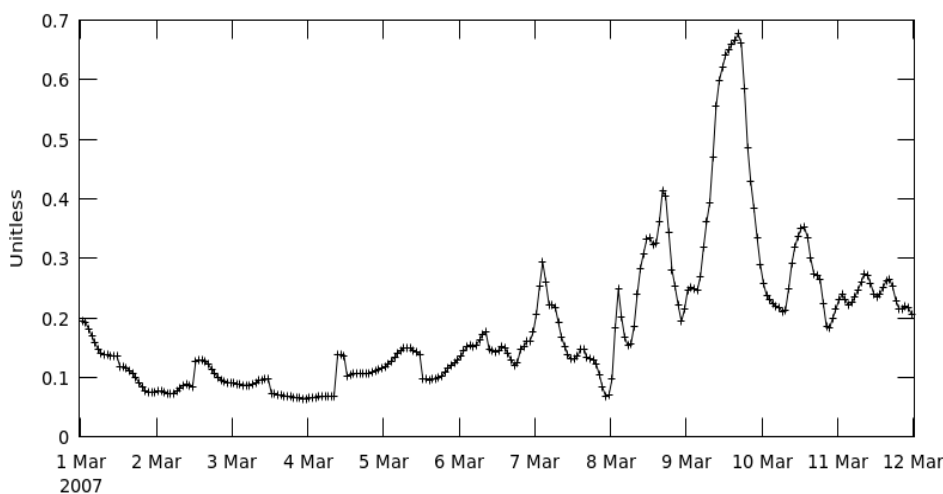
2007/03/13:

لقد استخلصنا من معطيات MERRA-2 النقطة الشبكية الخاصة بإحداثيات ورقلة (31,91;5,4) و تمناست (22,47; 5,31)

العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي وكذا معامل انغشتروم للهباء للفترة من 2007/03/01 إلى 2007/03/13 على

شكل معطيات ساعية من الساعة 00:00 إلى 23:00.

Time Series, Area-Averaged of Total Aerosol Extinction AOT 550 nm, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXAER v5.12.4] over 2007-03-01 00Z - 2007-03-11 23Z, Region 5.4E, 32.92N

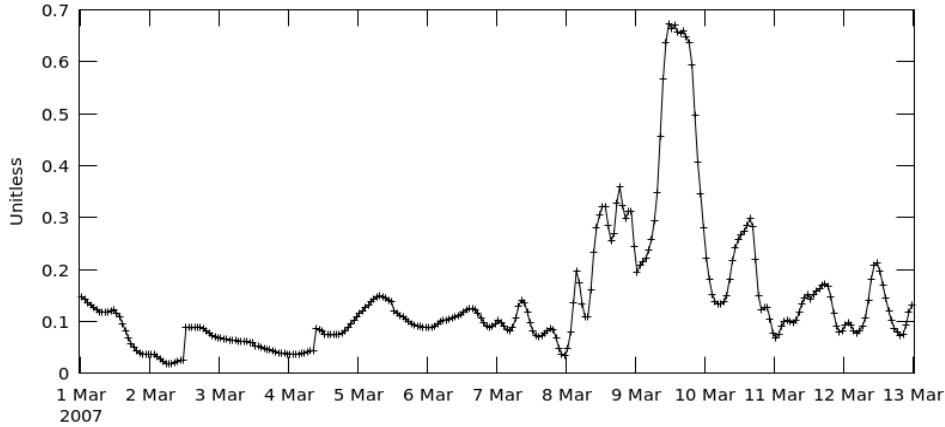


- The user-selected region was defined by 5.4E, 32.92N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 5.625E, 33N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetted granules that went into making this visualization result.

الشكل III-7: تغيرات العمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة

معطيات MERRA-2

Time Series, Area-Averaged of Dust Extinction AOT 550 nm, time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXAER v5.12.4] over 2007-03-01 00Z - 2007-03-12 23Z, Region 5.4E, 31.92N

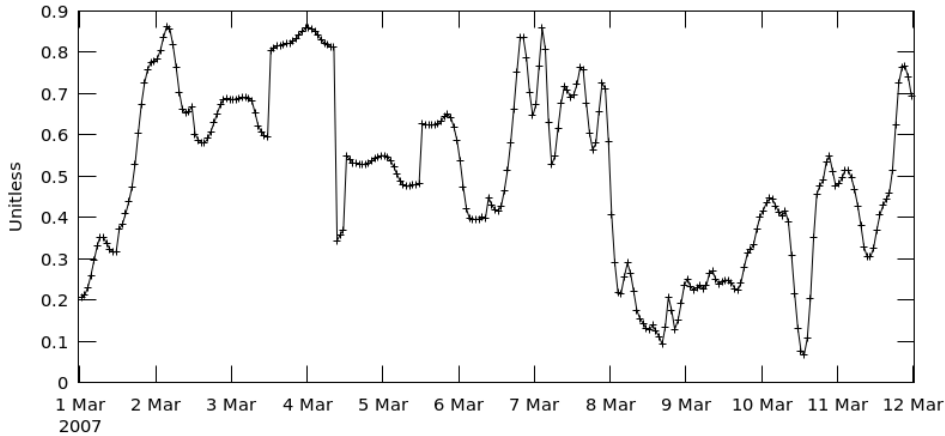


- The user-selected region was defined by 5.4E, 31.92N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 5.625E, 32N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

الشكل III-8: تغيرات العمق البصري في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة

### معطيات MERRA-2

Time Series, Area-Averaged of Total Aerosol Angstrom parameter (470-870 nm), time average hourly 0.5 x 0.625 deg. [MERRA-2 Model M2T1NXAER v5.12.4] over 2007-03-01 00Z - 2007-03-11 23Z, Region 5.4E, 32.92N



- The user-selected region was defined by 5.4E, 32.92N. The data grid also limits the analyzable region to the this point: 5.625E, 33N. This analyzable region indicates the spatial limits of the subsetting granules that went into making this visualization result.

الشكل III-9: تغيرات معامل انغستروم في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة

### معطيات MERRA-2



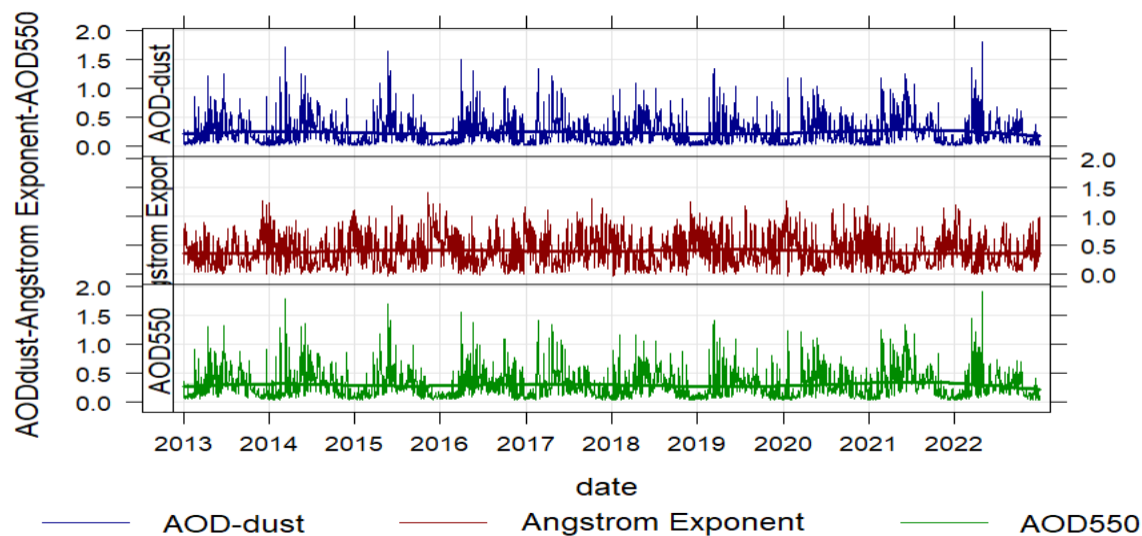
تحليل المنحنيات :

- ✓ تمثل المنحنيات تغيرات العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة معطيات MERRA-2، فمن خلال ملاحظتنا نجد أنه قبل بداية حدوث الظاهرة الغبارية كانت قيمة العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي منخفضة مما يدل على عدم وجود حالة غبارية. أما عند بداية الظاهرة تبدأ قيم العمق البصري في التغير والارتفاع بداية من يوم 08 مارس بحيث تصل إلى درجات قصوى وتبلغ الذروة بقيمة 0.68.
- ✓ أما بالنسبة للمنحنى الذي يمثل تغيرات معامل انغستروم للهباء الجوي في منطقة ورقلة في الفترة 2007/03/01 إلى 2007/03/13 بواسطة معطيات MERRA-2، لاحظنا ارتفاعا كبيرا في قيمة معامل انغستروم حيث بلغ 0.88 كأعلى قيمة له، إلى أن انخفض عند يوم 08 مارس وكانت قيمته 0.1 أي أن حجم جزيئات الغبار أكبر من حجمه في الفترة السابقة مما يدل على وجود حالة غبارية في هذه الفترة .

III-2-5 تباين الخواص الزمنية للعواصف الجوية والغبار الصحراوي فوق منطقة ورقلة:

- ✓ التغير اليومي للسلك البصري للغبار (AOD-Dust) والسلك البصري ومعامل انغستروم ( $\alpha$ ) للهباء الجوي .

Daily optical aerosol properties



الشكل III-10: التباين اليومي للسمك البصري للغبار والسمك البصري ومعامل انغستروم للهباء الجوي فوق ورقلة خلال 2013-

2022.

يمثل الشكل III-10: تمثل هذه البيانات التباين اليومي للخصائص البصرية في منطقة ورقلة. تشير التحليلات إلى أن جميع الخصائص

البصرية تتبع نفس السلوك على مدار الفترة الكاملة. لا يوجد اتجاه يومي في الخصائص البصرية على مستوى اليوم. متوسط العمق

البصري للهباء الجوي (AOD) والعمق البصري للغبار الصحراوي (Dust-AOD) ومعامل انغستروم (AE) عند 550 نانومتر

على التوالي هي (AOD550 = 0.3، Dust-AOD550 = 0.24، AE = 0.39). يتراوح التشتيت في عمود الغلاف

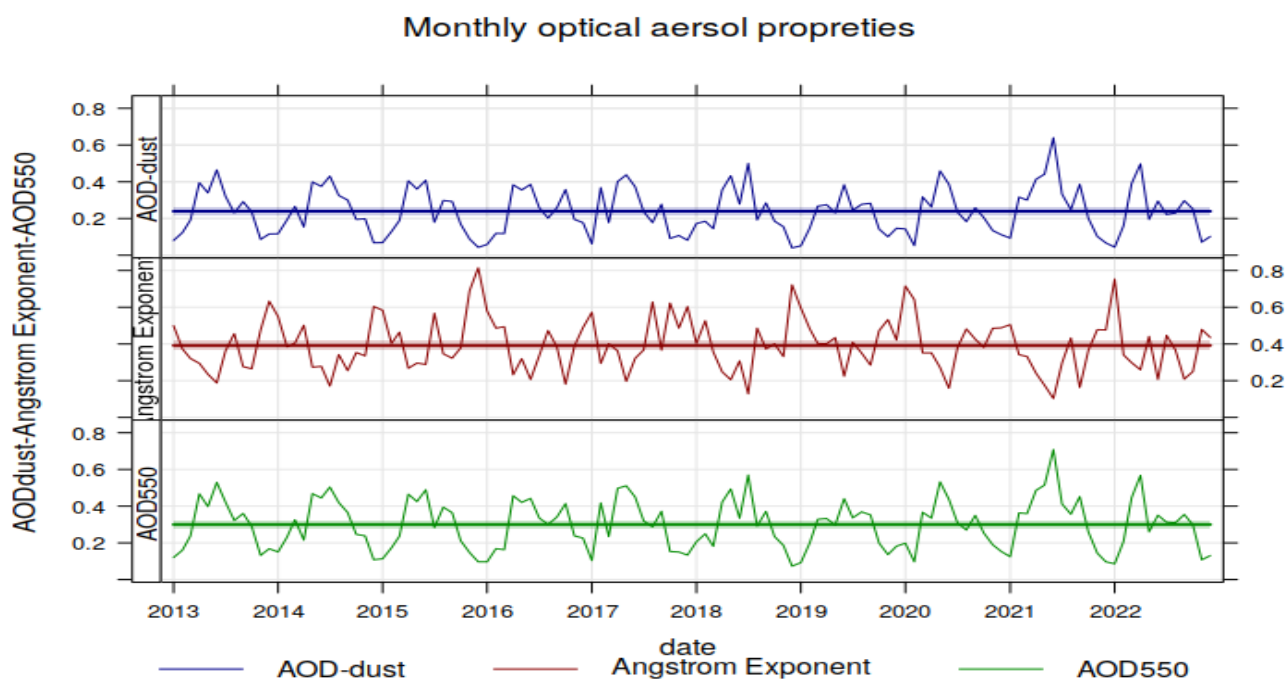
الجوي للغبار من 00 (غلاف جوي صافٍ) إلى 1.79 (غلاف جوي مغبر). يتطابق التغير في العمق البصري للهباء الجوي (الغبار

والغازات الأخرى) (0.03 إلى 1.9) مع العمق البصري للغبار الصحراوي، مما يعني أن الغلاف الجوي فوق ورقلة يهيمن عليه

جسيمات الغبار الصحراوي من الجسيمات الخشنة إلى الجسيمات الدقيقة كما يوضحه معامل انغستروم والذي يتراوح بين -0.032

(جسيمات خشنة خلال عاصفة الغبار) إلى 1.42 لجسيمات الغبار الدقيقة.

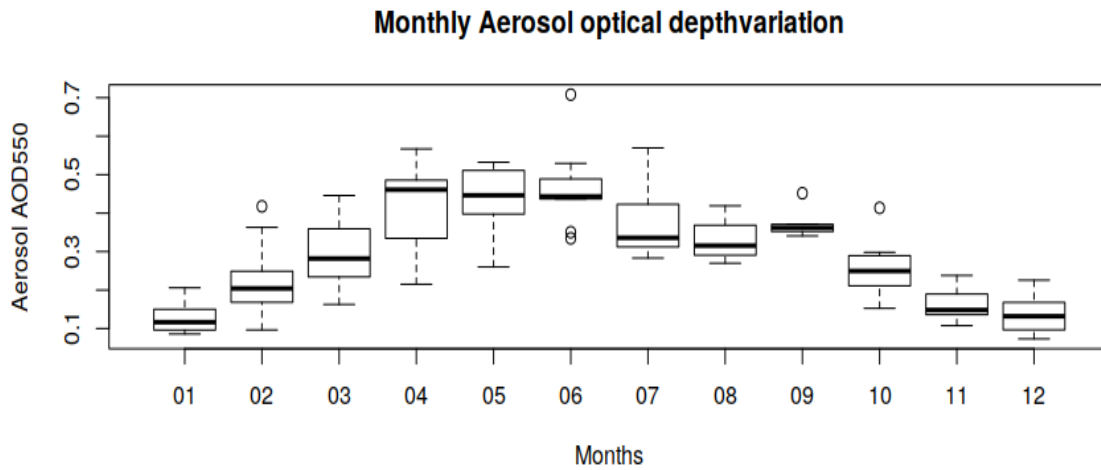
✓ التغير الشهري للسمك البصري للغبار (AOD-Dust) والسمك البصري ومعامل انغستروم ( $\alpha$ ) للهباء الجوي:



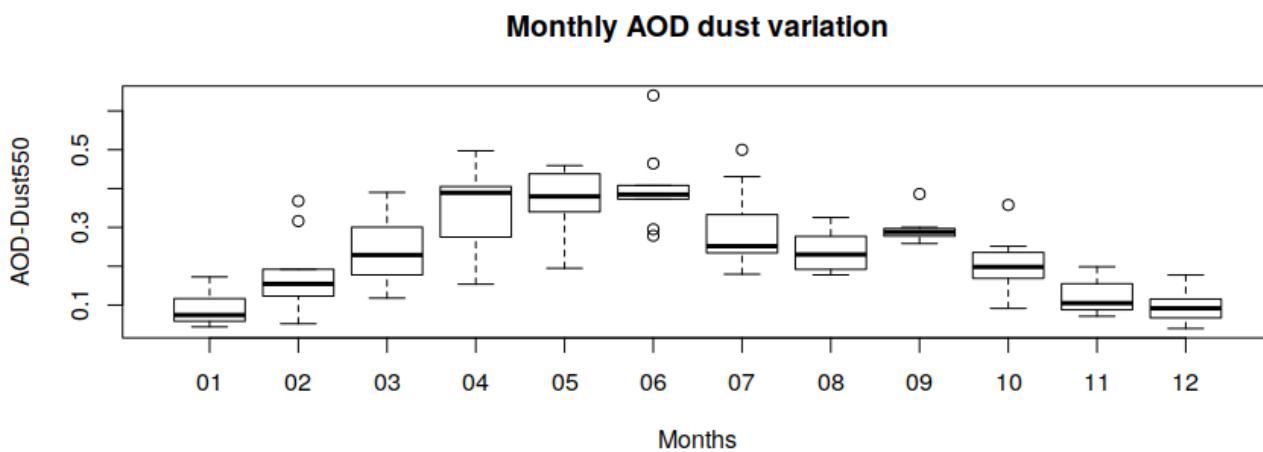
الشكل III-11: التباين اليومي للسمك البصري للغبار والسمك البصري ومعامل انغستروم للهباء الجوي فوق ورقلة خلال 2013-2022.

الشكل III-11: يوضح أن تباين الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي على مقياس زمني شهري يتبع نفس السلوك الذي يُلاحظ على مقياس زمني يومي. يوضح الشكل III-11 أنه في جميع السنوات، يتراوح العمق البصري للهباء الجوي بين قيم عالية في أشهر الصيف وقيم منخفضة في أشهر الشتاء. يبلغ متوسط قيم العمق البصري الشهري والعمق البصري الناجم عن الغبار على التوالي 0.3 و 0.24، وتصل القيم القصوى على مدار الفترة إلى 0.7 و 0.64 على التوالي. قيمة متوسط انغستروم الشهري هي 0.3 وتصل إلى قيمة قصوى تبلغ 0.8. تشير البيانات البصرية الشهرية إلى أن الغلاف الجوي فوق ورقلة مهيم عليه جسيمات الغبار الصحراوي الدقيقة.

بالإضافة إلى ذلك، يوضح الشكلين III-12 و III-13 أن تركيز الهباء الجوي والغبار الصحراوي تزداد ابتداءً من أبريل حتى يونيو، حيث تبلغ القيم الشهرية المتوسطة 0.45 للعمق البصري للهباء الجوي (AOD) و 0.4 للعمق البصري للغبار الصحراوي (AOD-dust). تتجاوز القيم الشهرية القصوى 0.5. يتم تسجيل القيم الدنيا في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير) بقيم العمق البصري للهباء الجوي (AOD) للعمق البصري للغبار الصحراوي (AOD-dust) تبلغ 0.1. يوضح الشكل III-14 أن معامل انغستروم (AE) ينخفض في فصل الصيف (أبريل إلى يونيو) ويزداد في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير). يرتبط هذا المعامل بحجم جسيمات الهباء الجوي ويتطور في الاتجاه المعاكس للعمق البصري. تسيطر جسيمات الغبار الخشنة بقيم أقل من 0.3 في أشهر أبريل إلى يونيو، مع الحد الأدنى للقيمة في يونيو والتي تبلغ 0.1. يرتبط ذلك بحدوث عواصف الغبار والرمل التي تبدأ من الربيع وتستمر حتى الصيف. في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير)، يتسبب الغلاف الجوي فوق ورقلة كمية قليلة من جسيمات الغبار الدقيقة المعلقة في الهواء بسبب انخفاض الرياح والنشاط الغباري في هذه المنطقة.

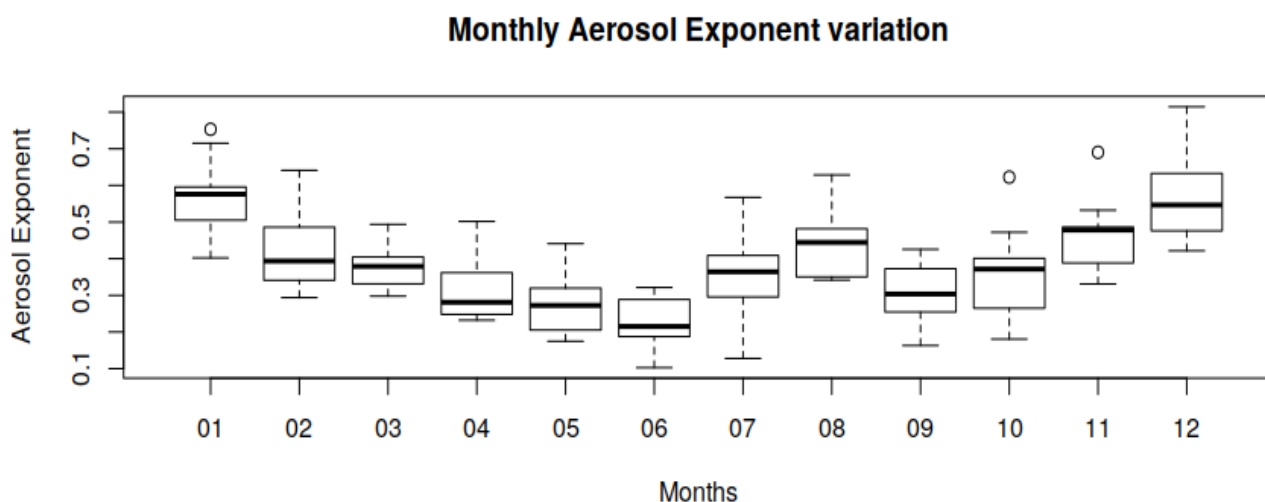


الشكل III-12: التباين الشهري للعمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة.

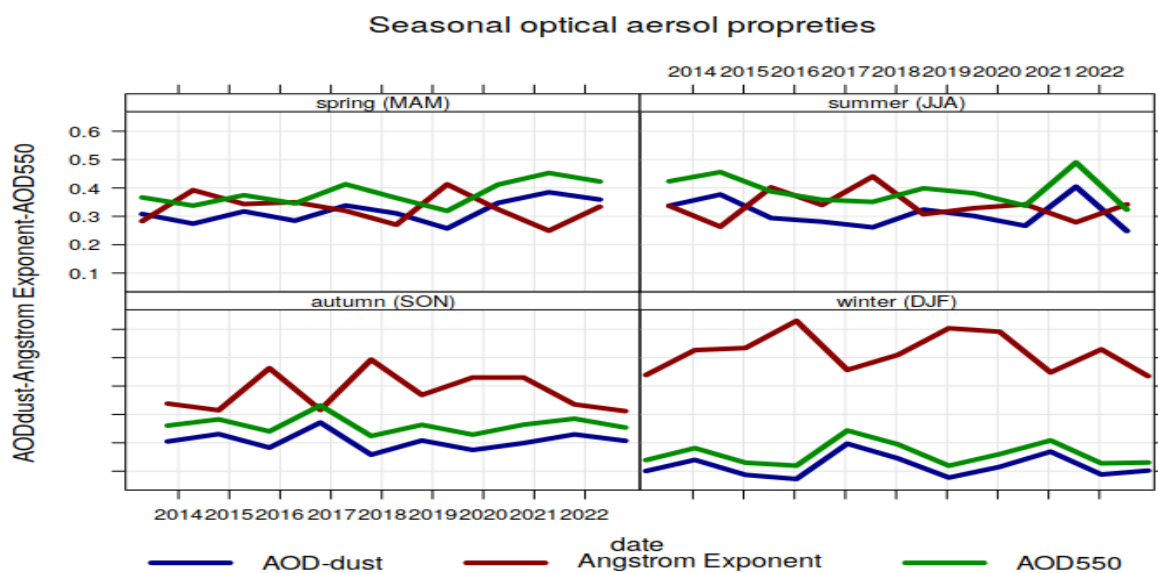


الشكل III-13: التباين الشهري للغبار الصحراوي في منطقة ورقلة

الشكل III-14: التباين الشهري لمعامل انغستروم في منطقة ورقلة



✓ التغير الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي والعمق البصري ومعامل انغستروم للغبار الصحراوي



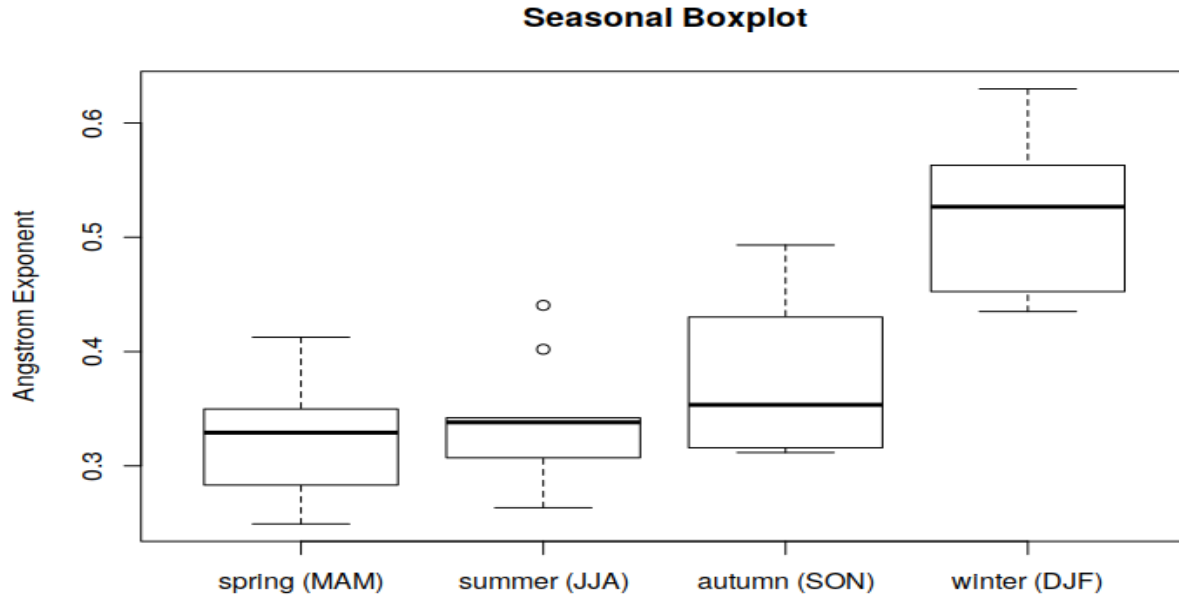
الشكل III-15: التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي والعمق البصري ومعامل انغستروم للغبار الصحراوي في

منطقة ورقلة.

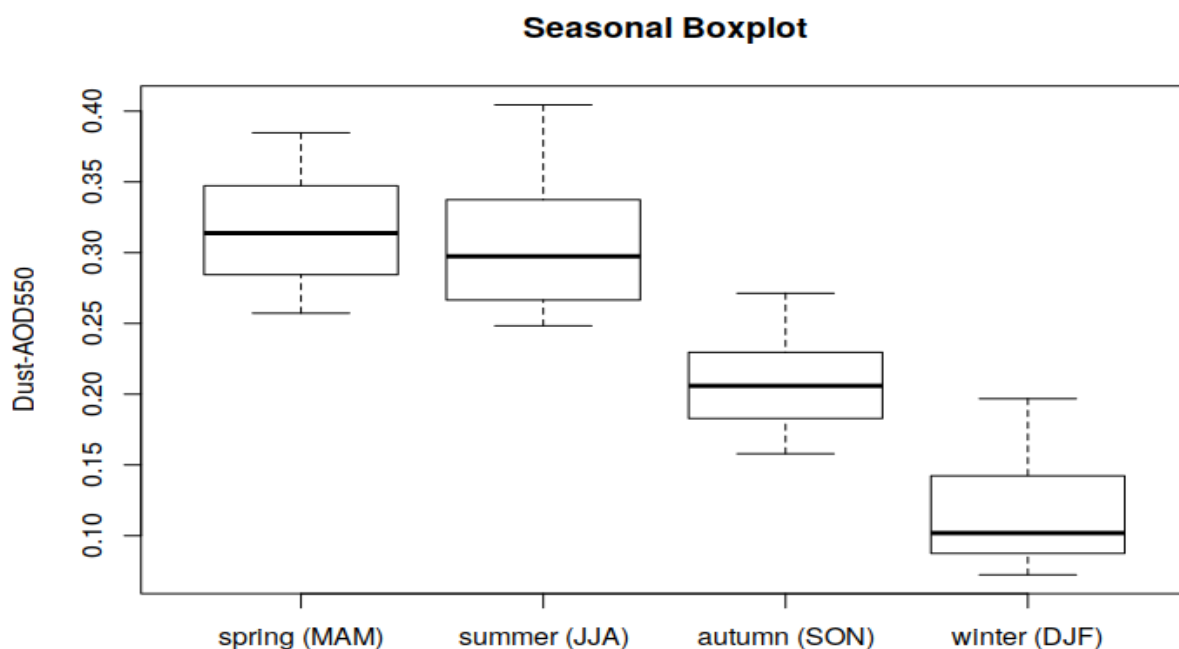
يمثل الشكل III-15 التباين الفصلي لخصائص الهباء الجوي ويؤكد النتائج التي تم العثور عليها على مقاييس زمنية شهرية. يزداد الهباء

الجوي والغبار الصحراوي في الربيع والصيف وينخفض في الشتاء والخريف. كما وصفنا أعلاه، فإن هذا السلوك يرتبط بنشاط الرياح

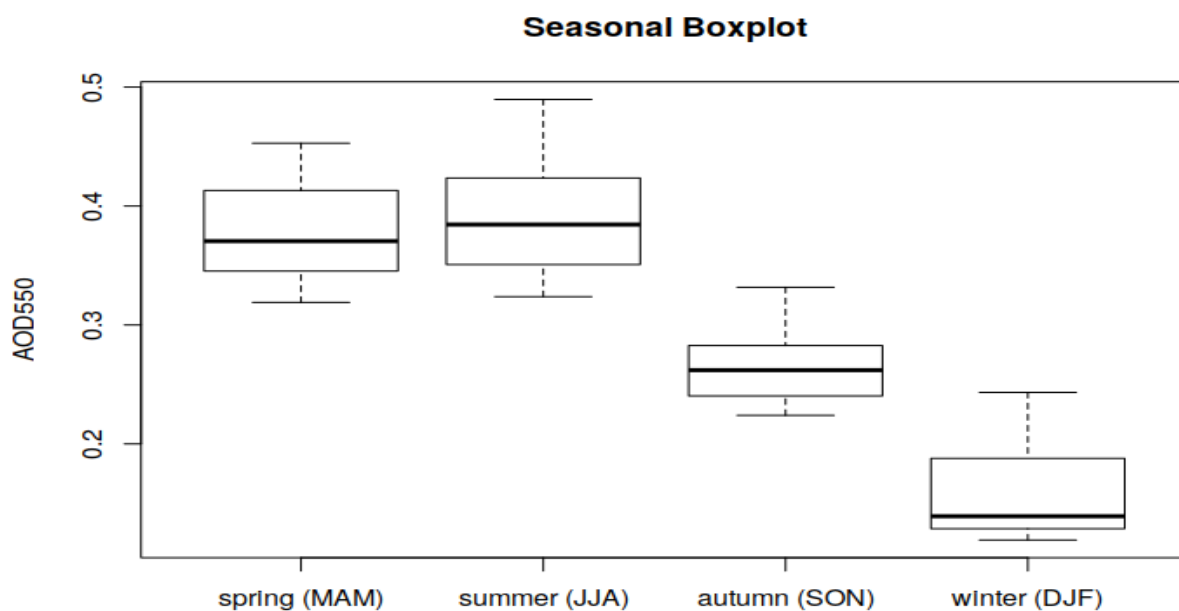
والغبار في المنطقة خلال فصل الربيع والصيف. في هذين الفصلين، تندلع عواصف الغبار والرمال وتحمل كمية من الرمال الخشنة والجسيمات الغبارية من السطح إلى الغلاف الجوي مما يزيد من قيم العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي (AOD) ويؤثر على الإشعاع الشمسي الواصل إلى السطح من خلال التخميد والامتصاص.



الشكل III-16: التباين الفصلي لمعامل انغستروم للهباء الجوي في منطقة ورقلة.



الشكل III-17: التباين الفصلي للعمق البصري للغبار الصحراوي في منطقة ورقلة



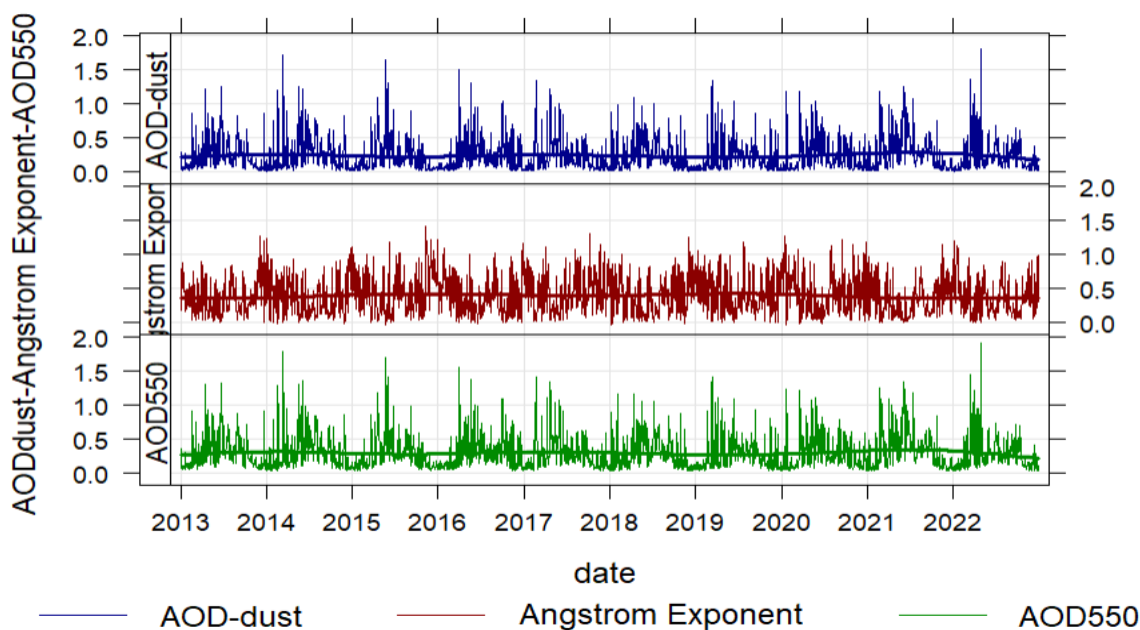
الشكل III-18: التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي في منطقة ورقلة.

يؤكد الشكل III-16، III-17، III-18 النتائج الموضحة للشكل III-15. يتم تسجيل ارتفاع العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي AOD في فصلي الربيع والصيف. يتراوح معدل AOD بين 0.3 و 0.5 في الصيف. يتم تسجيل قيم منخفضة في فصل الشتاء. مع اختلاف AOD بين 0.1 و 0.25. تتباين قيم انغستروم في الاتجاه العكسي بقيم منخفضة في الربيع والصيف وقيم عالية خلال الشتاء.

III-2-6 تباين الخواص الزمنية للعواصف الجوية والغبار الصحراوي فوق منطقة تمنراست:

التغير اليومي للسلك البصري للغبار (AOD-Dust) والسلك البصري ومعامل انغستروم ( $\alpha$ ) للهباء الجوي .

Daily optical aerosol properties



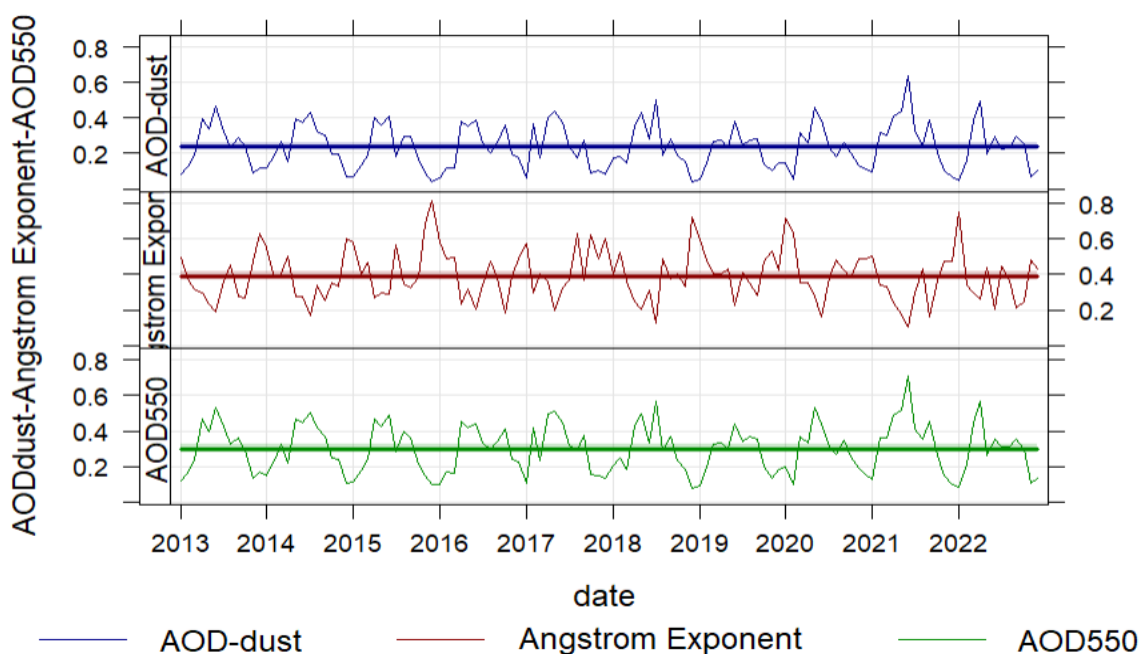
الشكل III-19: التباين اليومي للعمق البصري للهباء الجوي والعمق البصري للغبار الصحراوي ومعامل انغستروم في منطقة

تمنراست



يمثل الشكل III-19 تمثل هذه البيانات التباين اليومي للخصائص البصرية في منطقة تمنراست. توضح التحليلات أن جميع الخصائص البصرية تتبع نفس السلوك على مدار الفترة الكاملة. لا يوجد اتجاه يومي في الخصائص البصرية على مستوى اليوم. متوسط العمق البصري للهباء الجوي (AOD) والعمق البصري للغبار الصحراوي (Dust-AOD) ومعامل انغستروم (AE) عند 550 نانومتر على التوالي هي ( $AOD = 0.23$  ،  $Dust-AOD = 0.19$  ،  $AE = 0.31$ ). يتراوح التشتيت في عمود الغلاف الجوي للغبار من 0.01 (غلاف جوي صافي) إلى 1.09. (غلاف جوي مغبر). يتطابق التغير في العمق البصري للهباء الجوي (الغبار الصحراوي والغازات الأخرى) بتغير (0.003 إلى 1.06) مع العمق البصري للغبار الصحراوي، وهذا يعني أن الغلاف الجوي فوق تمنراست يهيمن عليه جسيمات الغبار الصحراوي من الجسيمات الخشنة إلى الجسيمات الدقيقة كما يوضحه معامل انغستروم والذي يتراوح بين 0.022 - (جسيمات خشنة خلال عاصفة الغبار) إلى 1.35 لجسيمات الغبار الدقيقة.

### Monthly optical aerosol properties



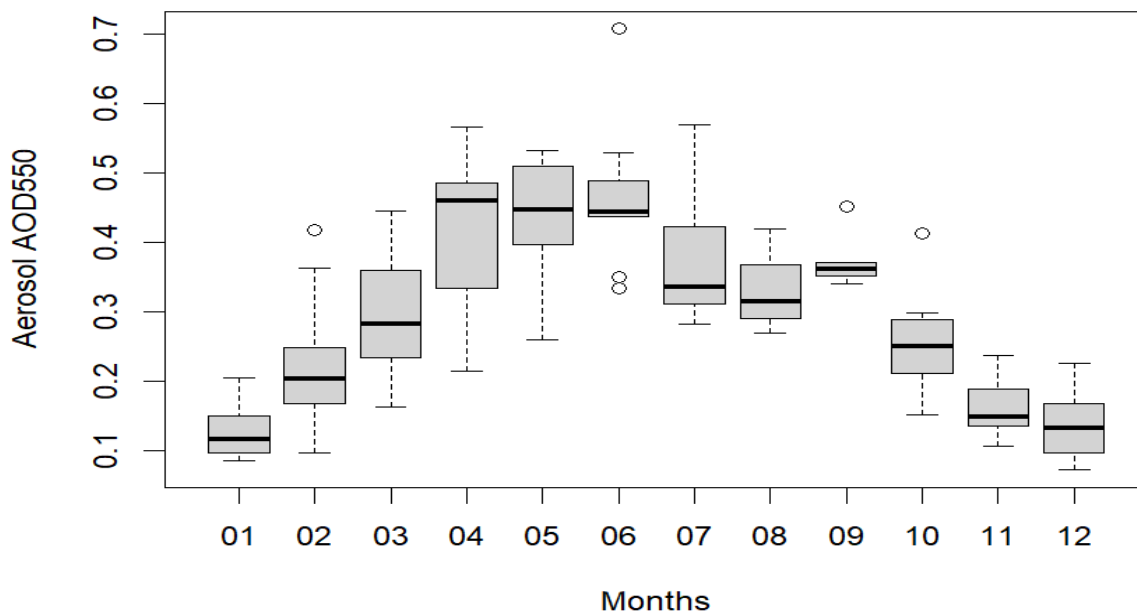
الشكل III-20: التباين الشهري للسمك البصري للغبار والسمك البصري ومعامل انغستروم للهباء الجوي فوق تمنراست خلال

2022-2013.

يمثل الشكل III-20: التغير الشهري للسلك البصري للغبار والسلك البصري ومعامل انغشتروم للهباء الجوي فوق تمنراست خلال 2013-2022. حيث يوضح أن تباين الخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي على مقياس زمني شهري يتبع نفس السلوك الذي يُلاحظ على مقياس زمني يومي. يوضح الشكل III-20 أنه في جميع السنوات، يتراوح العمق البصري للهباء الجوي بين قيم عالية في أشهر الصيف وقيم منخفضة في أشهر الشتاء. يبلغ متوسط قيم العمق البصري الشهري والعمق البصري الناجم عن الغبار على التوالي 0.23 و 0.19، وتصل القيم القصوى على مدار الفترة إلى 0.54 و 0.49 على التوالي. قيمة متوسط انغشتروم الشهري هي 0.31 وتصل إلى قيمة قصوى تبلغ 0.8. تشير البيانات البصرية الشهرية إلى أن الغلاف الجوي فوق ورقلة مهيمن عليه جسيمات الغبار الصحراوي الدقيقة.

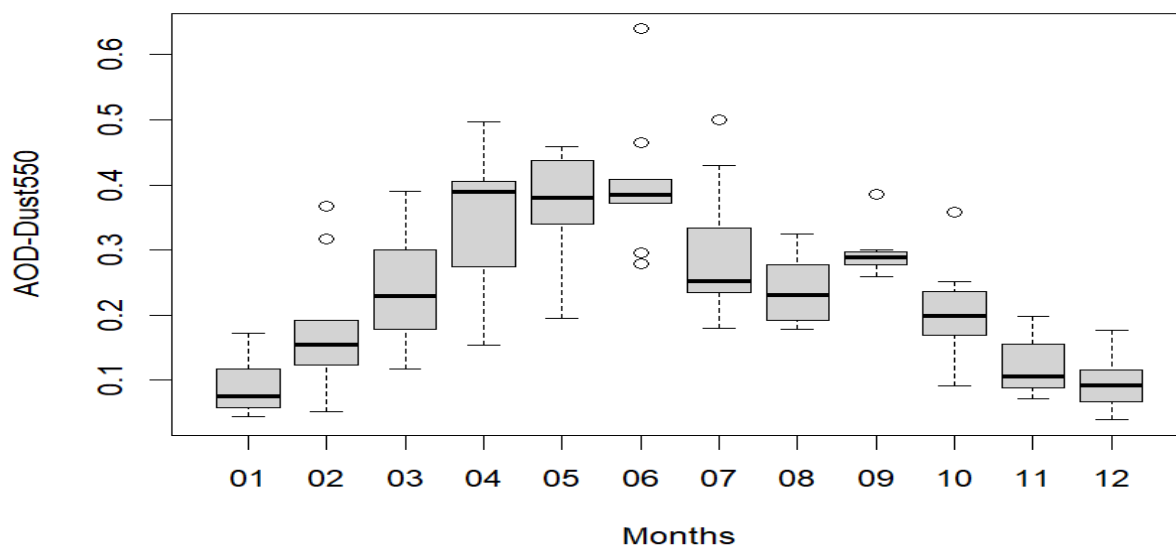
بالإضافة إلى ذلك، يوضح الشكلين III-21 و III-22 أن تركيز الهباء الجوي والغبار الصحراوي تزداد ابتداءً من أبريل حتى يونيو، حيث تبلغ القيم الشهرية المتوسطة 0.45 للعمق البصري للهباء الجوي (AOD) و 0.4 للعمق البصري للغبار الصحراوي (AOD-dust). تتجاوز القيم الشهرية القصوى 0.5. يتم تسجيل القيم الدنيا في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير) بقيم العمق البصري للهباء الجوي (AOD) للعمق البصري للغبار الصحراوي (AOD-dust) تبلغ 0.1. يوضح الشكل III-23 أن معامل انغشتروم (AE) ينخفض في فصل الصيف (أبريل إلى يونيو) ويزداد في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير). يرتبط هذا المعامل بحجم جسيمات الغازات العائمة ويتطور في الاتجاه المعاكس للعمق البصري. تسيطر جسيمات الغبار الخشنة بقيم أقل من 0.3 في أشهر أبريل إلى يونيو، مع الحد الأدنى للقيمة في يونيو والتي تبلغ 0.1. يرتبط ذلك بحدوث عواصف الغبار والرمال التي تبدأ من الربيع وتستمر حتى الصيف. في فصل الشتاء (ديسمبر ويناير)، يتسبب الغلاف الجوي فوق ورقلة كمية قليلة من جسيمات الغبار الدقيقة المعلقة في الهواء بسبب انخفاض الرياح والنشاط الغباري في هذه المنطقة.

**Monthly Aerosol optical depth variation**



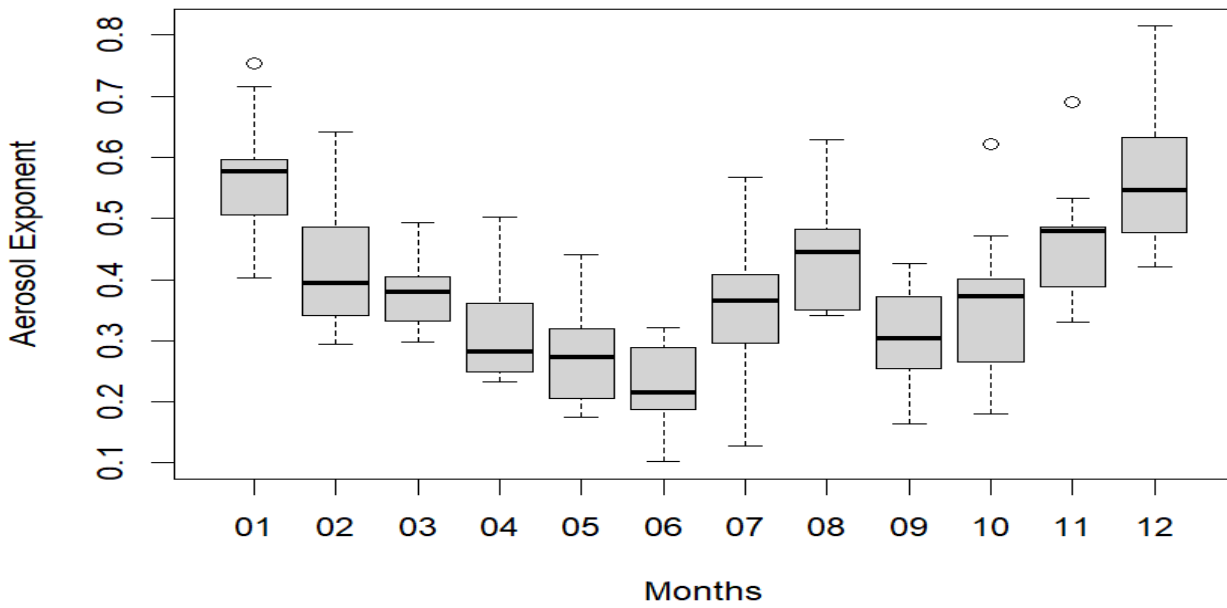
الشكل III-21: التباين الشهري للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمرناست

**Monthly AOD dust variation**



الشكل III-22: التباين الشهري للعمق البصري للغبار الصحراوي

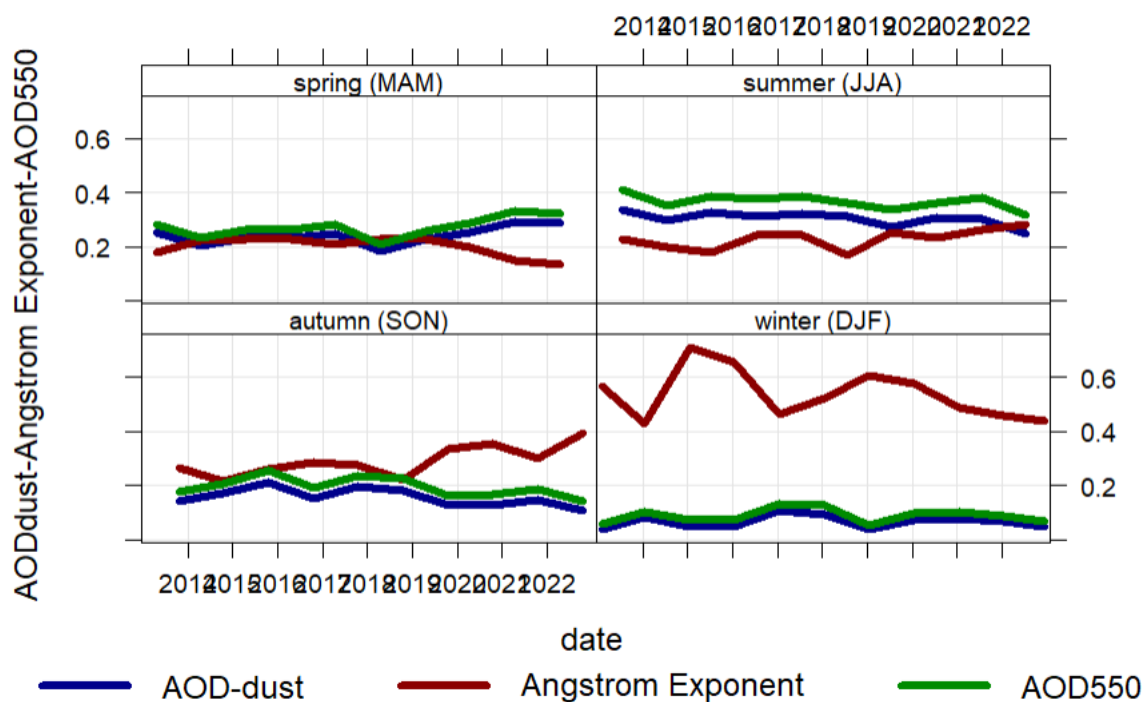
### Monthly Aerosol Exponent variation



الشكل III-23: التباين الشهري لمعامل انغستروم للغبار الصحراوي بمنطقة تمنراست

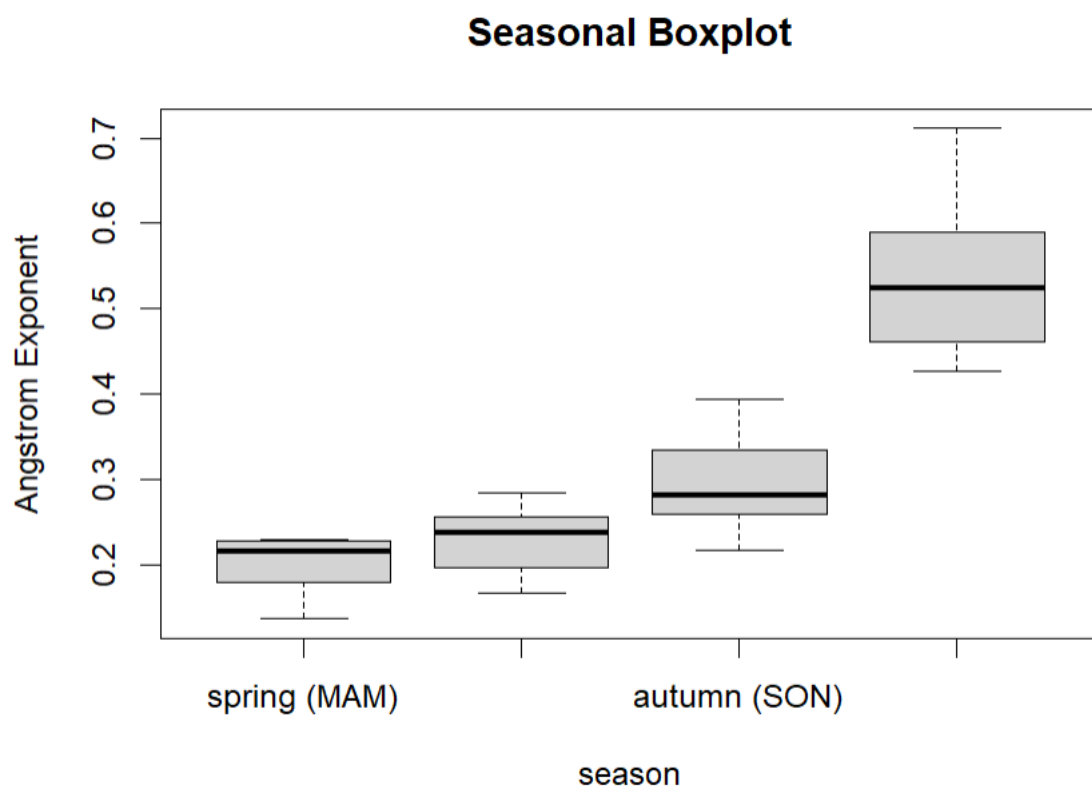
✓ التغير الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي والعمق البصري ومعامل انغستروم للغبار الصحراوي

### Seasonal optical aerosol properties



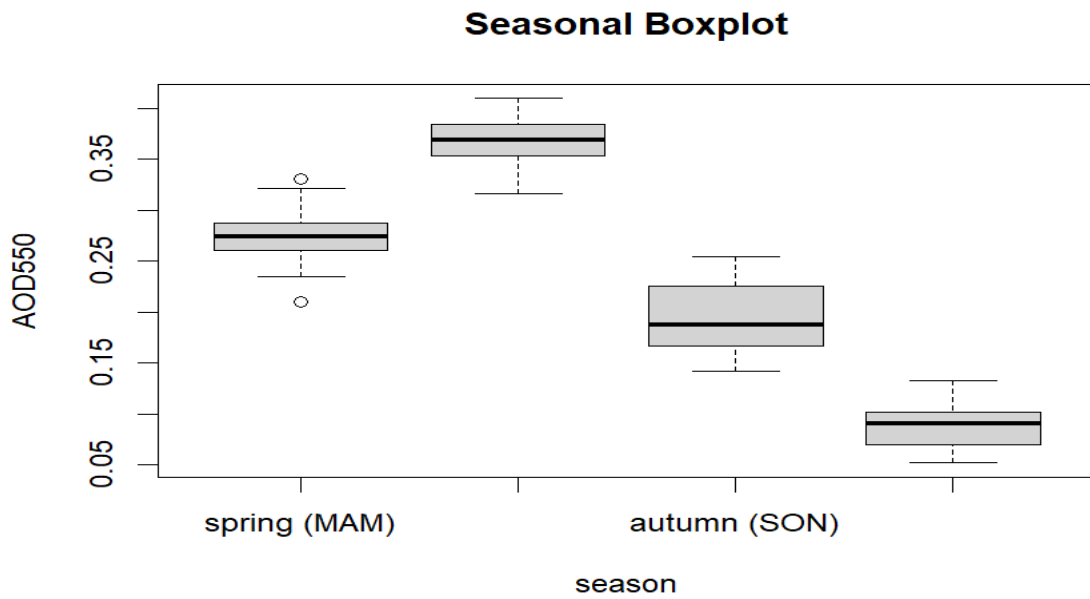
الشكل III-24: التباين الفصلي للعمق البصري ومعامل انغستروم للهباء الجوي والعمق البصري للغبار الصحراوي

يمثل الشكل III-24 التباين الفصلي لخصائص الهباء الجوي ويؤكد النتائج التي تم العثور عليها على مقياس زمني شهري. يزداد الهباء الجوي والغبار الصحراوي في الربيع والصيف وينخفض في الشتاء والخريف. كما وصفنا أعلاه، فإن هذا السلوك يرتبط بنشاط الرياح والغبار في المنطقة خلال فصل الربيع والصيف. في هذين الفصلين، تندلع عواصف الغبار والرمال وتحمل كمية من الرمال الخشنة والجسيمات الغبارية من السطح إلى الغلاف الجوي مما يزيد من قيم العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي (AOD) ويؤثر على الإشعاع الشمسي الواصل إلى السطح من خلال التخميد والامتصاص.

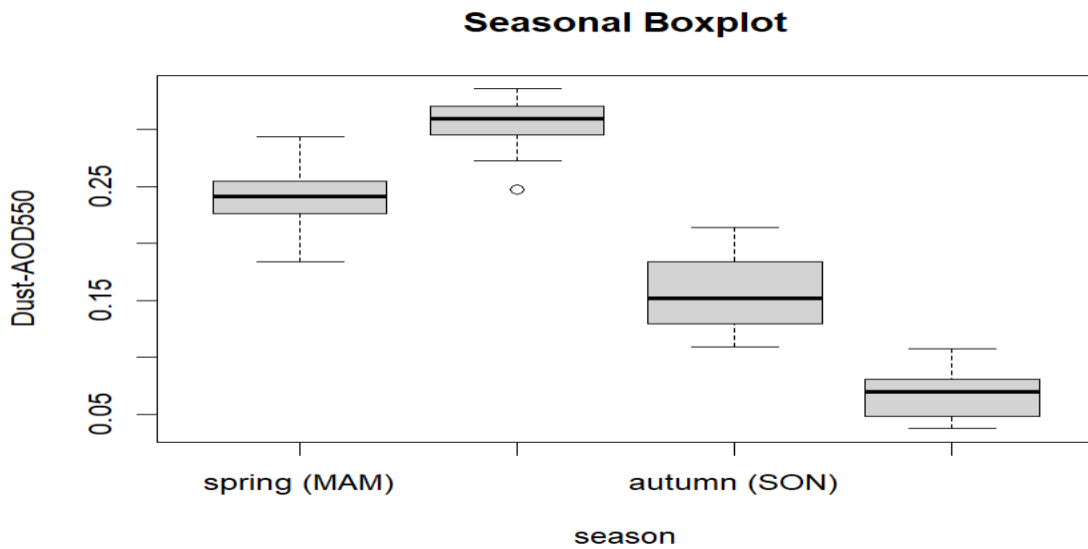


الشكل III-25: التباين الفصلي لمعامل انغستروم للهباء الجوي

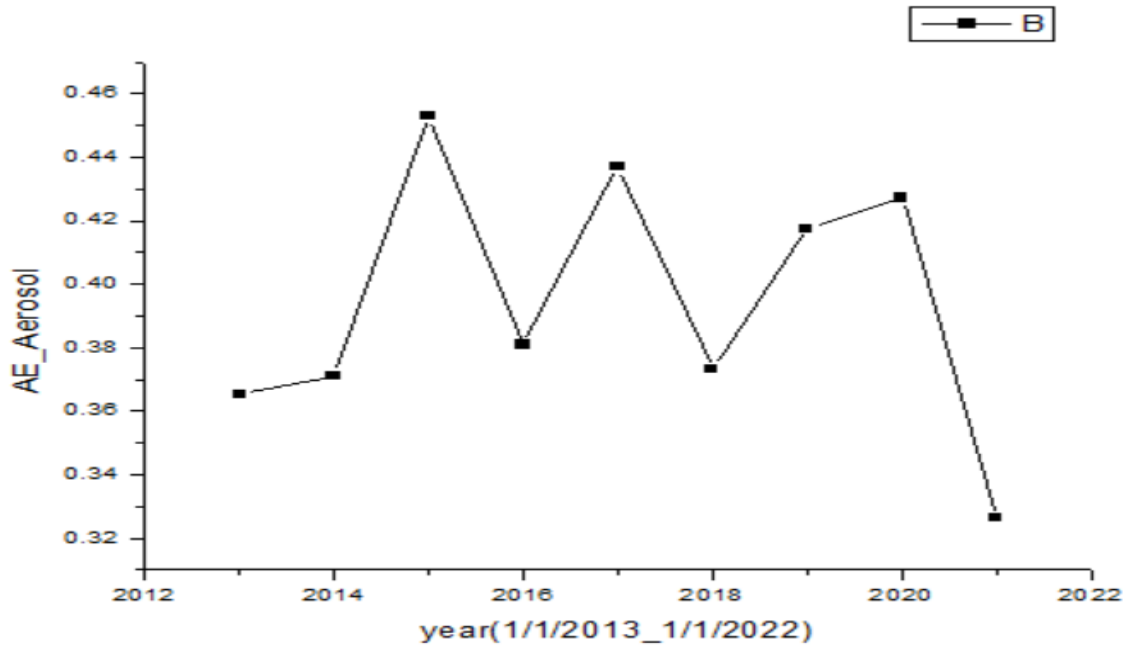
يؤكد الشكل III-25، III-26، III-27 النتائج الموضحة للشكل III-24. يتم تسجيل ارتفاع العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي AOD في فصلي الربيع والصيف. يتراوح معدل AOD بين 0.25 و 0.4 في الصيف. يتم تسجيل قيم منخفضة في فصل الشتاء. مع اختلاف AOD بين 0.1 و 0.2. تتباين قيم انغستروم في الاتجاه العكسي بقيم منخفضة في الربيع والصيف وقيم عالية خلال الشتاء.



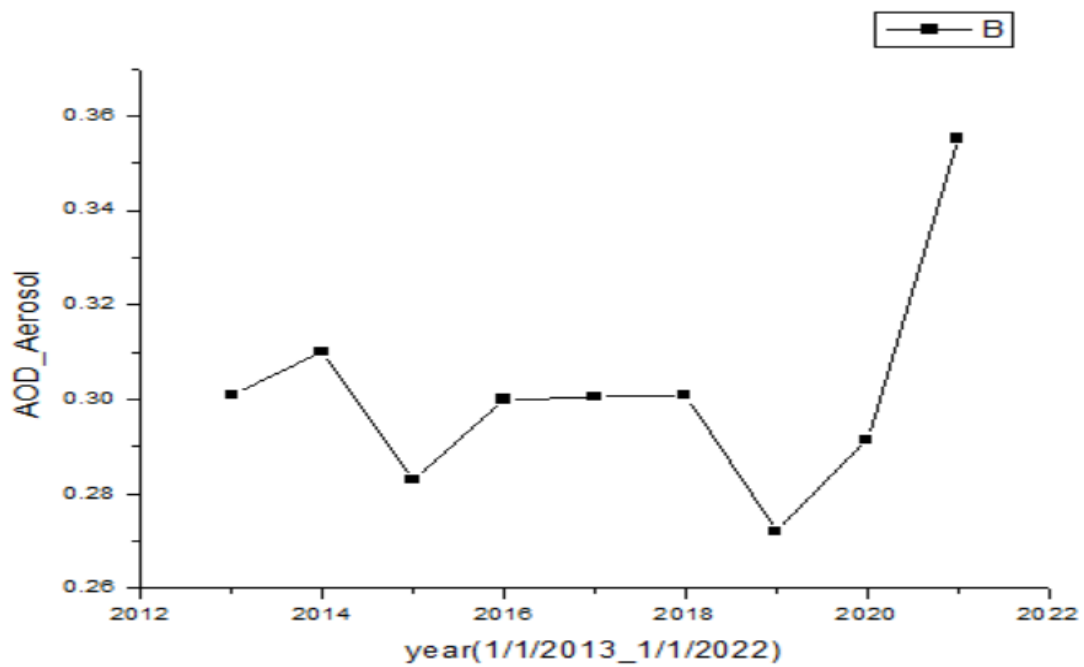
الشكل III-26: التباين الفصلي للعمق البصري للهباء الجوي



الشكل III-27: التباين الفصلي للعمق البصري للغبار الصحراوي.

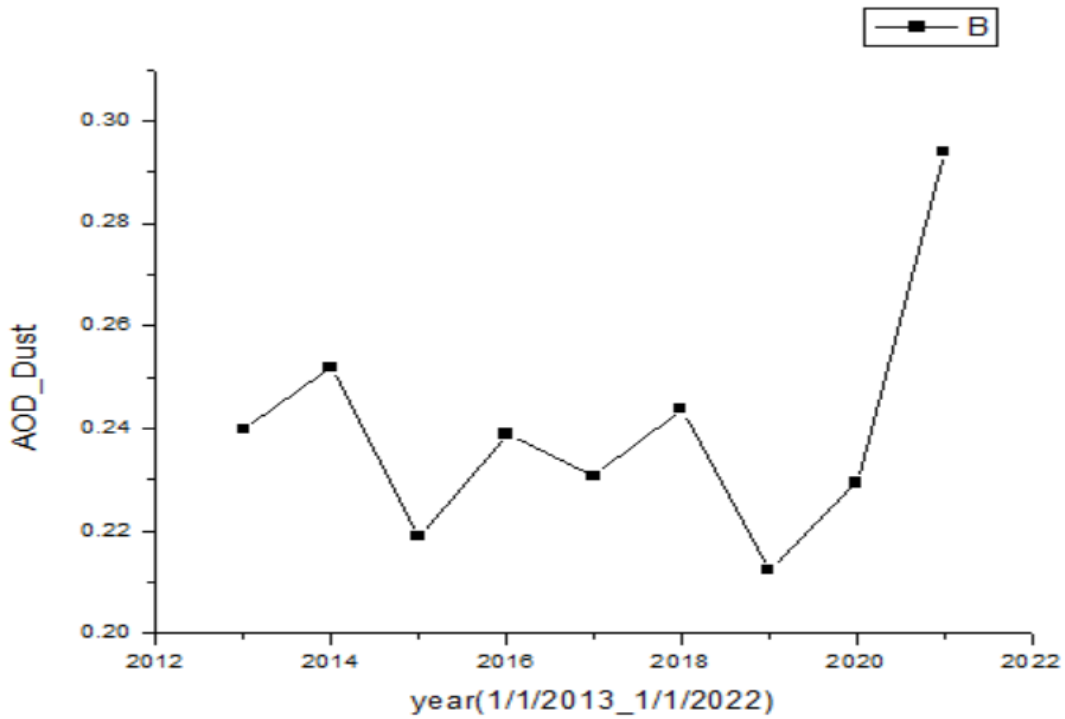


الشكل III-28: التباين السنوي لمعامل انغستروم للهباء الجوي بمنطقة ورقلة

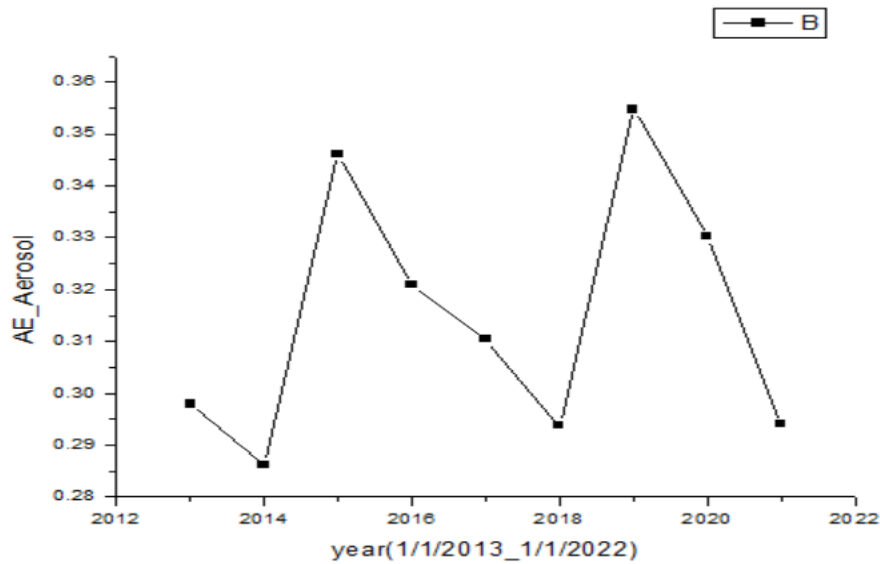


الشكل III-29: التباين السنوي للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة ورقلة

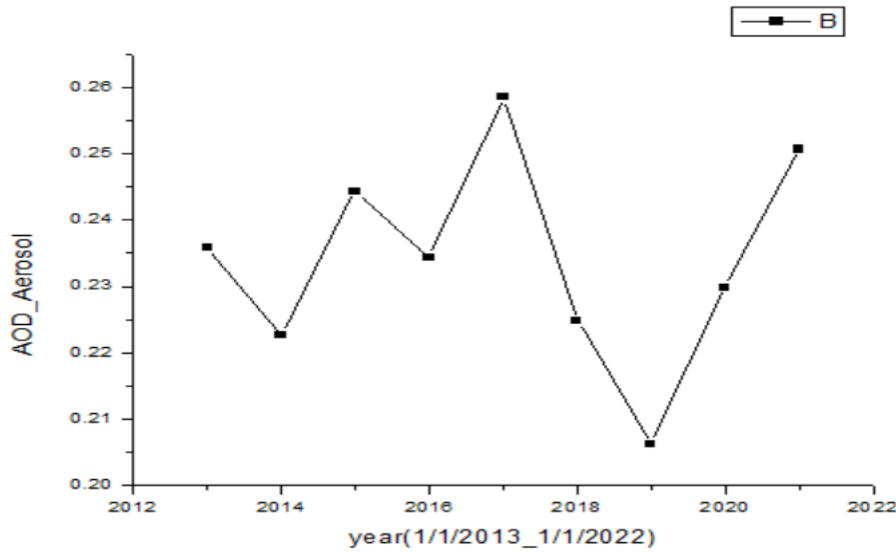




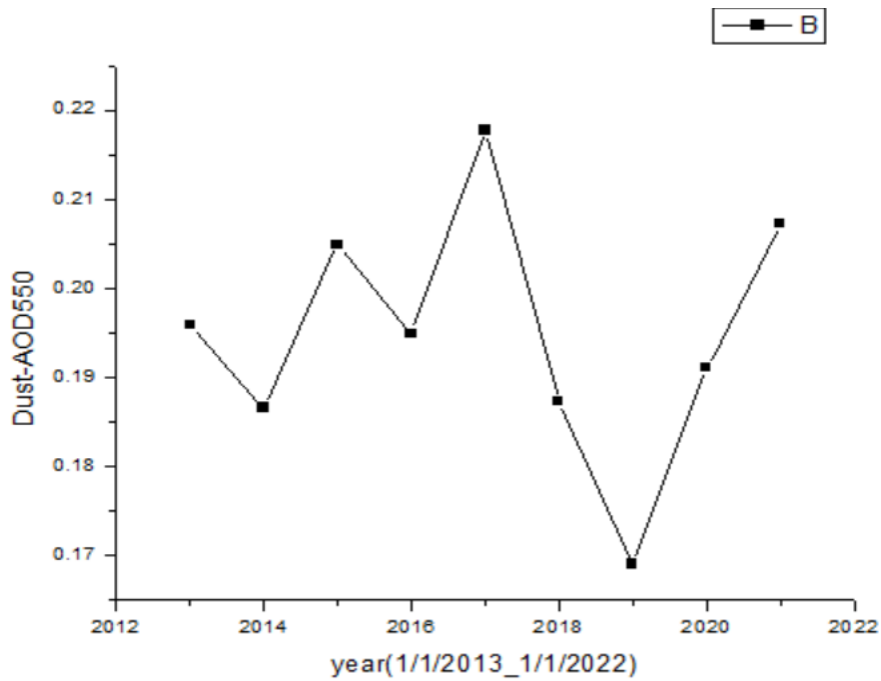
الشكل III-30: التباين السنوي للعمق البصري للغبار الصحراوي بمنطقة ورقلة



الشكل III-31: التباين السنوي لمعامل انغشتروم للهباء الجوي بمنطقة تمنراست



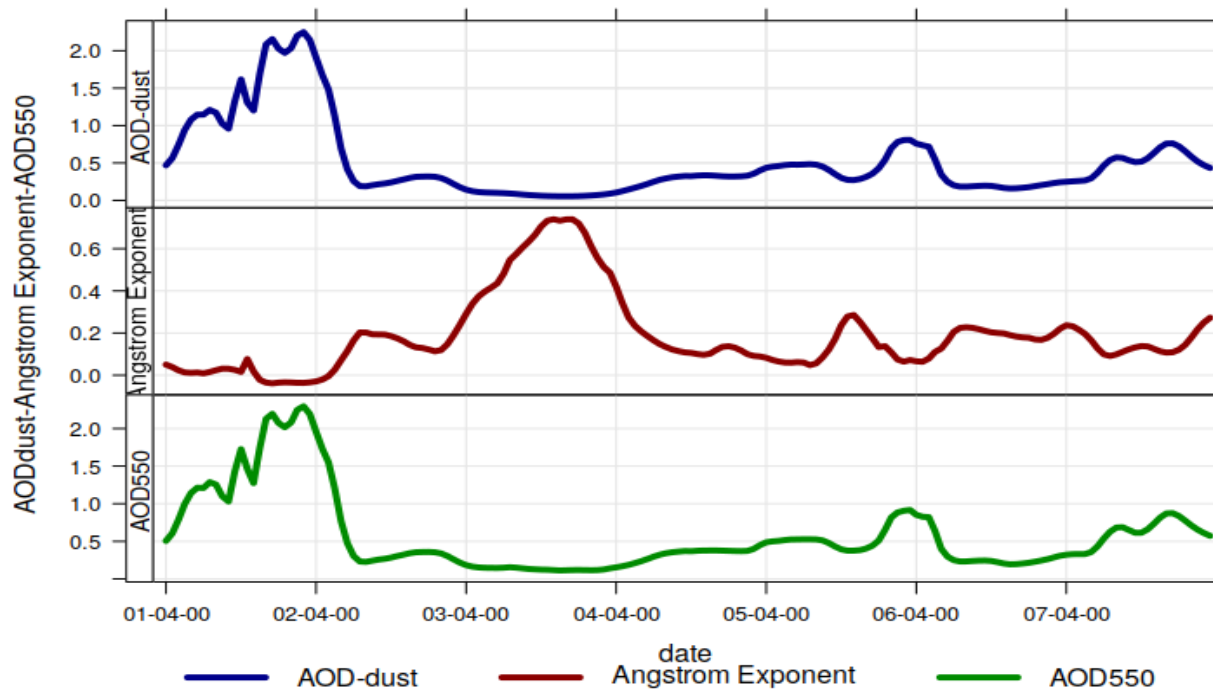
الشكل III-32: التباين السنوي للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمنراست



الشكل III-33: التباين السنوي للعمق البصري للهباء الجوي بمنطقة تمنراست

### III-2-7 دراسة حالة غبارية بمنطقة ورقلة في أبريل 2016

Hourly optical aerosol properties (01-07APRIL2016)



الشكل III-34: التباين الساعي للخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي بمنطقة ورقلة في الفترة (01-)

07April 2016

لمعرفة سلوك الخصائص البصرية في حالة غبارية قصوى قمنا باختيار حالة معتبرة لفترة ممتدة من (01-07) أبريل 2016 شملت هذه

الظاهرة الغبارية بعض المواقع من جنوب الشرقي الجزائري (مدينة ورقلة، تقرت، حاسي مسعود). الهدف من اختيار هذه الظاهرة هو

معرفة سلوك الخصائص البصرية للهباء الصحراوي في هذه الفترة الزمنية. كما هو ممثل في الشكل III-34 حيث يمكننا هذا الشكل

من معرفة بداية الظاهرة وذروتها ثم تلاشيها، حيث أن على موقع ورقلة نلاحظ أن العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي في

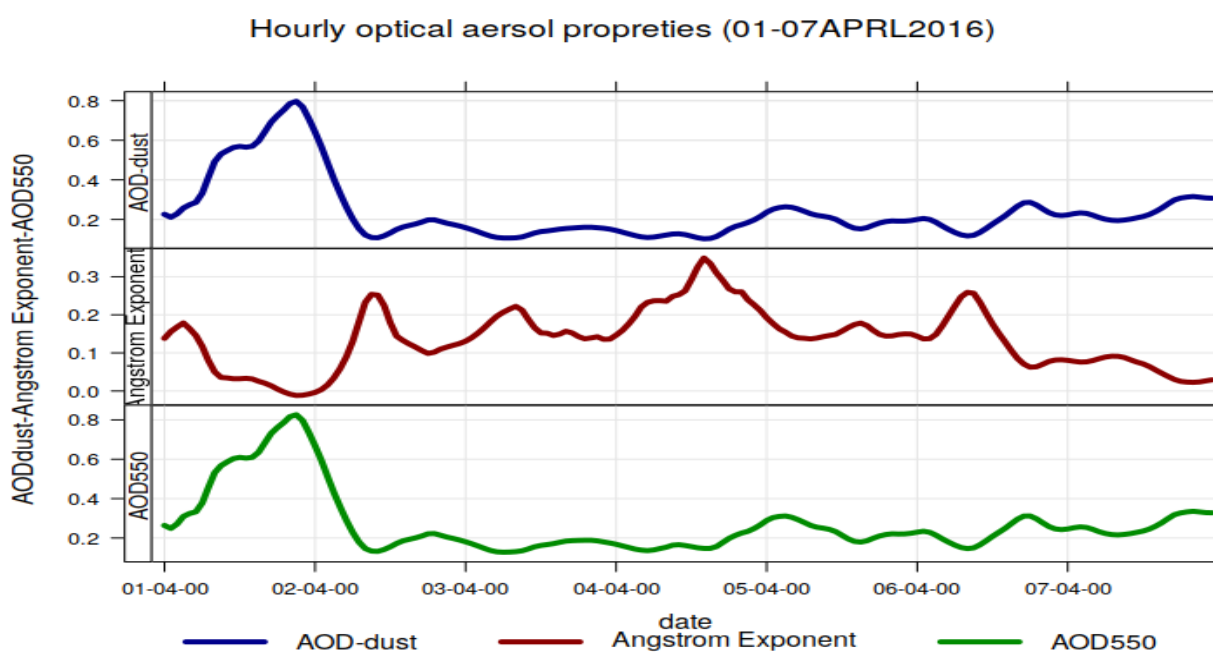
بداية الظاهرة كان يساوي 0.5، وهذا يدل على أن معظم العوالق متكونة من غبار صحراوي. تزداد الظاهرة الغبارية لتصل إلى ذروتها

قبل 2 أبريل حيث نلاحظ مؤشر الغبار والهباء يجتاز قيمة 2 ( $AOD550, Dust-AOD550 > 2$ )

كما نلاحظ في نفس الوقت التوقيت يكون معامل انغستروم في أدنى قيمة  $AE < 0.0$  وهذا يعني أن عمود الهواء بالقرب من السطح يتشكل إجمالاً من رمال صحراوية.

تبدأ الظاهرة بالتناقص ليلة 2 أبريل لتصل إلى أدناها (أدنى مستوى) في 3 أبريل حيث نسجل القيم الآتية بالنسبة للعمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي 00 بينما يكون معامل انغستروم في أعلى قيمة له ( $AE=0.7$ ).

### III-2-7 دراسة حالة غبارية بمنطقة تمرناست في أبريل 2016



الشكل III-35: التباين الساعي للخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي بمنطقة تمرناست في الفترة (01-)

07April 2016

يمثل الشكل III-35 التغير الساعي للخصائص البصرية للهباء الجوي والغبار الصحراوي بمنطقة تمرناست في الفترة (01-07) أبريل

2016. لمعرفة سلوك الخصائص البصرية في حالة غبارية قصوى قمنا باختيار حالة معتبرة لفترة ممتدة من (01-07) أبريل 2016

بمنطقة تمرناست الهدف من اختيار هذه الظاهرة هو معرفة سلوك الخصائص البصرية للهباء الصحراوي في هذه الفترة الزمنية . كما هو

يمثل في الشكل III-35 حيث يمكننا هذا الشكل من معرفة بداية الظاهرة وذروتها ثم تلاشيها ، حيث أن على موقع تمرناست

نلاحظ أن العمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي في بداية الظاهرة كان يساوي 0.5، وهذا يدل على أن معظم العوالق متكونة من غبار صحراوي. تزداد الظاهرة الغبارية لتصل إلى ذروتها قبل 2 أبريل حيث نلاحظ مؤشر الغبار والهباء يجتاز قيمة 0.8 ( $AOD_{550, Dust} - AOD_{550} > 0.8$ ). كما نلاحظ في نفس الوقت التوقيت يكون معامل انغشتروم في أدنى قيمة  $AE < 0.0$  وهذا يعني أن عمود الهواء بالقرب من السطح يتشكل إجمالاً من رمال صحراوية.

تبدأ الظاهرة بالتناقص ليلة 2 أبريل لتصل إلى أدناها (أدنى مستوى) في 3 أبريل حيث نسجل القيم الآتية بالنسبة للعمق البصري للهباء الجوي والغبار الصحراوي 0.0 بينما يكون معامل انغشتروم في أعلى قيمة له ( $AE = 0.4$ ).

## الخاتمة العامة

يعتبر الهباء الصحراوي من بين الظواهر الجوية تعقيدا، والتي تؤثر على البيئة والصحة العمومية. كما تعد هذه الظاهرة من أسباب التغيير المناخي حين تزداد تراكيزها مكانيا زمانيا. يهدف هذا العمل على دراسة التباين الزمني للخصائص البصرية للهباء الصحراوي في منطقتين مختارتين من الصحراء الجزائرية ممثلة في كل من منطقة ورقلة الجنوب الشرقي و منطقة تمنراست أقصى الجنوب. تم التركيز في هذه الدراسة الزمنية على التباين في سلوك عنصري العمق البصري و معامل انغستروم في المناطق المذكورة في الفترة من 2013-2022 بالاستعانة بمعطيات إعادة التحليل (MERRA-2) التابعة لوكالة ناسا، ولقد أوضحت النتائج أن العمق البصري ومعامل انغستروم للهباء الصحراوي يتناسبان عكسيا. حيث تتغير بالاتجاه المعاكس عند تغير تراكيز الجسيمات في الهواء. استخلصنا أن العمق البصري يكون منخفضا بنسب كبيرة قبل حدوث الظاهرة وبالمقابل تكون قيم معامل انغستروم مرتفعة أي أن معظم العوالق متكونة من غبار صحراوي بينما أثناء الظواهر الغبارية فإنه يكون العكس ارتفاعا في العمق البصري للهباء الجوي وانخفاض في معامل انغستروم وهذا يدل على أن عمود الهواء بالقرب من السطح يتشكل إجمالا من رمال صحراوية. استخلصنا أيضا أن الغلاف الجوي فوق منطقتي ورقلة وتمنراست مهيمن عليه جسيمات الغبار الصحراوي الدقيقة.

من خلال هذه الدراسة، يمكننا فهم تباين سلوك الهباء الصحراوي في منطقتي ورقلة وتمنراست وكيفية تأثيرها على البيئة والصحة العمومية. يمكن لمثل هذه الأبحاث أن تساهم في تحسين الإدارة والتنبؤ بالظواهر الجوية مثل العواصف الرملية وتلوث الهواء وتأثيراتها على الحياة اليومية.

- [1] B. Korgo, "Caractérisation optique et microphysique des aérosols atmosphériques en zone urbaine ouest africaine : application aux calculs du forçage radiatif à Ouagadougou To cite this version : HAL Id : tel-01166332 DOCTEUR DE L ' UNIVERSITE," 2015.
- [2] Y. Aoun, "Evaluation de la sensibilité de l ' instrument FCI à bord du nouveau satellite Meteosat Troisième Génération imageur ( MTG-I ) aux variations de la quantité d ' aérosols d ' origine désertique dans l ' atmosphère Youva Aoun To cite this version : HAL Id :," 2017.
- [3] X. Wei, N. Chang, K. Bai, and W. Gao, "Technology Satellite remote sensing of aerosol optical depth : advances , challenges , and perspectives," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–86, 2019, doi: 10.1080/10643389.2019.1665944.
- [4] B. Nébon *et al.*, "Intra-Seasonal and Annual Variation of Aerosols and Their Radiative Impact in the Sahelian Zone of Burkina Faso," pp. 62–74, 2019, doi: 10.4236/acs.2019.91004.
- [5] D. D. E. L. U. D. E. Lille, "Propriétés optiques des poussières désertiques de Gobi et de ses composés purs : spectres d ' extinction expérimentaux et détermination des indices complexes de réfraction," 2022.
- [6] ر. شهرزاد, "تحديد جزيئات وملوثات الهباء الجوي في المناطق القاحلة," جامعة قاصدي مرباح ورقلة, 2017.
- [7] "Aerosol-India." [Online]. Available: [https://ar.wikipedia.org/wiki/هباء\\_جوي/042023/03](https://ar.wikipedia.org/wiki/هباء_جوي/042023/03)
- [8] A. S. M. Alhesnawi, "Quantitative and qualitative study for Kerbala city dust and assessment the tolerance ability and treatment for some plants A," 2018.
- [9] Diana Bou Karam, "Mécanismes de soulèvement d'aérosols désertiques en Afrique de l'Ouest." p. 300.
- [10] "نشرة التراب الجوي." المنظمة العالمية للأرصاد الجوية, 2019.
- [11] A. Zabukovec, "Apport des mesures de la plateforme CALIPSO pour l ' étude des sources et des propriétés optiques des aérosols en Sibérie To cite this version : HAL Id : tel-03675247," 2022.
- [12] "أ. ح. سيد علي عقال," دراسة الخصائص البصرية والفيزيائية للغبار الصحراوي p. 71, 2022.
- [13] "م. ص. أ. الرحمان," دراسة تأثير سرعة الرياح على حمل العوالق والغبار، وأثاره على الإشعاع الشمسي
- [14] Q. Dong *et al.*, "Polarization Lidar Measurements of Dust Optical Properties at the Junction of the Taklimakan Desert – Tibetan Plateau," 2022.
- [15] "2022-03-1710\_05\_49." [Online]. Available: <https://www.eldjazaireldjadida.dz/-الغبار-الصحراوي-يثير-المخاوف-في-اوروب/>
- [16] C. Huiling yang, HuiXiao, "effect of aerosol as Ice Nuclei on the dynamics, Microphysics and precipitation of severe strom clouds." 2019.
- [17] D. W. Dockery, C. A. Pope, X. Xu, J. D. Spengler, and J. H. Ware, "An Association between Air Pollution and Mortality in Six U . S . Cities," no. June 2017, 1994, doi: 10.1056/NEJM199312093292401.
- [18] U. Lohmann *et al.*, "Flood or Drought : How Do Aerosols Affect Precipitation ?," no. May 2014, 2008.
- [19] R. Forcing *et al.*, "Diyala Journal for Pure Science," no. January 2020, pp. 1–14, 2019.
- [20] K. S. Lwin *et al.*, "Effects of Desert Dust and Sandstorms on Human Health : A Scoping Review

- GeoHealth,” 2023, doi: 10.1029/2022GH000728.
- [21] ر. ب. ع. ، نوار, “أثر التغيرات المناخية على إقتصاديات الدول العربية.” جامعة محمد الصديق بن يحي -جيجل
- [22] B. M. Lazhar, N. M. Taher, and F. Abdellali, “Étude d ’ un intense événement de poussière au nord de l ’ Afrique . Inter-comparaison entre l ’ indice de poussière IDDI et les données de vent ré-analysées Era-Interim ( ECMWF ),” 2019.
- [23] “Journal of Geophysical Research Atmospheres - 2012 - Giles - An analysis of AERONET aerosol absorption properties and.pdf.”
- [24] “DF320-Mesure de visibilité par diffusion avant DF320.”
- [25] Y. Aoun, “Evaluation de la sensibilité de l ’ instrument FCI à bord du nouveau satellite Meteosat Troisième Génération imageur ( MTG-I ) aux variations de la quantité d ’ aérosols d ’ origine désertique dans l ’ atmosphère Youva Aoun To cite this version : HAL Id : tel-01613161 THÈSE DE DOCTORAT de l ’ Université de recherche Paris Sciences et Lettres Préparée à MINES ParisTech Evaluation de la sensibilité de l ’ instrument FCI à bord du nouveau satellite Soutenue par Youva AOUN Dirigée par Lucien WALD,” 2017.
- [26] Amran,Afaf.Hamdi,safa.U. Kasdi, M. Ouargla, and M. Académique, “Simulation numérique du cycle de vie d’unetempête de sable et de poussière,” 2017.
- [27] “أ. ط. . ع. ا. سويقات, “الزوابع الرملية والترابية: الخصائص المصادر التوزيع p. 76, 2019.
- [28] "دراسة فعالية نموذج الأرصاد الجوية في المناطق ذات الإمكانات العالية لإثارة الغبار والرمال الصحراوية "م. غربي،ك.دباش
- [29] M. C. Todd, R. Washington, V. Martins, and O. Dubovik, “Mineral dust emission from the Bod ?? l ?? Depression nothern Chad , during BoDEX 2005 Mineral dust emission from the Bode ´ le ´ Depression , northern Chad , during BoDEX 2005,” no. May 2014, 2007, doi: 10.1029/2006JD007170.
- [30] B. Marticorena and G. Bergametti, “Modeling the atmospheric dust cycle . Part 1 : Design of a soil-derived dust emission scheme,” no. March 2017, 1995, doi: 10.1029/95JD00690.
- [31] S. E. E. Profile, “Experiments on particle-turbulence interactions in the near-wall region of an open channel flow : implications for sediment transport,” no. June 2016, 1996, doi: 10.1017/S0022112096008324.
- [32] Z. I and Janjic, “the step -mountain eta coordinate model :further development of the convection2006”.
- [33] S. Alg, “Dédicace Je dédie ce travail : A ma mère et à mon père A ma femme et à mes enfants : Hanane ,” 2017.
- [34] N. C. et F. Y. Ettoumi and I, “Estimation du potentiel éolien Nawal2010.”
- [35] “الانماط السينوبتيكية المولدة للعواصف الغبارية و الرملية فقط الصحراء الجزائرية :,” 2020 ح. مريم ،ع. بلقيس
- [36] M. Y. A. N. M. MAHOWALD, DonaldANDREW J. CONLEY AND WILLIAM D. COLLINS, ClimateDAVID W. FILLMORE, and Climate, “Impact of Desert Dust Radiative Forcing on Sahel Precipitation: Relative Importance of Dust Compared to Sea Surface Temperature Variations, Vegetation Changes, and Greenhouse Gas Warming MASARU2007.”
- [37] d C. M. T. and J. C. Christophe Messenger, a\* Douglas J. Parker, b O. Reitebuch, c A. Agusti-Panareda,



- “Structure and dynamics of the Saharan atmospheric boundary layer during the West African monsoon onset: Observations and analyses from the research flights of 14 and 17 July 2006.”
- [38] S. C. Pierre Tulet, K. Crahan-Kaku, Maud Leriche, Benjamin Aouizerats, “Mixing of dust aerosols into a mesoscale convective system: Generation, filtering and possible feedbacks on ice anvils.” 2010.
- [39] A. K. belkader, “boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions.” 1957.
- [40] C. F. R. Franci, Diana, Peter Knippertz, “Dust emissions over Sahel associated with the West African Monsoon inter- tropical discontinuity region: a representative case study.” 2018.
- [41] and O. G. Cheikh Dione<sup>1, 4</sup>, Fabienne Lohou<sup>1</sup>, Marie Lothon<sup>1</sup>, Bianca Adler<sup>2</sup>, Karmen Babić<sup>2</sup>, Norbert Kalthoff<sup>2</sup>, Xabier Pedruzo-Bagazgoitia<sup>3</sup>, Yannick Bezombes<sup>1</sup>, “Low-level stratiform clouds and dynamical features observed within the southern West African monsoon.” 2019.
- [42] C. Pierre, “Variabilité interannuelle des émissions d’aérosols minéraux en zone semi-aride sahélienne.”
- [43] G. D’almeida, “a model saharan dust transport,” 1985.
- [44] R. M. GOODY and Y. L. YUNG, “atmospheric radiation- theoretical basis (1995)(544s).pdf.”
- [45] “wx-trainee-guide.pdf.”
- [46] B. LAURENT, “Simulation des émissions d’aérosols désertiques à l’échelle continentale: Analyse climatologique des émissions du nord-est de l’Asie et du nord de l’Afriq2005.”
- [47] M. T. N. Michel Legrand, Isabelle Chiapello, Philippe François, “The Infrared Difference Dust Index: Past, Present and Future.2010”
- [48] G. Modeling, A. Office, S. Systems, S. Applications, and I. Corporation, “The Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications ,” vol. 2, pp. 5419–5454, 2017, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0758.1.
- [49] C. H. D. of E. H. S. Willia, C. Center for Occupational and Environmental Health UCLA School of Public Health Los Angeles, and A, “Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles Second Edition.2012”

## الملخص :

يشكل الهباء الجوي في المناطق الصحراوية من اهم الظواهر الطقسية لتأثيرها المباشر على البيئة والإنسان. كما تأثر هذه الظاهرة على المناخ لعلاقتها بالتوازن في الإشعاع الشمسي ودورة الماء في الغلاف الجوي. يهدف هذا العمل على دراسة التباين الزمني للخصائص البصرية للهباء الصحراوي في منطقتين مختارتين من الصحراء الجزائرية ممثلة في كل من منطقة ورقلة (5.4 ; 31.92) الجنوب الشرقي و منطقة تمنراست (5.51 ; 22.78) في أقصى الجنوب. تم التركيز في هذه الدراسة الزمنية على التباين في سلوك عنصري العمق البصري ومعامل انغستروم في المناطق المذكورة في الفترة من 2013-2022 بالاستعانة بمعطيات إعادة التحليل (MERRA-2) التابعة لوكالة ناسا. أظهرت النتائج أن الخصائص البصرية للهباء الجوي تتبع نفس السلوك لموقعي الدراسة مع زيادة عمود الهباء فوق Ouargla. متوسط قيم AOD و Angstrom المسجلة هي (0.3 و 0.39) لورقلة و (0.23 و 0.31) لتمنراست. يتم تسجيل قيم AOD عالية في الصيف ويتم تسجيل قيم AOD المنخفضة في الشتاء. أيضا في حالات العواصف الترابية، تتجاوز AOD قيمة 2.0 في منطقة ورقلة و 0.8 في منطقة تمنراست. الكلمات المفتاحية: الهباء الجوي، معامل انغستروم، العمق البصري للهباء الجوي، MERRA-2

## Abstract:

Aerosols in desert areas constitute one of the most important weather phenomena due to their direct impact on the environment and human life. This phenomenon also affected the climate due to its relationship to the balance in solar radiation and the water cycle in the atmosphere. This work aims to study the temporal variation of the optical properties of desert aerosols in two selected regions of the Algerian desert, represented in each of the Ouargla region (31.92 ; 5.4) in the southeast and the Tamanrasset region (22.78 ; 5.51) in the far south. In this time study, the focus was on the variation in the behavior of the optical depth and the Angstrom coefficient in the aforementioned regions in the period from 2013-2022, using the NASA MERRA-2 reanalysis data. The results showed that the optical properties of the aerosols follow the same behavior for the two study sites with the increase of the aerosol column over Ouargla. The average AOD and Angstrom values recorded are (0.3 and 0.39) for Ouargla and (0.23 and 0.31) for Tamanrasset. High AOD values are recorded in the summer and low AOD values are recorded in the winter. Also in cases of dust storms, the AOD exceeds a value of 2.0 in the Ouargla region and 0.8 in the Tamanrasset region.

**Keywords:** Aerosol, desert dust , Angstrom Exponent, AOD , MERRA-2.