

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

تخصص: فيزياء و الأرصاد الجوية

من إعداد: تريش زينب * عبيد لبنى

بعنوان:

نمذجة ظاهرة التصحر و التعرية الريحية في منطقة ورقلة

نوقشت يوم: 24/05/2017.

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	بن مبروك لزهري
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ مساعد (أ)	الناقص محمد الطاهر
مقررا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	بن بلقاسم خلف الله

الموسم الجامعي: 2016/2017

الإهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

﴿وقل عملوا فسيروا الله عملكم ورسوله و المومنون و ستركون﴾

إلى عالم الغيب و الشهادة فينبئكم بما كنتم تعملون (105) ﴿

نهدي هذا العمل المتواضع :

إلى المعلم الأول و صاحب المهدي العظيم ، سيدنا محمد صلى الله

عليه و سلم....

إلى والديّ العزيزين و أسرتي الكريمة

إلى معلمي و أستاذي ، و جميع زملائي و صديقاتي و طلبة كلية

الرياضيات و علوم المادة

إليكم جميعاً، أهدي هذا العمل المتواضع راجياً من المولى عز و جل

أن ينفع به امتنا الإسلامية ، و إن يسد خطونا و يفضّلها بالتقدم

الأزهار .

شكر و عرفان

قال تعالى: ﴿لئن شكرتم لأزيدنكم﴾

لك الحمد ربي حتى ترضى ولك الحمد إذا رضيت ولك الحمد بعد الرضا .

نتقدم بالشكر والتقدير والامتنان إلى الوالدين الكريمين اللذين كانا لهما الفضل بعد الله لوصولنا لهذه الدرجة العلمية.

نتوجه بالشكر الجزيل والامتنان إلى كل من ساعدنا من قريب أو بعيد على إنجاز هذا العمل ، ونخص بالذكر أستاذنا المشرف بن بلقاسم خلفه الله الذي أشرفه على مذكرتنا بكل سرور وإنشراح ولا ننسى إرشاداته وتوصيته القيمة .

كما نتقدم بالشكر الجزيل إلى أعضاء اللجنة المناقشة بن مبروك لزهر رئيسا و ناقص محمد الطاهر مناقشا على مناقشة هذه المذكرة .

وإلى كافة أساتذتنا في قسم الفيزياء بجامعة قاصدي مرباح وإلى كل زميلاتنا وزملائنا .إلى التي ندين لها بهذا العمل فكروا وبناءا

جامعة قاصدي مرباح

إلى كل هؤلاء نهدى ثمرة جهدنا وفاء و امتنانا

(و . ش . ك . ر . ل)

شكر و عرفان



الفهرس

I	إهداء
II	كلمة شكر
1	مقدمة عامة
2	الفصل الأول: الخصائص المورفولوجية و الديناميكية لحبيبات الرمل
3	I) مقدمة الفصل الأول
3	II) الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل
3	1-II) شكل حبيبات الرمل
4	2-II) حجم حبيبات الرمل
6	3-II) أنواع حبيبات الرمل (نوعية التربة)
6	III) ديناميكا حبيبات الرمل
7	1-III) القوى المؤثرة على الحبيبات
10	2-III) حركة حبيبات الرمل (النقل و الترسيب)
10	1-2-III) آلية النقل و الترسيب
13	2-2-III) النماذج النظرية للنقل و الترسيب
13	1-2-2-III) نموذج الاغرانج
16	2-2-2-III) نموذج ايلر
16	3-III) تأثير حجم و تركيز حبيبات الرمل
18	1-3-III) معامل ستوكس
18	2-3-III) رقم شميد
18	IV) بنية الطبقة الحدية السطحية

19	1-IV) حساب سرعة تدفق الهواء بالقرب من سطح الأرض
20	الفصل الثاني: الكثبان الرملية و ظاهرة التصحر
21	I) مقدمة الفصل الثاني
21	II) الكثبان الرملية
21	1-II) تعريف
21	2-II) توزيع الكثبان الرملية في الجزائر
22	3-II) تكون الكثبان الرملية
23	4-II) أنماط الكثبان الرملية
26	III) نمط البرخان
27	IV) التصحر
27	1-IV) تعريف
28	2-IV) الصحاري في العالم
28	3-IV) الخصائص الجوية للصحراء
29	4-IV) تكون الصحاري
30	الفصل الثالث: نمذجة ظاهرة التصحر باستغلال معطيات ميدانية لكثبان رملية من صنف Barchan
31	I) مقدمة الفصل الثالث
31	1-I) نبذة عن منطقة الدراسة
32	II) المعطيات الميدانية
33	1-II) الصور الميدانية المأخوذة من ثلاث مناطق من منطقة ورقلة
36	2-II) تغيرات سرعة و اتجاه الرياح

37	3-II) رسم منحنيات تغيرات سرعة و اتجاه الرياح
38	III) رسم المخططات المتعلقة بالمعطيات الميدانية لمنطقة ورقلة
38	III-1) رسم مخططات لمنطقة بن ناصر
39	III-2) رسم مخططات لمنطقة الدليلي
41	III-3) رسم مخططات منطقة الطيبات
42	IV) تحليل المخططات
45	IV-1) النموذج الرياضي
47	IV-1-1) قيم متوسطات الأسابيع الأربعة
48	IV-2) النتائج المتحصل عليها
50	IV-3) مناقشة النتائج
52	الخاتمة

فهرس الجداول و الأشكال

فهرس الجداول:

4	الجدول (1-I): يمثل الخواص الاصطلاحية لحبيبات الرمل
12	الجدول (2-I): يمثل مجموعة من التراكيز وحجوم مختلفة للغبار، LDS غبار لمسافات وسط العاصفة و LRT غبار لمسافات طويلة.
12	الجدول (3-I): يوضح نسبة الانتقال و الترسيب لحبيبات الغاز في مجموعة مختلفة من المناطق التي تختلف في نوعية الجو في حالة النقل الجاف و النقل الرطب.
33	الجدول (1-III): يوضح الصور المأخوذة من منطقة بن ناصر خلال شهر مارس 2017
34	الجدول (2-III) يوضح الصور المأخوذة من منطقة الدليليبي خلال شهر مارس 2017
35	الجدول (3-III): يوضح الصور المأخوذة من منطقة الطيبات خلال شهر مارس 2017
36	الجدول (4-III): يوضح تغيرات سرعة و اتجاه الرياح من (07مارس - 10 افريل) 2017
46	الجدول (5-III): يوضح تغيرات سرعة و اتجاه الرياح و U_x و U_y من (07مارس - 10 افريل) 2017
47	جدول (6-III): قيم متوسطات الأسابيع الأربعة المدروسة

فهرس الأشكال:

5	الشكل (1-I) : رسم تخطيطي يوضح أصناف حبيبات الرمل
6	الشكل (2-I) : رسم تخطيطي يمثل حالات امتزاج أصناف حبيبات الرمل
7	الشكل (3-I) : منحنيات تمثل تغيرات السرعة النهائية بدلالة حجم الحبيبات و ثابت رينولدز لثلاثة أنواع من حبيبات الرمل من الناحية الكثافة
8	الشكل (4-I) : رسم تخطيطي يوضح توزيع القوى
10	الشكل (5-I) : منحنيات تمثل قيم U_t عند أقطار الحبيبات ذات القيمة $(75 - 100 \mu m)$ و عند اصغر الحبيبات $d \ll$
11	الشكل (6-I) : نموذج يوضح آلية النقل و الترسيب في الجو الجاف
15	الشكل (7-I) : مثال عن تحليل حركة عاصفة رملية بإدراج قوة الضغط ب HPa و سرعة الرياح عند درجة الحرارة $40c^\circ$
15	الشكل (8-I) : رسم تخطيطي باستعمال نموذج الاغرونوج و باعتبار المتحرك المتماثل المناحي لعملية نقل الغبار
17	تحليل الشكل (9-I) : رسم توضيحي لحركة حبيبات الغبار في منطقتين مختلفتين من الطبقة الحدية
18	الشكل (10-I) : رسم تخطيطي لبنية الطبقة الحدية السطحية
22	الشكل (1-II) : توزيع الكتبان الرملية الصحراوية في الجزائر
23	الشكل (2-II) : مراحل تكوين الكتبان الرملية
24	الشكل (3-II) : أنماط الكتبان الرملية
24	الشكل (4-II) : الكتبان الهلالية
25	الشكل (5-II) : الكتبان القوسية
25	الشكل (6-II) : الكتبان الطولية
26	الشكل (7-II) : الكتبان النجمية

26	الشكل(II-8): يوضح نمط البرخان
27	الشكل(II-9): يوضح الأبعاد و القياسات لنمط برخان
28	الشكل (II-10): توزع الصحاري في العالم
31	الشكل(III-1): صورة توضح نوع برخان في منطقة الدليليبي
32	الشكل (III-2): يوضح طريقة القياس
37	الشكل(III-3): يمثل تغيرات سرعة اتجاه الرياح من (7مارس - 9افريل) 2017
38	الشكل(III-4): يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (4مارس-4افريل) 2017
39	الشكل(III-5): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (4مارس - 4افريل) 2017
39	الشكل(III-6): يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (7مارس-7افريل) 2017.
40	الشكل(III-7): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (7مارس - 7افريل) 2017
41	الشكل(III-8): يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (9مارس-9افريل) 2017
42	الشكل(III-9): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (9مارس - 9افريل) 2017
43	الشكل(III-10): منحني يوضح تغيرات الارتفاع h و عدد الخطوط للكثيب الرملي بدلالة سرعة و اتجاه الرياح لمنطقة بن ناصر خلال شهر مارس 2017
44	الشكل(III-11): منحني يوضح تغيرات الارتفاع h و عدد الخطوط للكثيب الرملي بدلالة سرعة و اتجاه الرياح لمنطقة الدليليبي خلال شهر مارس 2017
44	الشكل(III-12): منحني يوضح تغيرات الارتفاع h و عدد الخطوط للكثيب الرملي بدلالة سرعة و اتجاه الرياح لمنطقة الطيبات خلال شهر مارس 2017
48	الشكل(III-13): تغيرات سرعة الكثيب الرملي في الاتجاه الشمالي(Ux)

48	الشكل (III-14): تغيرات سرعة الكثيب الرمللي في الاتجاه الغربي (Uy)
49	الشكل (III-15): تغيرات سرعة الكثيب الرمللي (Vd)

جدول الترميز:

الرمز	تعريف بالرمز	الوحدة
ρ_p	الكثافة الحجمية للهواء	(kg/m^3)
m	كتلة الحبيبة	(kg)
T_p	زمن استجابة الحبيبة	(s)
Re_{pt}	ثابت رينولدز	
w_p	سرعة الحبيبة	m/s
w_t	سرعة الحبيبة في الزمن T	m/s
W	سرعة التدفق السائل	m/s
U	سرعة الرياح	m/s^{-1}
$D(m)$	نصف قطر الحبيبة	m
$p(m)$	الكثافة الحجمية	(kg/m^3)
F_i	القوة الداخلية	N
F_d	قوة الجر	N
F_l	قوة رد الفعل	N
F_g	قوة الجاذبية	(m^2/S)
C	تركيز الحبيبة	Mol/l
T	درجة الحرارة	C°
U_x	تغيرات سرعة الكثيب الرملي في الاتجاه الشمالي	m
U_y	تغيرات سرعة الكثيب الرملي في الاتجاه الغربي	m
U_{vd}	تغيرات سرعة الكثيب الرملي	m

المقدمة العامة

مقدمة عامة

تحتل الصحراء جزءا كبيرا من المساحة الكلية للجزائر حيث تعتبر منطقة ورقلة واحدة من أهم المناطق الصحراوية من حيث السطح المميز لها و امتلاكها الأصناف متعددة من الكثبان الرملية، بما أن الكثبان الرملية تساهم بشكل كبير في ظاهرة التصحر، حاولنا في هذا العمل التركيز على هذه الخاصية كآلية للتصحر، مع العلم بأنها ليست الوحيدة المسببة لهذه الظاهرة. حيث يمكن من خلال هذه الدراسة التكهن و التنبؤ بشكل السطح خلال فترات زمنية قادمة ، و بمعرفة الشكل العام للسطح خلال هذه الفترات إضافة إلى معرفة حركة هذه الكثبان، يمكننا إعطاء صورة لأرشفيف حالة الطبقة الحدية السطحية و تحديد موصفتها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن قياس و معرفة بعض الخواص المتعلقة بطبيعة الرمال في المنطقة و كذا إعطاء نموذج لتوزيع حقل سرعة الرياح السطحية في الطبقة الحدية السطحية.

و في هذا العمل الذي قمنا به تطرقنا إلى قياس الأطوال و ذلك بالاستعانة بأدوات القياس و هي جهاز المتر و قمنا بتصوير الكثيب بواسطة جهاز الكاميرا و في الدراسة تطرقنا إلى رسم المنحنيات بواسطة برنامج (MATLAB) لتحقيق ذلك قمنا بهذا العمل من خلال التدرج عبر مراحل.

بدأنا في الفصل الأول بدراسة لتصنيف حبيبات الرمل و معرفة القوى المؤثرة عليها، ثم تعرفنا على الجانب النظري لمعادلة النقل والترسيب و معرفة تغيراتها بدلالة خواص الحبيبات. في الفصل الثاني، درسنا أشكال الكثبان الرملية، المتشكلة من خلال تجمع هذه الحبيبات في كميات كبيرة أين صنفناها في أنماط مختلفة. لتبسيط الدراسة ركزنا على نوع Barckan والتعرف على مرفولوجيته وحركته و كذلك علاقته بظاهرة التصحر.

في الأخير، من خلال المحاكاة باستعمال البرمجة الآلية، أدخلنا المعطيات المأخوذة ميدانيا من مناطق مختلف في ولاية ورقلة كعينات لهذا النوع من الكثبان الرملية بمهدف تحليل النتائج و مقارنتها بالنماذج النظرية.

الفصل الأول

الخصائص المورفولوجية و الديناميكية لحبيبات

الرمل.

(I) مقدمة

تعتمد حركة حبيبات الرمل في الطبيعة على ثلاثة خصائص [1] وهي كما يلي:

1- خصائص الغلاف الجوي (الرياح).

2- طبيعة السطح.

3- خصائص الفيزيائية للحبيبات الرمل.

حيث تختلف هذه الأخيرة وتتغير حسب الحجم و الشكل وكتافتها في الجو، التي تؤثر بشكل على التفاعلات بينما

هذه الخصائص من الصعب قياسها عمليا ولكن يجب إعطائها وتكميمها في أي نموذج يدرس هذه الظاهرة

(II) الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل

II-1) شكل حبيبات الرمل:

من حيث الشكل [1]، تأخذ حبيبات الرمل أشكال مختلفة حسب مظهرها الخارجي على الرغم من أن الشكل العام

مبسط على شكل كروي نصف قطرها R بشكل عام، و ذلك حسب دراسة (Gillette and Walker 1977) التي أثبتت

الفرق الشاسع بين الأشكال المختلفة بين حبيبات الرمل على الرغم من هذا إلا أن التصرف الايروديناميكي للحبيبات الرمل

تدرس على أساس الشكل الكروي.

Symbol	Name	Definition	Formula
d_m	mass d	d of S, same density & mass as P	$m = \rho_p \frac{\pi d_m^3}{6}$
d_v	volume d	d of S, same volume as P	$V = \frac{\pi d_v^3}{6}$
d_s	surface d	d of S, same surface as P	$s = \pi d_s^2$
d_{sv}	surface-volume d	d of S, same external surface to volume ratio as P	$d_{sv} = d_v^3/d_s^2$
d_d	drag d	d of S, same resistance to motion as P in a fluid with same viscosity & velocity	$F_D = \frac{C_D \pi d_d^2 \rho v^2}{8}$
d_f	terminal-velocity d	d of S, same density & terminal velocity as P in a fluid of same density & viscosity	
d_a	projected-area d	d of S, same projected area as P resting in a stable position	$A = \frac{\pi}{4} d_a^2$
d_p	projected-area d	d of S, same projected area as P in random orientation	Mean of all possible d_a
d_c	perimeter d	d of S, same perimeter as the projected outline of P	$L = \pi d_c$
d_A	sieve d	width of the minimum square aperture through which P will pass	
d_F	Feret's d	mean distance between pairs of parallel tangents to projected outline of P	
d_M	Martin's d	mean chord length of projected outline of P	

الجدول (1-I): يمثل الخواص الاصطلاحية لحبيبات الرمل [1].

خصائص حبيبات الرمل الحقيقية مماثلة بالتقريب وبصفة عامة لحبيبات الاصطلاحية ذات الشكل الكروي مثال على

ذلك حبيبات الرمل التي كتلتها m تعطي حبيبات الرمل المكافئة كتلتها m حيث نصف القطر d_m [3] هو:

$$d_m = \left(\frac{6m}{\pi \rho_p} \right)^{1/3} \quad (1-I)$$

حيث $\rho_p (kg/m^3)$ الكثافة الحجمية للهواء $m(kg)$ كتلة الحبيبة.

$$m = \rho_p \pi^3 / 6 \quad (2-I) \quad \text{وكتلتها:}$$

(2-II) حجم حبيبات الرمل:

حجم حبيبات الرمل [1] تختلف من اقل 2 mm إلى أكبر من 0.1um وهي مقسمة إلى أربعة أصناف و تصنف

كالتالي:

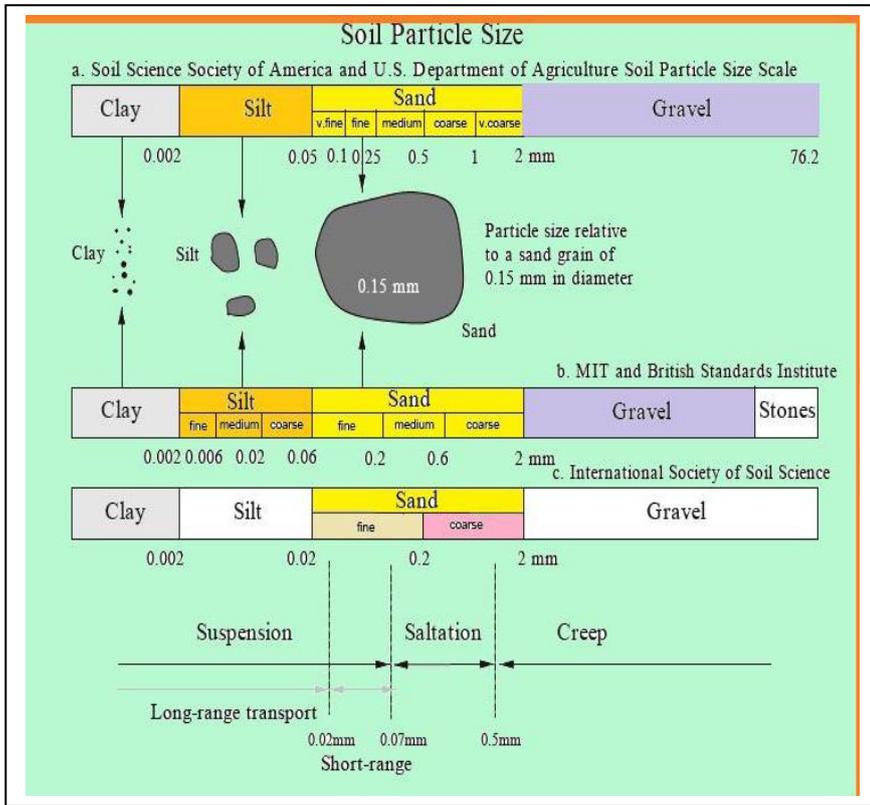
1-الحصى: $(2mm < d \leq 76.2 mm)$

2-الرمل: $(0.05mm < d \leq 2 mm)$

3-الطمي: $(0.002mm < d \leq 0.05mm)$

4-الطين: $(d < 0.002mm)$

كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (1-1): رسم تخطيطي يوضح أصناف حبيبات الرمل [4].

تعطى دالة لتوزيع حجم حبيبات الرمل [1] من الشكل التالي :

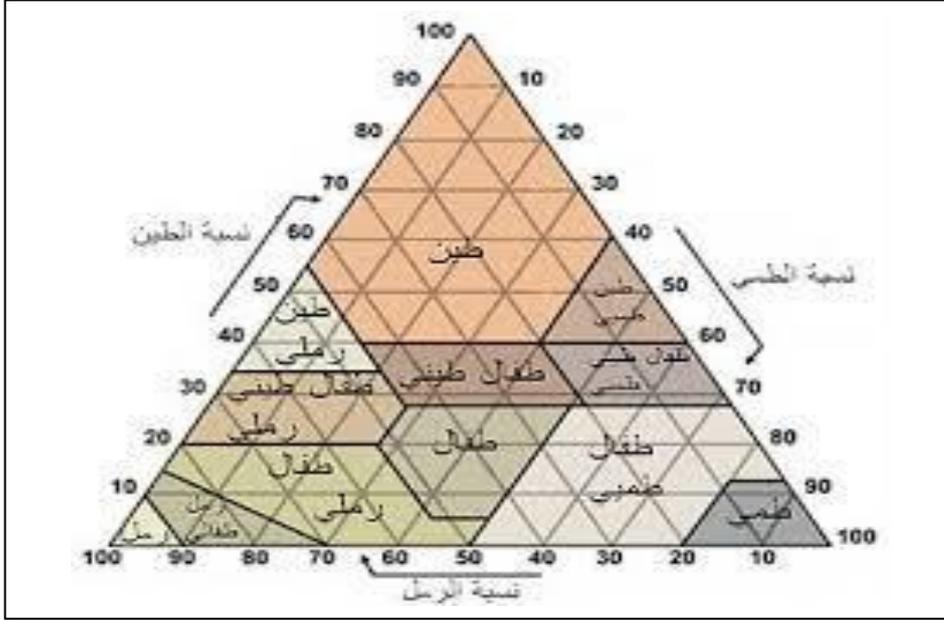
$$p_d = \frac{\rho_p \pi}{2} d^2 p_{(m)} \quad (3-I)$$

$$p_{(m)} = \frac{\delta p_{(m)}}{\delta_m} \quad (4-I) \quad \text{حيث الكثافة الحجمية تمثل}$$

3-II) أنواع حبيبات الرمل (نوعية التربة):

تصنف حبيبات الرمال باختلاف أحجامها حسب نوعية التربة المنتجة لها و ذلك من خلال المزج بين ثلاث أصناف

رئيسية هي الطمي، الطين و الرمل، كما يبينه المخطط التالي [1].



الشكل (I-2) : رسم تخطيطي [1] يمثل حالات امتزاج أصناف حبيبات الرمل.

(III) ديناميكا حبيبات الرمل

تعطى ايسط معادلة [1] لوصف حركة حبيبات الرمل بالشكل التالي:

$$\frac{d_u p_i}{d_t} = \frac{u_{ri}}{T_p} - \delta_{i3} g \quad (5-I)$$

حيث T_p زمن الاستجابة و يكتب على الشكل التالي:

$$U_r = R_{e_{pt}} * w_t \quad (6-I) \quad \text{حيث:}$$

$R_{e_{pt}}$ هو ثابت رينولدز لتدفق المائع. $R_{e_{pt}} = w_t d / \nu$

في حالة الهواء w_t تكون أعظمية (الحدية) تعطى سرعة الحبيبة من خلال المعادلة التالية :

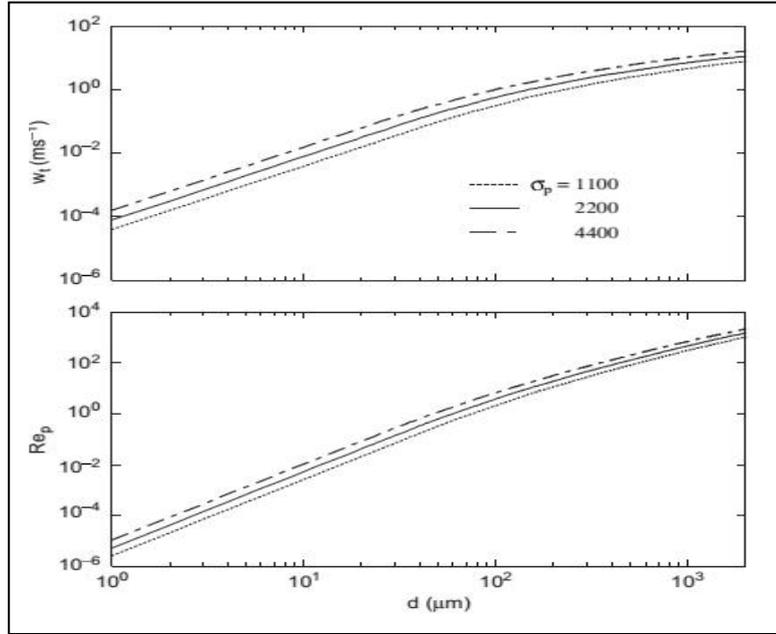
$$w_p = w - w_t \quad (7-I)$$

حيث w سرعة التدفق السائل، و w_p سرعة الحبيبة و w_t سرعة الحبيبة في الزمن

إذا كانت $w_p \geq 0$ الحبيبة تواصل التحرك مع التدفق المائع و من اجل أزمنة طويلة وخاصة حبيبات الرمل لها w_p كبير

إذا كانت $w_p < 0$ تدل على أن حبيبات الرمل تحاول بقدر الإمكان الرجوع إلى السطح

ملاحظة : يمكن استعمال السرعة w_t لتحديد نوعية حبيبات.

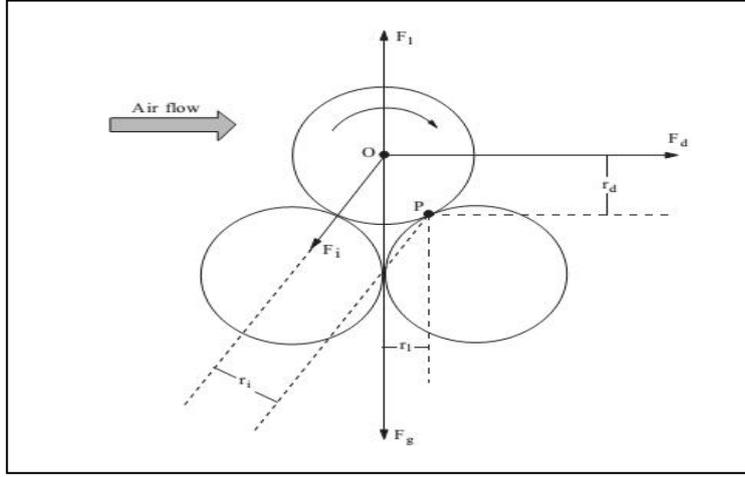


الشكل (3-I) : منحنيات تمثل تغيرات السرعة النهائية بدلالة حجم الحبيبات و ثابت رينولدز لثلاثة أنواع من حبيبات الرمل من الناحية الكثافة [1].

III-1) القوى المؤثرة على الحبيبات:

من اجل حبيبات الرمل ذات القطر d و من خلال معرفة توازن القوى $F_g - F_l - F_d - F_i$ و F_i كما يبين الشكل التالي.

حيث: F_g قوة الجاذبية و F_l قوة رد الفعل و F_d قوة الجرو و F_i القوة الداخلية.



الشكل (4-I): رسم تخطيطي [3] يوضح توزيع القوى.

في لحظة الانطلاق حبيبة (O) القوتين F_g و F_i تندمجان بفعل القوى F_d و F_1 و الحبيبة (O) تتدحرج على سطح الحبيبة المجاورة فوق النقطة (P) وتوزع القوى في هذه اللحظة و يعطى من خلال العزوم كمايلي [1].

$$r_d F_d + r_1 (F_1 - F_g) + r_m F_m - r_i F_i = 0 \quad (8-I)$$

عزم الحبيبة في لحظة تدحرجها على السطح المجاور: $r_m F_m$

$$a_d F_d + a_1 (F_1 - F_g) + a_m F_m - a_i F_i = 0 \quad (9-I)$$

حيث هذه الأخيرة تمثل المعادلة الابعدية للمعادلة السابقة حيث. $r_l = a_l d$, $r_m = a_m d$, $r_d = a_d d$

$$r_i = a_i d$$

و من اجل تبسيط المعادلة يمكن الاعتبار نظريا مساهمة قوتين أساسيتين هما قوة الجر F_d وقوة الجاذبية F_g .

$$a_d F_d - a_1 F_g = 0 \quad (10-I) \text{ و المعادلة تكتب كالشكل التالي :}$$

و ذلك قوة الجر F_d و هذا محقق في دراسة حبيبات في صنف الرمل.

$$F_d = \frac{1}{2} C_{ds} \rho A_s U_s^2 \quad (11-I) \text{ أين تعطى [1] علاقة قوة الجر:}$$

حيث C_{ds} معامل قوة الجر و A_s هو السطح العمودي على اتجاه تدفق الهواء و U_s هي سرعة تدفق و لأكن يصعب تحديدها بالاقتراب من السطح ومنه يمكن تقريب العلاقة السابقة (I-11) كالشكل [1] التالي:

$$F_d = K_D \rho d^2 u_*^2 \quad (12-I)$$

حيث K_D معامل دالة الالبعدية المتعلقة بالمعامل رينولدز المتعلق بالسرعة حبيبات الرمل.

حيث معامل رينولدز هو $Re_* = u_* d / \nu$ و بفرض $a_d = a_1$ في المعادلات السابقة نحصل على المعادلة التالية:

$$u_{*t} = A_B \sqrt{\sigma_p g d} \quad (13-I)$$

حيث $A_B = A_B(Re_{*t})$ معامل متعلق ب $Re_* = u_* d / \nu$ و يسمى بمعامل رينولدز لسرعة احتكاك الحبيبات

وجد أن A_B هي عبارة عن حسابات رقمية و بمعطيات تجريبية تكون في حدود (0.1-0.2) و من اجل قيم $Re_{pt} > 3.5$

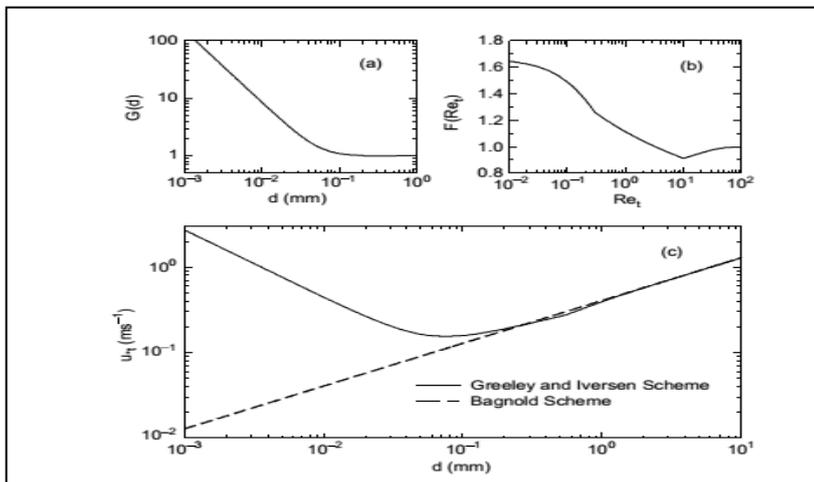
هذا يعني أن $u_{*t}(d)$ تكون متناسبة $d^{1/2}$ و منه أعطيت قيمة قياسية ل A_B المعادلة التالية [1]:

$$A_B = \frac{u_{*t}}{\sqrt{\sigma_p g d}} \quad (14-I)$$

من اجل حبيبات تكون في حدود ($100 \mu m$) تناسب U_t و $d^{1/2}$ حيث أكدت صحتها من خلال التجارب حيث أظهرت

أن U_t تكون بقيم دنيا عند أقطار الحبيبات ذات القيمة التالية ($75 - 100 \mu m$) و تكون أعظمية بتغير سريع عند اصغر

الحبيبات $d \ll$ كما هو موضح في الشكل التالي [3].



الشكل (I-5): منحنيات تمثل قيم Ut عند أقطار الحبيبات ذات القيمة $(100 - 75 \mu m)$ و عند اصغر الحبيبات $d \ll$

III-2) حركة حبيبات الرمل (النقل و الترسيب):

يعرف الغبار [1] بأنه مجموعة حبيبات الرمل لحظة مغادرتها تم اما سطح الأرض التي تتميز بأقطار مختلفة من اصغر إلى غاية أكبر قطر حرج (R_0) يمكن للرياح نقلها، حيث تنقل ثم ترسب من مكان إلى مكان آخر، هذه الدورة تسمى دورة الغبار، إن عملية النقل و الترسيب (أي دورة الغبار) عن طريق الرياح تعتبر المسبب الرئيسي للمنظر العام لسطح الكرة الأرضية و التضاريس، حيث في الأبحاث الجيولوجية تصنف من أهم آليات الفعالة لتغير طبولوجية سطح الأرض، كما يعتبر عامل مهم في تغير المناخ و تأثيره على صحة الإنسان .

III-2-1) آلية النقل و الترسيب:

تعبّر عن المسافة التي يقطعها الغبار عبر الغلاف الجوي مرتبطة بالسرعة الرياح (تدفق الهواء) وحجم حبيبات الغبار . من المهم إذا تخصيص شروط خاصة لحالة الغلاف الجوي لمعرفة المسافة التي يقطعها الغبار بدلالة تدفق الهواء (سرعة الرياح) وحجم حبيبات الغبار مع كثافتها .

نفرض حبيبات الغبار محمولة في عاصفة قوية بحيث تمزج هذه الحبيبات مع الهواء في مجال الطبقة الحدية ذات عمق H

إذا كثافة الغبار في هذه الطبقة يتبع بالتقريب المعادلة [1] التالية :

$$U \frac{\partial \rho c}{\partial x} = - \frac{\partial F}{\partial z} \quad (15-I)$$

حيث U سرعة الرياح و X المسافة و Z الارتفاع و F التدفق العمودي لحبيبات الغبار.

بتكامل المعادلة (15) وفق Z حيث $F=0$ نجد المعادلة التالية:

$$U_m \frac{d\rho c_m}{dx} = \frac{F_0}{H} \quad (16-I)$$

حيث m ترمز إلى تغير العمق وفق Z

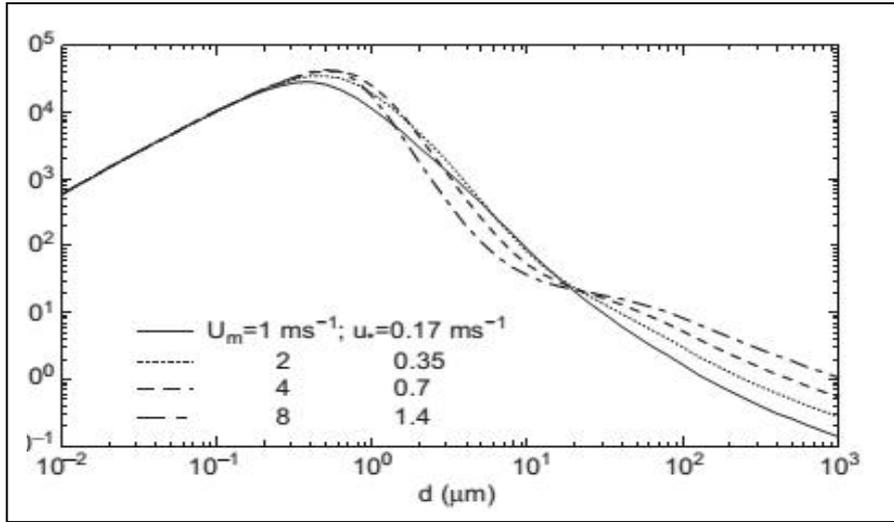
إذا كان انبعاث الغبار غير نشط إذا f_0 تعبر عن الترسيب عبر السطح حيث يمكن التعبير عنها بـ $F_0 = \rho w_d c_m$

Wd هو سرعة الترسيب في الجو الجاف حل المعادلة (15-I):

$$C_m(x) = C_m(0) \exp\left(-\frac{x}{x_d}\right) \quad (17-I)$$

حيث: $x_d = U_m H/wd$

هذا النموذج البسيط يظهر آلية الترسيب الجو الجاف حيث يعطي تغير C_m بدلالة المسافة X .



الشكل (6-I): نموذج يوضح [1] آلية النقل و الترسيب في الجو الجاف.

في الصحراء أين يصل ارتفاع الطبقة الحدية (طبقة المزج) والتي تعرف بالطبقة الحمل الحراري إلى ارتفاع 5km في

النهار، في هذا الارتفاع سرعة الرياح تكون كبيرة جدا بحيث يمكن للغبار الوصول إلى مسافات أكبر .

في المعادلة (17-I) يظهر بصفة عامة أن حجم حبيبات الغبار الصغيرة التي لا تتعدى $20 \mu m$ تستطيع الانتقال إلى مسافات

أكبر و هذا من خلال التجربة، كما أظهرت التجارب أن الأقطار تختلف من منطقة إلى منطقة حيث يكون أكبر حجما في

المناطق الصحراوية و المناطق ذات العواصف على العكس المناطق الرطبة و المسطحات المائية.

Study Type	Height	Concentration ($\mu\text{g m}^{-3}$)	Size (μm)	u_* (m s^{-1})	Reference
LDS	1 m	$8 \times 10^3 - 2.5 \times 10^7$	≤ 10	0.4-0.6	Gillette and Walker (1977), M
LDS	1.5 m	$4 \times 10^3 - 2.6 \times 10^5$	≤ 10	0.3-0.5	Gillette and Walker (1977), M
LDS	1-10 m	$10^3 - 10^5$	≤ 10	0.3-0.6	Nickling (1978), M
LDS	1-10 m	26-13,735	≤ 10	0.2-1.0	Nickling and Gillies (1993), M
LRT	Bld. roof	280-5,000			Gao et al (1992), M
LRT	Land surf.	500			Talbot et al (1986), M
LRT	Land surf.	3.6-32.3	≤ 2.5		Perry et al (1997), M
LRT	Land surf.	14.6-62.1			Prospero and Nees (1976), M
LRT	Ocean surf.	2-25			Prospero and Nees (1976), M
LRT	Ocean surf.	0.1-60			Pye (1987), M
LRT	2,000 m	2×10^3			Nickovic and Dobricic (1996), L
LRT	980 hPa	10^5	≤ 10		Westphal et al (1988), L
LRT	960 hPa	$129 (\mu\text{g kg}^{-1})$	Clay		Tegen and Fung (1994), L

الجدول (I-2): يمثل مجموعة [1] من التراكيز وحجوم مختلفة للغبار، LDS غبار لمسافات وسط العاصفة و LRT غبار لمسافات طويلة.

قام مجموعة من الباحثين مثل (duce et al (1991)، Gao et al (1997) و Zhan et al (1997) بدراسة

نسبة الانتقال و الترسيب لحبيبات الغبار في مجموعة مختلفة من المناطق التي تختلف في نوعية الجو في حالة النقل في المناطق الجافة و

النقل في المناطق الرطبة

Ocean	Dry	Wet	Total
North Pacific	1.50	3.80	5.30
South Pacific	0.13	0.23	0.35
North Atlantic	2.90	1.10	4.00
South Atlantic	0.20	0.27	0.47
North Indian	2.00	5.10	7.10
South Indian	0.22	0.60	0.82
Global total	1.00	1.50	2.50

الجدول (I-3): يوضح [1] نسبة الانتقال و الترسيب لحبيبات الغبار في مجموعة مختلفة من المناطق التي تختلف في نوعية الجو في حالة النقل الجاف و

النقل الرطب.

III-2-2) النماذج النظرية للنقل و الترسيب:

III-2-2-1) نموذج الاغرانج:

نمدجة ظاهرة نقل و ترسب الغبار [1] في الهواء تأخذ و تتماشى مع النموذج المأخوذ لدراسة الحالة الفيزيائية للغلاف الجوي، ليعتبار نموذج الاغرانج فإن المسارات تعرف من خلال تكامل معادلة الانتقال لحبيبات إلا في حالة العواصف الشديدة و لكن و في كل الحالات تركيز ذرات الغبار يكون من رتبة بضع(قليل) الاغرانج في الكيلوغرام من الهواء.

إن تواجد ذرات الغبار في الهواء الجوي يعني بضرورة أن تأخذ نفس الشكل الديناميكي لحركة الهواء في الغلاف الجوي، لكن لها حركة و تسارع يمكن دراستها بشكل مستقل، وهذا النموذج يعتبر عمليا في حالة تعدد الأحجام للحبيبات الغبار في مختلف الأجواء ، و النموذج الرقمي المتبع يعتبر بسيط نوعا ما و لكن من الضروري في هذا النموذج تتبع مجموعة واسعة من حبيبات الغبار تقارب (20000) حبيبة لإعطاء النتائج.

الاضطراب في الغلاف الجوي و خاصة في الطبقة الحدية يضاف متغير جديد يزيد من تعقيد هذا المشكل (الدراسة) و حركة الحبيبات في التدفق المضطرب هي نتيجة دمج انتشار الاضطراب و قوى العاطلة للحبيبات كالقوى الجاذبية و تصادمات، إن تقرب العوامل المهمة التي يجب حسابها في حركة الحبيبات (ذرات الغبار) في حالة الاضطراب هي من أصعب المشاكل نظريا و التي لم تحل لحد الساعة.

عند معرفة الموضع الابتدائي و السرعة لحبة الغبار يمكن التنبؤ بإمكان ترسيبها مستقبلا من خلال تكامل المعادلة -- (18-I) و (19-I) ، من اجل المجال الانتقال الكبير نهتم بالحبيبات الغبار ذات الأقطار اقل من 20mm و من اجل هذه الحبيبات و زمن استجابة الحبيبة (T_p) يساوي ($\sigma_p d^2 / 18v$) في حدود (S) 10^{-2} و الذي هو اقل مقارنة بالقيم العملية عند سريان الموائع و منه يمكن كتابة المعادلتين [1].

$$u_{pi} = u_i - \delta_{i3} g T_p \quad (18-I)$$

$$d_{xi} = u_{pi} d_t \quad (19-I)$$

من خلال المعادلتين (18-I) و (19-I) نجد انه يجب معرفة حقل السرعات u_i هذه المعطيات تؤخذ من خلال نماذج الميتولوجية (فيزياء الأرصاد الجوية)، لسرعة الرياح العمودية $w=1/3$ مأخوذة من المعطيات الأرصاد بحيث كل المركبات تحقق معادلة الاستمرارية.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (20-I)$$

تكامل هذه المعادلة من 0 الى Z يعطى :

$$w_z = - \int_0^z \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) dz \quad (21-I)$$

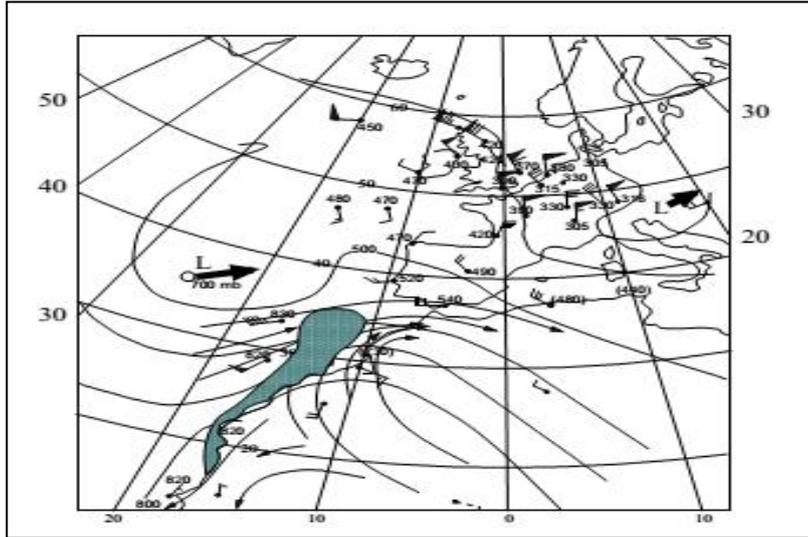
و بما أن القيم العملية للسرعة العمودية للرياح هي في حدود $0.01m/s$ و هي اقل من الرياح الأفقية التي هي في حدود ($10m/s$) و من الصعب تحديد فعل الرياح العمودية على العكس من المركبات الأفقية في أغلبية النماذج يعتبر تصرف حبة الغبار في الغلاف الجوي المشابه للحجم العنصري للهواء لكن بإضافة قوة الجاذبية.

المسارات الازوتروبية تحسب عند أسطح متساوية درجة الحرارة و من الأفضل عند الأسطح الازوبارية و المسارات الازوسقمية محسوبة عند الأسطح حيث $(p/ps) = \text{ثابت}$ بفعل هذا التصادم المرن (نموذج التصادم المرن) و باعتبار الجو جاف و كذلك باعتبار $do/dt=0$ سرعة الرياح العمودية للحجم العنصري للهواء (بارسل) تعطي بالعلاقة التالية:

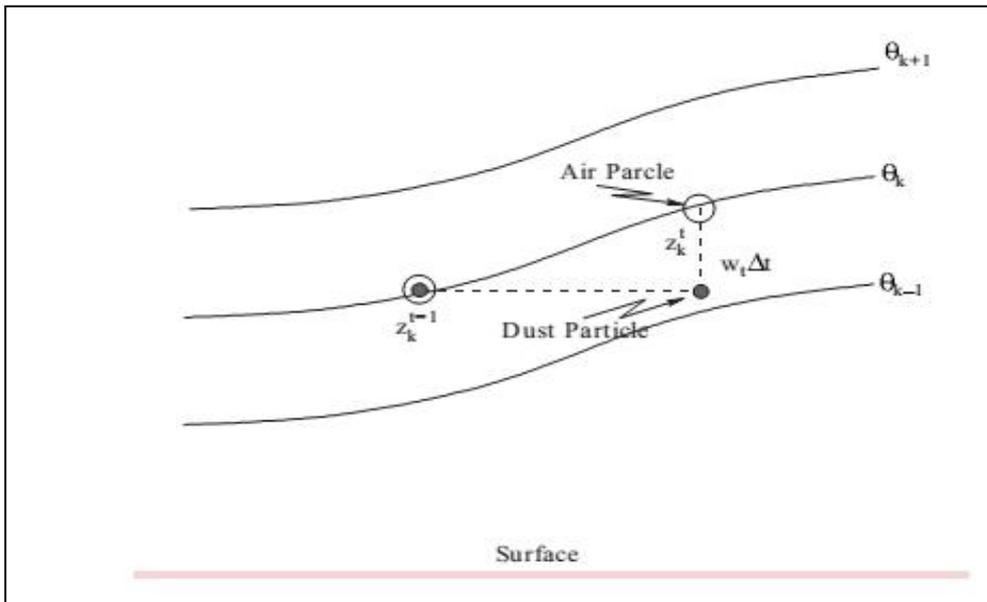
$$w_\theta = - \left(-u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + \frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \left(\frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{-1}$$

نفرض أن الحجم العنصري من الهواء و ذرة الغبار لها نفس الموقع حيث $fz^{t-1} = pz^{t-1}$ حيث $t-1$ هي خطوة للزمن الحجم العنصري للهواء (parcel) للتحرك وفق z_f^t على السطح متمائل المناحي و ارتفاع حبيبة الغبار في الزمن t يعطي بالعلاقة [1] التالية

$$z_p^t = z_f^t - w_t \Delta_t \quad (22-I)$$



الشكل (I-7): مثال عن تحليل [1] حركة عاصفة رملية بإدراج قوة الضغط ب HPa و سرعة الرياح عند درجة الحرارة 40°C .



الشكل (I-8): رسم تخطيطي [1] باستعمال نموذج الاغرانج و باعتبار المتحرك المتمائل المناحي لعملية نقل الغبار.

المسارات للحجم العنصري للهواء تكون على شكل شبه دائرة (دائرة مفتوحة)، تحسب عند الأسطح ثابتة الكمون

الحراري Q و لتصحيح (خطاء) المحسوب أثناء هذه المسارات يكون بفعل حبة الغبار (full dot).

III-2-2-2) نموذج ايلر:

نموذج ايلر [1] يفرض أن أطوار الحركة تكون مستمرة مثل أطوار المائع و تركيز حبات الغبار في الغلاف الجوي يخضع لظاهرة الانتشار التي تترجم في معادلة انحفاظ الطاقة الحرارية (الحمل الحراري في الغلاف الجوي)، ككل السليمات في الغلاف الجوي و يعطى تركيز الغبار في لحظة معينة t و يفرض أن المصدر (المنبع) أو المأخذ (البئر) محدد مسبقا من خلال شروط الطبقة الحدية. و بما أن معظم الدراسات تدفق الهواء في الغلاف الجوي تدرس بنموذج ايلر، ويمكننا التعبير عن التركيز باستخدام المعادلة [1] التالي:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + (w - w_t) \frac{\partial c}{\partial z} & \quad (23-I) \\ = \frac{\partial}{\partial x} k_{px} \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_{py} \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_{pz} \frac{\partial c}{\partial z} + s_r + s_c \end{aligned}$$

و في الحدود العليا لطبقة الحدية تؤخذ المعادلة التالية:

$$\rho(w - w_t)c - \rho k_{pz} \frac{\partial c}{\partial z} = F_0 \quad \text{1- عند السطح} \quad (24-I)$$

$$K_{pz} \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad \text{2- عند الغلاف الجوي}$$

III-3) تأثير حجم و تركيز حبيبات الرمل:

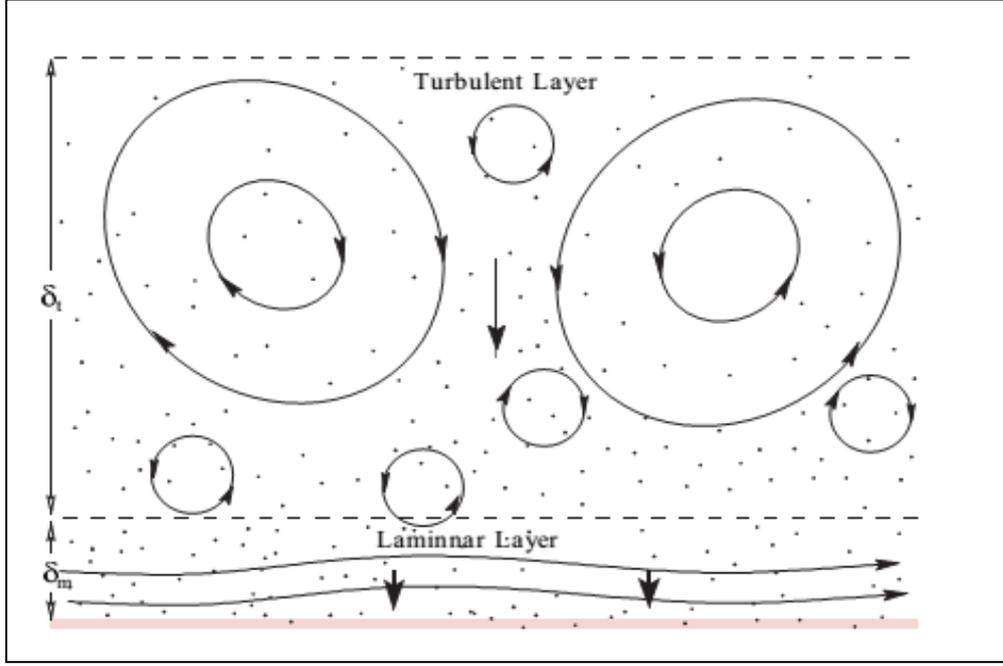
$$c = \sum_{i=1}^I c_i \quad \text{كل [1] حبيبات ذات العنصر } d_i + \Delta d_i \text{ لها تركيز الكلي هو } c_i$$

نقل كل حبيبة يمكن معالجتها على حدة باستعمال المعادلة (9-I) [1] و باستبدال c ب c_i فقط .

$$\frac{\partial c_i}{\partial t} + u \frac{\partial c_i}{\partial x} + v \frac{\partial c_i}{\partial y} + (w - w_{ti}) \frac{\partial c_i}{\partial z}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x} k_{pxi} \frac{\partial c_i}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_{pyi} \frac{\partial c_i}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} k_{pzi} \frac{\partial c_i}{\partial z} + S_{ri} + S_{ci} \quad (25-I)$$

- يمكن لذرة الغبار الانتقال بواسطة الانتشار في الغلاف الجوي بفعل الحمل الحراري بالإضافة إلى حركة الهواء (الرياح).



تحليل الشكل (9-I): رسم توضيحي [4] لحركة حبيبات الغبار في منطقتين مختلفتين من الطبقة الحدية.

تدفق الغبار يمكن حسابه باستعمال علاقة تحول المجموعة التي تعطى [1] بالعلاقة التالية: $-\rho w_{dt} [c(z) - c(\delta_m)]$

حيث w_t يعبر عن انتقالية المجموعة في الطبقة العليا لجرة الغبار، و لتذكير w_{dt} لها أبعاد سرعة المجموعة و تعرف كذلك بالانتشار

الاضطرابي لحبيبات الغبار و δ_m هو ارتفاع الطبقة الحدية.

كما نعرف موصلية عزم تدفق المجموعة g_a حيث $g_a = C_d u$ و C_d معامل الجر و U السرعة المتوسطة للتدفق

حيث يمكن كتابة العلاقة التالية:

$$w_{dt} = \epsilon g_a \quad (26-I)$$

حيث ϵ معامل التناسب المتعلق بحجم الجسيمات.

- إن ارتفاع الطبقة الحدية δ_m لا يتجاوز ارتفاع الطبقة الحدية الصفائحية δ و كما هو معروف أن δ يعطى بالتقريب:

$\delta \sim v/u_*$ حيث V تعبر عن للزوجة.

III-3-1) معامل ستوكس:

هو النسبة بين زمن استجابة حبيبة الغبار و زمن التدفق [1] يعطى بالعلاقة التالية:

$$S_t = \frac{T_p u_*^2}{v} \quad (27-I)$$

III-3-2) رقم شميد: يعطى بالعلاقة التالية [1]:

$$K_p = u_* S_m^{-1} \quad \text{حيث} \quad S_m = v/k_p \quad (28-I)$$

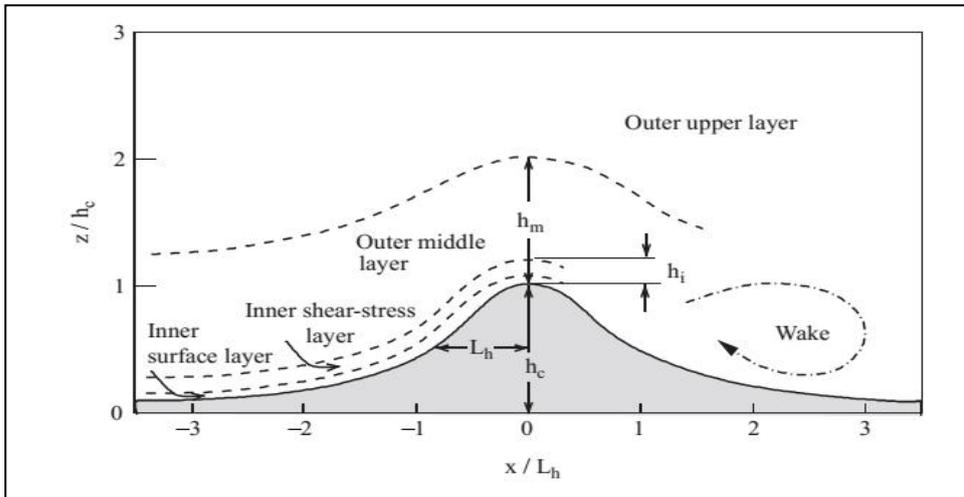
$$K_p = \frac{k_B T (1 + 2.5\lambda/d)}{3\pi\rho} \quad \text{حيث} \quad k_p \text{ يعطى بالعلاقة ستوكس انشيلين:}$$

حيث k_p ثابت بولتزمان ($1.38 * 10^{-23} \text{ gk}^{-1}$) و T درجة الحرارة و λ المتوسط الحر الارتفاع الجزئيات .

$$w_{dm} \propto \frac{kp}{\delta} \quad \text{حيث} \quad w_{dm} \sim 10^{-6} \quad \text{و} \quad s_m \sim 10^6 \quad \text{و} \quad 1\mu_m$$

من اجل حبيبات الغبار $1\mu_m$ و $s_m \sim 10^6$ و $w_{dm} \sim 10^{-6}$ حيث $w_{dm} \sim 10^{-6}$ و $s_m \sim 10^6$ و $1\mu_m$ من اجل حجوم كبيرة للحبيبات $w_d = w_t$.

IV) بنية الطبقة الحدية السطحية



الشكل (10-I): رسم تخطيطي [6] لبنية الطبقة الحدية السطحية.

وصف هوتون تدفق الهواء فوق الطبقة الحدية السطحية للغلاف الجوي على انه مزيج من تأثير كيروليس الناتج عن دوران الأرض و التأثيرات الحرارية، أما في الطبقة الحدية السطحية يصبح تأثير اللزوجة مهم، حيث يجب أن تنخفض السرعة إلى الصفر على سطح الأرض من اجل تلبية شرط عدم الانزلاق، داخل هذه الطبقة هناك طبقة فوق السطح مباشرة التي هي عبارة عن بضع عشرات المتر و بالتالي حسب نظرية الاضطراب لغلاف سطح الأرض نحصل على حساب اللوغارتمي لمتوسط السرعة u حسب العلاقة [6] التالية:

$$u = \frac{u_*}{k} \log \frac{z}{z_0} \quad (29-I)$$

1-IV حساب سرعة تدفق الهواء بالقرب من سطح الأرض:

في هذه الحالة يكون التدفق مستمر في عمق الطبقة دون وجود عائق في الجزء العلوي من هذه الطبقة فتصبح المعادلة كالتالي [6]:

$$U_d = \frac{u_*}{k} \log \frac{d}{z_0} \quad (30-I)$$

بما إننا نعرف U_d يمكننا استعمال المعادلة (30-I) لإيجاد سرعة القص وتكتب كالشكل التالي:

$$u_* = \frac{kU_d}{\log \frac{d}{z_0}} \quad (31-I)$$

إذن يمكننا حساب اللوغارتمي ل u على شكل U_d بدلا من u_* فتصبح المعادلة كالتالي:

$$u = U_d \left(1 + \frac{\log z/d}{\log d/z_0} \right) \quad (31-I)$$

عند الاضطرابات الأساسية للتدفق تصبح المعادلة من [6] الشكل التالي:

$$u = (u, w) = \left(U_d \left(1 + \frac{\log z/d}{\log d/z_0} \right), 0 \right) \quad (32-I)$$

الفصل الثاني

الكثبان الرملية و ظاهرة التصحر

(I) مقدمة

تشتمل دراسة الكثبان الرملية على عوامل كثيرة، ولكن يمكن حصرها في عاملين مهمين وهما؛ تأثير الطبقة الحدية للغلاف الجوي و خاصة بالقرب من سطح الأرض (CLS) التي تساعد في تشكيل أنماط مختلفة من الرياح و مورفولوجية سطح الأرض، التي بدورها تمثل الاستجابة المباشرة لجغرافية الأراضي خاصة الصحراوية، التي من أهمها تشكيل الكثبان الرملية، هذه الأخيرة، تتنوع و تصنف من خلال تأثير الرياح عليها.

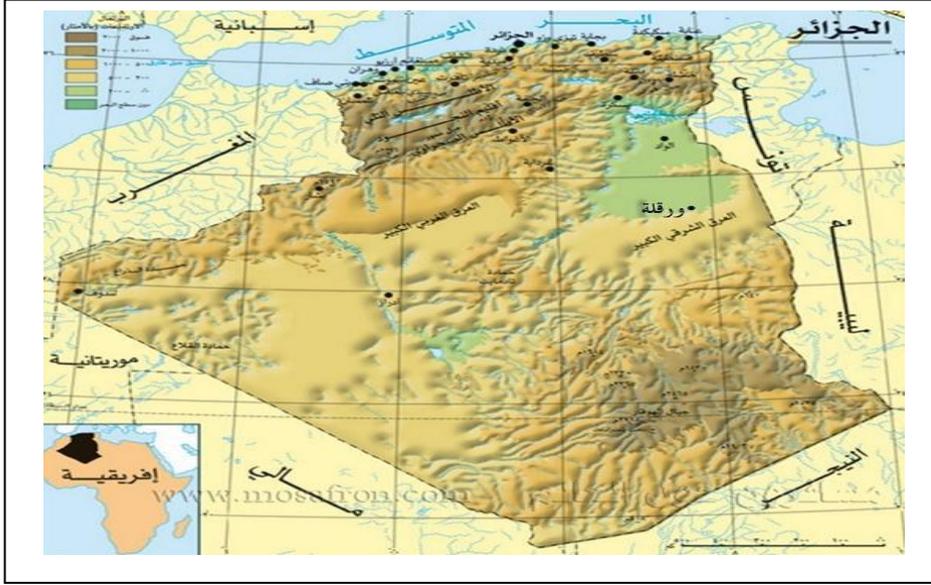
(II) الكثبان الرملية

1-11) تعريف:

يطلق لفظ كتيب على التلال الرملية التي يختلف ارتفاعها من بضعة أقدام إلى عشرات الأمتار [5]، وقد يكون العامل المساعد في بداية تكوين الكتيب تعرض الرياح لحاجز أو مانع في طريق اتجاهها، مثل تل أو شجرة أو بناء ما، تعمل على عرقلة حركة الرياح وإرغامها على إرساب حمولتها من الرمال، أما إذا تميزت الرياح بشدة سرعتها من ناحية وقدرتها على نقل كميات هائلة من الرمال ثم تتوقف فجأة، فقد تتكون كثبان رملية كبيرة الحجم يراوح ارتفاعها من 50 إلى 150 مترا، كما هو الحال في بعض أجزاء من الصحراء الكبرى في إفريقيا و صحراء كلورا دو في أمريكا الشمالية.

2-11) توزيع الكثبان الرملية في الجزائر:

تغطي الكثبان الرملية حوالي 18% من صحراء إفريقيا [5]، والتي تعتبر الجزائر أكبر دولها مساحة حيث تقدر مساحة الجزائر حوالي 2.4 مليون كيلو مترا مربعا، وتحتل الصحراء منها أكثر من أربعة أخماس المساحة الإجمالية، حيث تتوفر الصحراء الجزائرية على مخزون هائل من الرمال التي تغطي أكثر من 40% من مساحتها.

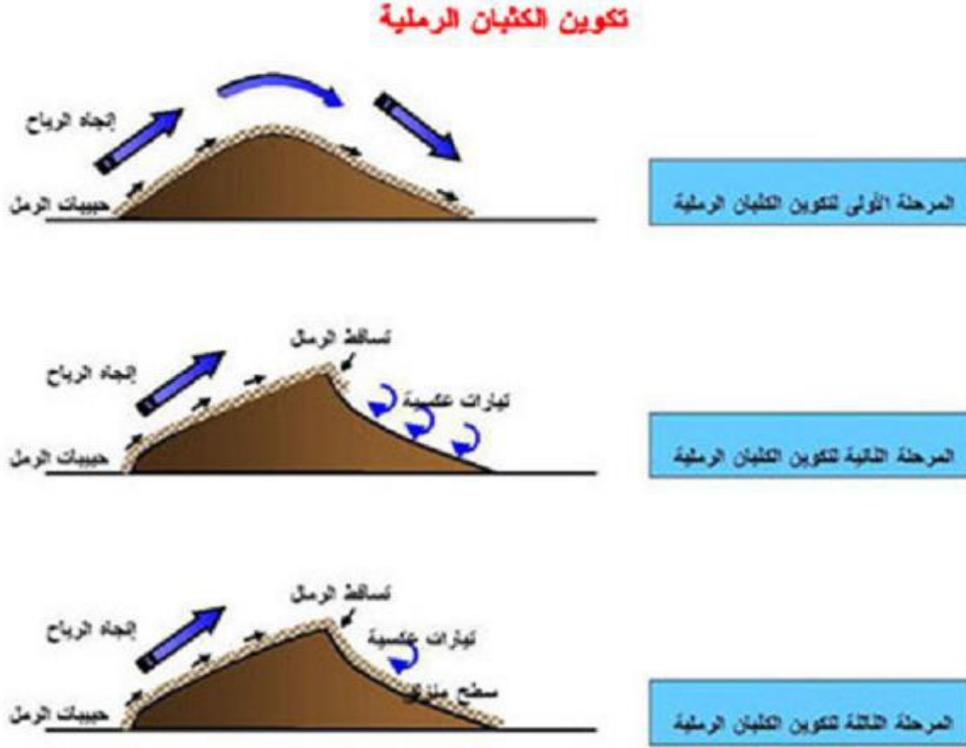


الشكل (II-1): توزيع الكثبان الرملية الصحراوية في الجزائر [8].

II-3) تكون الكثبان الرملية:

- تتكون الرمال [5] نتيجة لعوامل التعرية وهي تفاعل الصخور الصحراوية مع درجات الحرارة العالية وهبوب الرياح المتواصلة مما يؤدي إلى تفكيك الصخور وتفتتها إلى حبيبات رملية مختلفة الأحجام والأشكال، وبمر تكوّن الكثيب بالمراحل التالية:
- عندما تضعف قوة الرياح تتساقط حملتها من الرمال متجمعة فوق بعضها وتتراكم عادة على الجانب المواجه لاتجاه الرياح، وقد يتبقى بعضها في أعالي الكثيب ويتدحرج بعضها الآخر على الجانب المظاهر للرياح، وتشكل عملية تدحرج ذرات الرمال وتزحلقها بفعل الجاذبية الأرضية، وبالتالي تعمل الرياح على تسوية الجانب المواجه لهبوبها، في حين يراوح انحدار الجانب المظاهر بين 20-30 درجة، وعلى ذلك أول مراحل تكوين الكثيب تجمع الرواسب على الجانب المواجه للرياح أكثر منه فوق الجانب المظاهر لها، وبالتالي يزداد ارتفاع الكثيب تدريجياً كما يوضح الشكل (II-2).
 - وفي المرحلة الثانية، تنحدر الرمال من أعالي الكثيب بفعل الجاذبية الأرضية أسفل الجانب المظاهر لاتجاه الرياح، وتكوّن انحداراً شديداً، إذا ما قورن بدرجة انحدار السطح المواجه لاتجاه الرياح، كما يوضح الشكل (II-2).
 - وفي المرحلة الثالثة، يظهر الاختلاف واضحاً بين كل من الانحدار البسيط المواجه للرياح والانحدار الشديد المظاهر لها، إذ تتجمع الرمال على الجانب الأول وفوق أعاليه، وتنحدر تدريجياً بفعل الجاذبية على الجانب الآخر، الذي يتميز بتأثره بفعل الدوامات

الهوائية، ثم إن الرياح تساعد على تكوين فجوة عميقة في ظهر الانحدار، وبذلك يبدو الأخير على شكل مقعر، ويكتسب لنفسه ذراعين طويلين يمتدان مع اتجاه الرياح، كما يوضح الشكل التالي.



الشكل (II-2): مراحل [5] تكوين الكتبان الرملية.

4-II أنماط الكتبان الرملية:

تختلف أشكال الكتبان الرملية [5] من حيث تباين انحداراتها وأبعادها ومظهر أسطحها ونمطها العام وتباين أحجامها،

ويوجد هناك أربعة أنماط من الكتبان الرملية، كما يوضحه الشكل التالي:



الشكل (II-3): أنماط الكثبان الرملية [3].

• الكثبان الهلالية:

هي [5] كثبان رملية هلالية الشاغل يبلغ ارتفاعها 5-10م و قد يزيد في بعض الحالات عن 35م و يشير اتجاه ذراعي

الهلال للكثيب على اتجاه الرياح السائدة في المنطقة يعتبر هذا النوع أكثر خطورة و تأثيرا على البيئة و الزراعة مع صعوبتها في

التثبيت وهذا لسرعة حركتها و فقدها السريع للرطوبة بسبب الحركة الدائمة للرمال المشكلة لها.



الشكل (II-4): الكثبان الهلالية [5].

• الكثبان القوسية:

وتبدو على شكل موجات رملية متتالية، بعضها أمام بعضها الآخر، وهذه الموجات الرملية تتكون من جانبيين في اتجاهين متضادين وسميت بالكثبان القوسية لأنها تعترض حركة الرياح السائدة، وكثيرا ما تنشأ نتيجة لتلاحم الكثبان الهلالية، و الشكل التالي يوضح ذلك.



الشكل (II-5): الكثبان القوسية [7].

• الكثبان الطويلة:

تنشأ الكثبان الطويلة [5] موازية لاتجاه الرياح السائدة، وتبدأ هذه الكثبان دورة حياتها بكثبان هلالية، ثم تتحول إلى طويلة، حينما تتعرض إلى رياح جانبية تتقاطع مع الاتجاه العام للرياح الدائمة، و يبلغ ارتفاعها عدة أمتار يمكن أن يصل إلى 250 م أما طولها فقد يصل بعض الحالات إلى عدة مئات من الكيلومترات كما هو موجود في الصحراء الكبرى الشكل التالي يوضح ذلك.



الشكل (II-6): الكثبان الطويلة [5].

• الكثبان النجمية:

تشكل الكثبان النجمية حينما تأتي الرياح من عدة اتجاهات، ويتناسب عدد أذرع النجوم الرملية، وطول كل ذراع منها مع اتجاهات الرياح السائدة، و يمكن أن يصل ارتفاعها إلى عشرات الأمتار الشكل التالي يوضح ذلك.

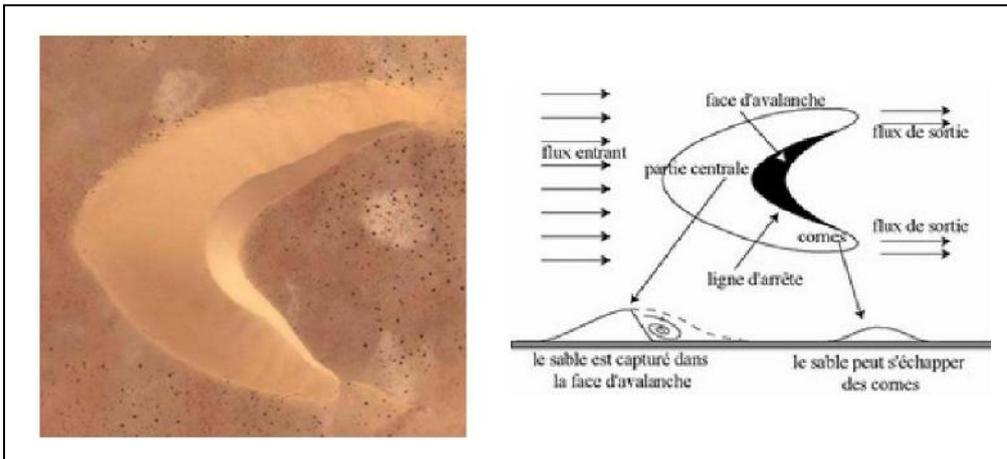


الشكل (II-7): الكثبان النجمية [5].

(III) نمط البرخان

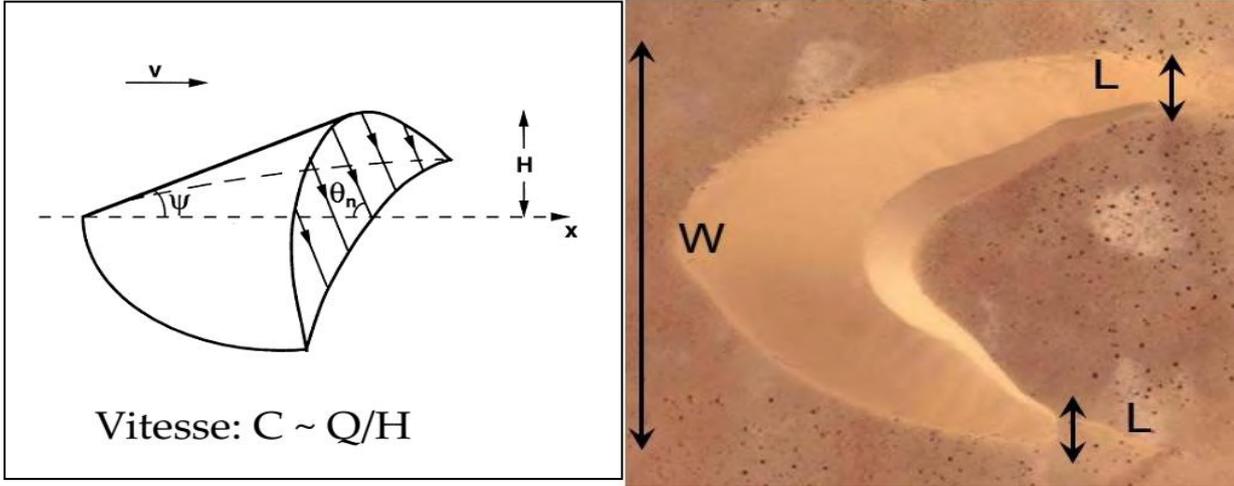
البرخان هو عبارة عن كتيب على شكل قوس يتميز بوجود طرفين الطرف المواجه للرياح و الآخر المظاهر للرياح كما

هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (II-8): يوضح نمط البرخان [3].

• الأبعاد و القياسات في نمط البرخان:



الشكل(II-9): يوضح [3] الأبعاد و القياسات لنمط برخان.

على حسب الدراسة يمكن استخراج أبعاد إضافية من خلال شكل البرخان، الهدف الرئيسي لهذه الأبعاد هو معرفة

تدفق المادة من جهة و معرفة ارتفاع سمك الطبقة الحدية للتدفق المؤثر في هذا التدفق

(IV) التصحر

(1-IV) تعريف:

التصحر هو [5] تعرض الأرض للتدهور في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الجافة، مما يؤدي إلى فقدان

الحياة النباتية والتنوع الحيوي بها، ويؤدي ذلك إلى فقدان التربة الفوقية ثم فقدان قدرة الأرض على الإنتاج الزراعي ودعم الحياة

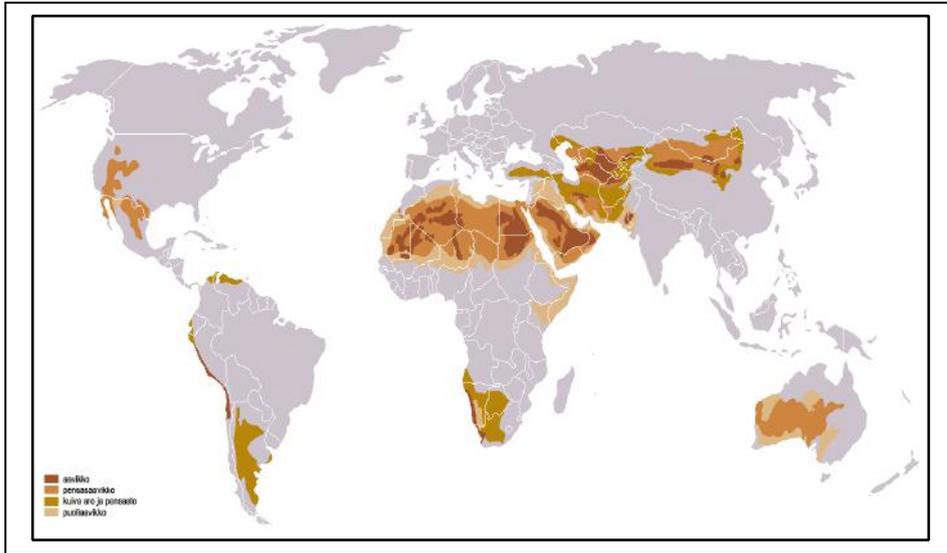
الحيوانية والبشرية. ويؤثر التصحر تأثيراً مفرجاً على الحالة الاقتصادية للبلاد، حيث يؤدي إلى خسارة كبيرة سنوياً في المحاصيل

الزراعية وزيادة أسعارها.

2-IV) الصحاري في العالم:

تشكل الرمال و الصخور الرملية في ظروف مختلفة و بفعل عوامل متباينة، و تتواجد في البيئات الترسيبية كافة، القارية و البحرية و المختلطة بمواصفات تعكس خصائص هذه البيئات[5].

تغطي الرمال القارية حوالي 30% تقريبا من الغطاء الرسوبي للقشرة الأرضية، فيما تتموضع الرمال القارية ذات البيئة الترسيبية الصحراوية (الكثبان الرملية) بمعدلات مختلفة في العالم، كما تغطي الكثبان الرملية حوالي 18% من صحراء إفريقيا، والتي تعتبر الجزائر أكبر دولها مساحة.



الشكل (II-10): توزيع الصحاري [5] في العالم.

3-IV) الخصائص الجوية للصحراء:

تعد الخصائص المناخية احد أهم العوامل المسببة للتصحر من خلال التغيرات التي رافقت عناصر المناخ المختلفة، كارتفاع الإشعاع الشمسي و درجات الحرارة و زيادات قيم التبخر و قلة الأمطار و تذبذبها و زيادة سرعة الرياح و اتجاهاتها، و يرافق ذلك من ظواهر طقسية و مناخية كالعواصف الغبارية و الغبار المتصاعد و العالق و التي تتفاعل مع العوامل البشرية في توسع المناطق المتصحرة و تأثيراتها. و قد أثبتت الدراسات العلمية في هذا الجانب لبظواهر التصحر قد ارتبطت بالتغيرات المناخية التي تعرضت لها الكرة الأرضية إذ تعرضت الأرض إلى فترات جافة وفق التغيرات المناخية.

يقصد بالتغيرات المناخية هنا التغيرات التي حصلت خلال فترات زمنية متعاقبة سواء التي حصلت خلال العصور الجيولوجية القديمة و التي أدت إلى ظهور و تشكل الصحاري التي غطت مساحات واسعة كما في الصحراء الإفريقية الكبرى و صحاري شبه الجزيرة العربية.

وتعد الخصائص المناخية من أكثر العوامل الطبيعية المؤثرة في بروز هذه الظاهرة ، و تشير الخصائص المناخية إلى الخصائص المناخ الجاف و شبه الجاف.

4-IV) تكون الصحاري:

تشكل الصحاري بفعل العوامل الجوية حيث أن الاختلافات الكبيرة بدرجات الحرارة بين النهار والليل تؤدي إلى تكسر الصخور إلى قطع. وعلى الرغم من ندرة المطر، تحدث أمطار غزيرة في أوقات نادرة مؤدية لفيضانات مفاجئة [5]. وسقوط المطر على الصخور الساخنة يمكن أن يتسبب بتحطيم وتآكل إلى شظايا متناثرة على الأرض وتعرض هذه الشظايا لتفتت أكثر بفعل الرياح. وتأخذ الرياح جزيئات الرمل المتفتتة في الرمال أو العواصف الترابية. فتكشط السطوح الصلبة في البيئة بحبيبات الرمل. فتتعمم الصخور وتحول الرياح حبيبات الرمل لأشكال متجانسة فتزلفها كطبقات على الأرض أو تكدها مكونة كتباناً رملية. وفي صحاري أخرى يكون سطحها مستويًا خاليًا من الرمال ومتكونا من طبقة صخور ملساء، وتعرف هذه المناطق بالأرصفة الصحراوية (desert pavements)، وقد توجد في بعض الصحاري التواءات الصخرية، وتوجد في أحيانٍ صخور غريبة الأشكال نتيجة لنحت الرياح التي عصفت بها فتكون على شكل الفطر أو أشياء أخرى.

قد تتكون بحيرات مؤقتة في الصحراء وبعدها تجف كاملاً أو تتحول لسبخات. وقد توجد مصادر للمياه الجوفية في الصحراء بشكل ينابيع أو نضوح من طبقات المياه الجوفية. ومنها تتكون الواحات.

الفصل الثالث:

نمذجة ظاهرة التصحر باستغلال معطيات ميدانية لكثبان

رملية من صنف *Barchan*

(I) مقدمة

في هذا الفصل حاولنا إجراء دراسة محاكاة لظاهرة التصحر من خلال معرفة سرعة واتجاه تحرك الكثبان الرملية، و ذلك بأخذ معطيات ميدانية للكثبان الرملية لولاية ورقلة و بالتحديد لمنطقة الطيبات و بعد تطبيق الدراسة على نوع واحد (Barchen) في ثلاث مناطق مختلفة للدراسة، استعملنا هذه النتائج من اجل إعطاء نموذج رياضي لحركة الرمال، و التي سوف نتطرق إليها في هذا الفصل بالتفصيل.

1-1) نبذة عن منطقة الدراسة:

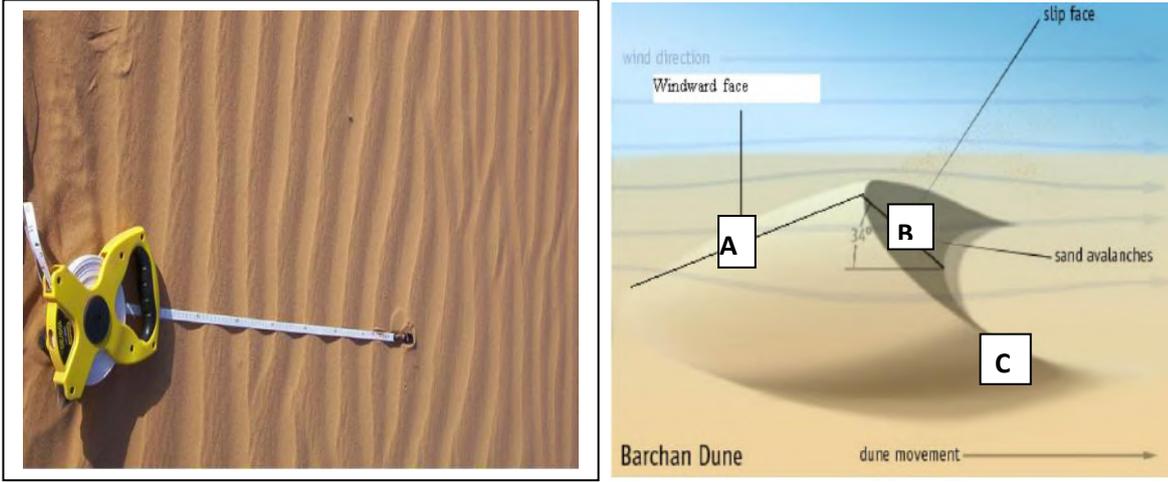
أجرينا هذه الدراسة في دائرة الطيبات و بضبط في المناطق التالية (بن ناصر- الدليلي- الطيبات)، وهي إحدى دوائر ولاية ورقلة تقع في الشمال الشرقي من الولاية على حدود مع ولاية الوادي، تتميز كثبانها باللون الأصفر والأبيض و تصنف تحت نوع الكثبان الهلالية (برخان) كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (III-1): صورة توضح نوع برخان في منطقة الدليلي.

(II) المعطيات الميدانية:

قمنا في عملنا التجريبي هذا بقياس الأطوال a و b و c لكثيب رملي مميز حيث هذا الأخير يكون من نوع برخان ثم نقوم بتعين قطعة α (1متر) من الطول a ، ثم نقوم بحساب الخطوط الموجودة فيها و ذلك لمدة شهر مع تصوير الكثيب و القطعة α ، حيث نقوم بهذه العملية في كل أسبوع مرة لملاحظة الاختلاف الموجود، و الشكل التالي يوضح طريقة القياس.



الشكل (III-2): يوضح طريقة القياس [3].

وفي الأخير صنفنا هذه المعطيات في الجداول التالية:

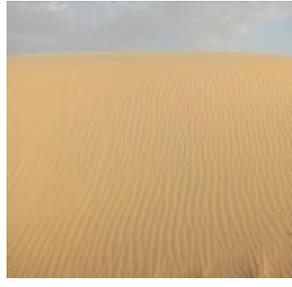
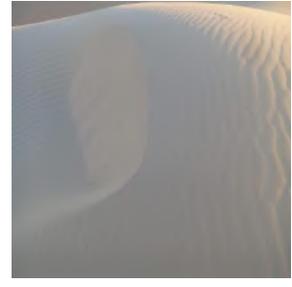
(1-II) الصور الميدانية المأخوذة من ثلاث مناطق من منطقة ورقلة

اليوم	صورة Barckan	A	B	C	صورة القطعة I (m)	α
-03-11 2017		m4	m3.8	m11.5		11خط
-03-18 2017		m5.35	m5.2	m13		14 خط
-03-25 2017		m6.5	6.70 m	11.70 m		12 خط
-04-1 2017		m5	m6.5	m13		11خط

الجدول(III-1): يوضح الصور المأخوذة من منطقة بن ناصر خلال شهر مارس 2017.

اليوم	صورة Barckan	A	B	C	صورة القطعة 1 (m)	α.
-03-17 2017		m3.42	m4	m11.2		خط 12
-03-24 2017		m5	m6	m11		خط 8
-03-31 2017		m4	m5	m12.5		خط 16
-04-7 2017		m5	m4.50	m11.5		خط 11

الجدول (III-2) يوضح الصور المأخوذة من منطقة الدليلعي خلال شهر مارس 2017.

اليوم	صورة Barckan	A	B	C	صورة القطعة 1(m)	α.
-16 -03 2017		m7	m9.5	m13		خط 14
-26 -03 2017		m8.5	m9.30	m12.5		خط 16
-04-2 2017		m8	m9.40	m12		خط 15
-04-9 2017		m7	m9.36	m13		خط 18

الجدول (III-3): يوضح الصور المأخوذة من منطقة الطيبات خلال شهر مارس 2017.

2-II) تغيرات سرعة و اتجاه الرياح

من اجل الدراسة نحتاج إلى معطيات متعلقة بسرعة و اتجاه الرياح في المناطق الثلاث، لهذا الغرض قمنا بأخذ المعطيات المسجلة خلال شهر كامل، حيث اعتبرنا القيمة المتوسطة في تسجيل سرعة واتجاه الرياح ضمن المنطقة الجغرافية الكلية لمنطقة ورقلة كتسجيل متجانس لكامل المنطقة، حيث يمثل اللون الأصفر في الجدول التسجيلات لمنطقة بن ناصر و للون الأزرق لمنطقة الطيبات و للون الأحمر لمنطقة الدليليحي .

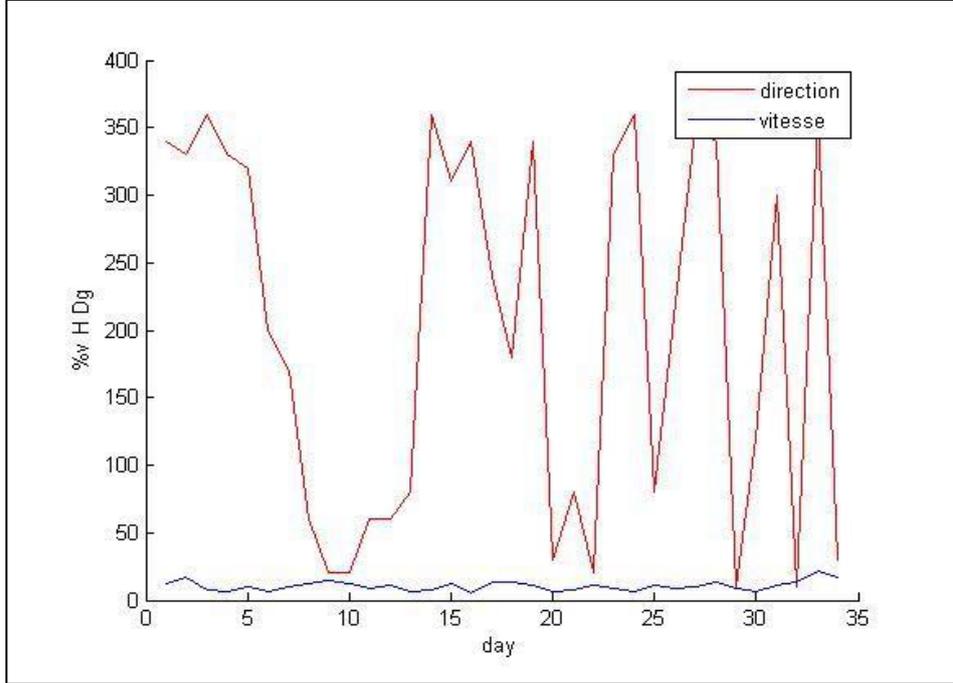
يظهر الجدول الاتجاه السائد (الشمالي الغربي) حيث يعرف بالدرجات من (270-360) و هذا ما نلاحظه في

الجدول، بالإضافة إلى الاستقرار النسبي لسرعة الرياح خلال هذا الشهر، حيث أقصى سرعة هي 22 m/s و أدنى قيمة هي 5 m/s خلال الحسابات في النموذج المقترح أخذنا قيمة متوسطة للرياح تقدر بـ : 13 m/s . الجدول أدناه يوضح التفاصيل.

اليوم	اتجاه الرياح	سرعة الرياح m/s	الطول A	الطول B	الطول C	عدد الخطوط α
07	340	12				
08	330	17				
09	360	08				
10	330	06				
11	320	10	4	3,8	11,5	11
12	200	07				
13	170	10				
14	060	12				
15	020	15				
16	020	12	7	9,3	13	14
17	060	09	3,42	4	11,2	12
18	060	11	5,35	5,2	13	14
19	080	07				
20	360	08				
21	310	12				
22	340	05				
23	240	14				
24	180	13	5	6	11	8
25	340	11	6,5	6,7	11,7	12
26	030	07	8,5	9,4	12,5	16
27	080	08				
28	020	11				
29	330	09				
30	360	06				
31	080	11	4	5	12,5	16
01	220	09				
02	350	10	8	9,4	12	15
03	340	13				
04	010	09	5	6,5	13	11
05	120	06				
06	300	11				
07	010	13	5	4,5	11,5	11
08	360	22				
09	030	17	7	9,36	13	18

الجدول(III-4): يوضح تغيرات سرعة و اتجاه الرياح من (07مارس - 10 افريل) 2017.

3-II رسم منحنيات تغيرات سرعة و اتجاه الرياح:

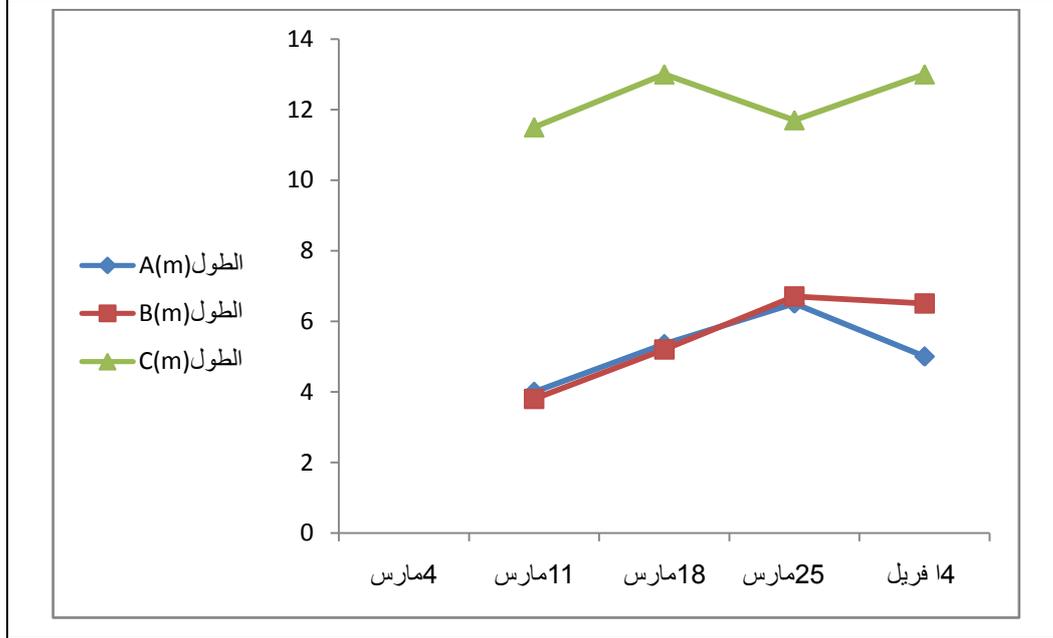


الشكل(III-3): يمثل تغيرات سرعة و اتجاه الرياح من (7مارس - 9 افريل) 2017.

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن اتجاه الرياح السائد في الأسبوع الأول من (7مارس - 15مارس)، شمالية غربية، حيث تتراوح سرعتها ما بين (6-12 m/s). في الأسبوع الثاني من (15مارس - 21مارس) يكون اتجاه الرياح شمالية شرقية و السرعة (7-15 m/s)، أما في الأسبوع الثالث من (21مارس - 28مارس) تعود الرياح إلى الاتجاه الشمالي الغربي بسرعة تقدر : (5-13 m/s). بالنسبة للأسبوع الرابع من (1 افريل - 8 افريل) يبقى الاتجاه السائد نفسه مع تذبذب واضح في السرعة يقدر بـ : (6-22 m/s).

III رسم المخططات المتعلقة بالمعطيات الميدانية لمنطقة ورقلة:

III-1 رسم مخططات لمنطقة بن ناصر:



الشكل III-4: يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (4-مارس-4-أفريل) 2017.

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن الطول A و الطول B في الأسبوع الأول من (4-مارس-11-مارس)

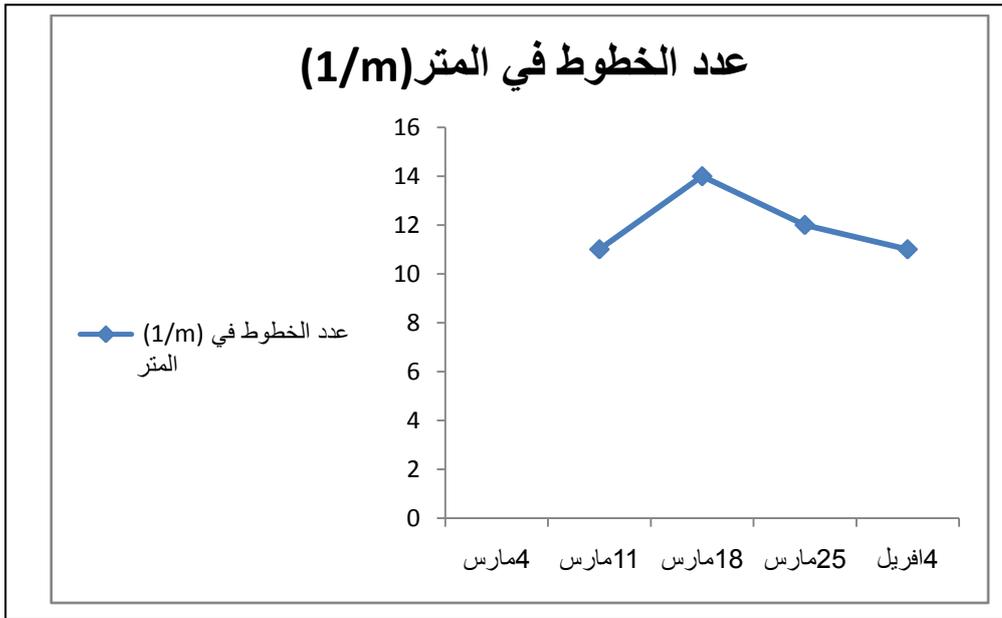
يصل إلى 4 متر ثم يزدادان زيادة طفيفة في الأسبوع الثاني و الثالث من (11-مارس-25-مارس) إلى أن يصل إلى 6.8 متر، ثم

يتناقصان في الأسبوع الرابع (25-مارس-4-أفريل) حيث الطول A يصل إلى 5 متر و الطول B يصل إلى 6 متر، أما الطول C

الأسبوع الأول من (4-مارس-11-مارس) يكون عند القيمة 11 متر ثم يزداد في الأسبوع الثاني من (11-مارس-18-مارس) يصل

إلى 13 متر ويتناقص في الأسبوع الثالث من (18-مارس-25-مارس) ويصل إلى 11.8 متر، ثم يزداد في الأسبوع الرابع

(25-مارس-4-أفريل) إلى أن يصل إلى 13 متر.



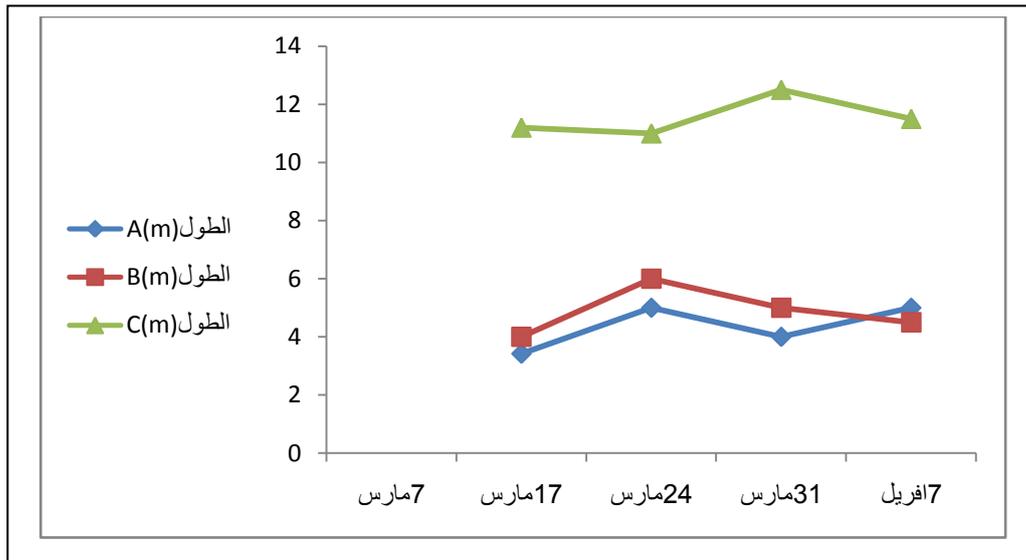
الشكل (III-5): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (4 مارس-4 أبريل) 2017.

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن عدد الخطوط في الأسبوع الأول من (4 مارس-11 مارس) يكون

11 خط في المتر و يزداد في الأسبوع الثاني (11 مارس-18 مارس) فيصل إلى 14 خط ثم يتناقص في الأسبوع الثالث

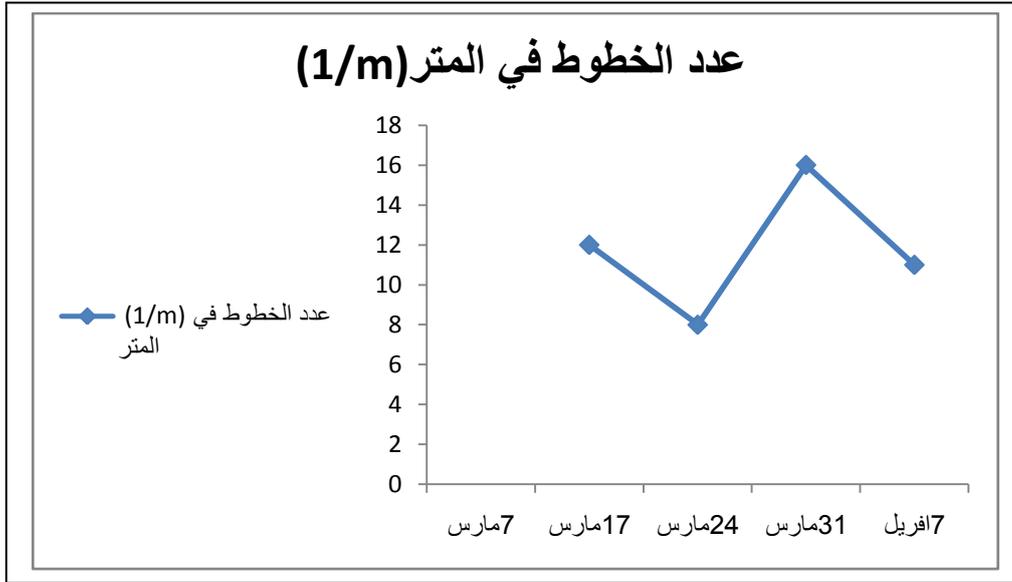
(18 مارس- 25 مارس) و يصل إلى 12 خط و في الأسبوع الرابع (25 مارس-4 أبريل) و يصل إلى 11 خط.

III-2) رسم مخططات لمنطقة الدائليعي:



الشكل (III-6): يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (7 مارس-7 أبريل) 2017.

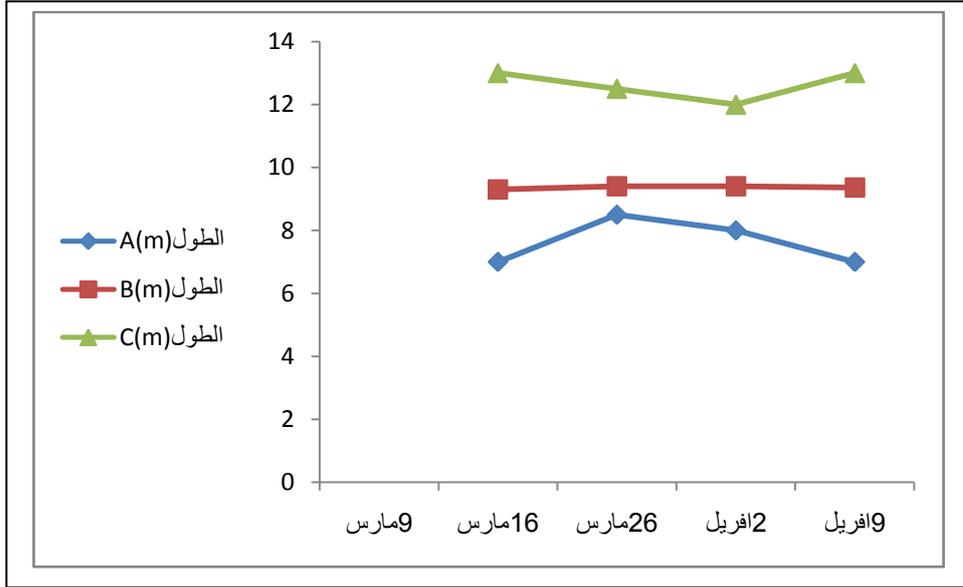
تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن الطول A و الطول B و الطول C في الأسبوع الأول من (7 مارس-17 مارس) الطول A و B يصل إلى 4 متر و الطول C يصل إلى 11.5 متر و في الأسبوع الثاني من (17 مارس-24 مارس) الطول A يزداد إلى 5 متر و الطول B يزداد إلى 6 متر و الطول C ينقص إلى 11 متر و في الأسبوع الثالث (24 مارس-31 مارس) الطول A ينقص الطول A إلى 4 متر و الطول B ينقص إلى 5 متر و الطول C يزداد إلى 12 متر و في الأسبوع الرابع يزداد الطول A إلى 5 متر و B ينقص إلى 5 متر و C ينقص إلى 11.5 متر.



الشكل (III-7): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (7 مارس-7 افريل) 2017.

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن عدد الخطوط في الأسبوع الأول من (7 مارس-17 مارس) يكون 13 خط في المتر و يتناقص في الأسبوع الثاني من (17 مارس-24 مارس) فيصل إلى 8 خط ثم يتزايد في الأسبوع الثالث (24 مارس-31 مارس) و يصل إلى 16 خط وينقص في الأسبوع الرابع من (31 مارس-7 افريل) و يصل إلى 11 خط.

III-3 (رسم مخططات منطقة الطيبات:



الشكل (III-8): يمثل تغيرات في الأطوال A.B.C بدلالة الأيام في الفترة من (9 مارس-9 أبريل) 2017.

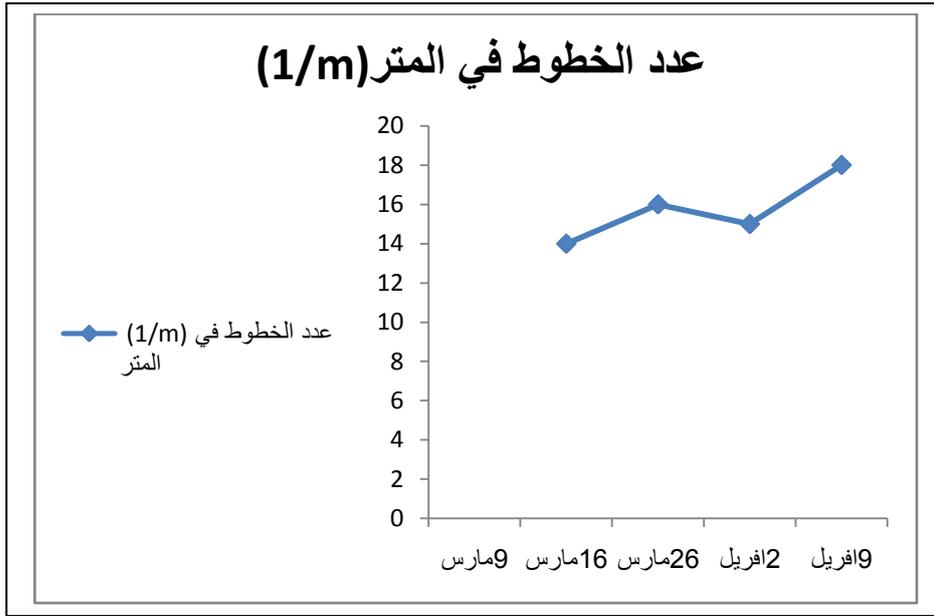
تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن الطول A و الطول B و الطول C في الأسبوع الأول من (9 مارس-

16 مارس) الطول A يصل إلى 7 متر و B يصل إلى 9 متر و الطول C يصل إلى 13 متر و في الأسبوع الثاني من

(16 مارس-26 مارس) الطول A يزداد إلى 8.5 متر و الطول B يزداد إلى 9.5 متر و الطول C ينقص إلى 12.5 متر و في

الأسبوع الثالث (26 مارس-2 أبريل) ينقص الطول A إلى 8 متر و الطول B يبقى تقريبا ثابت و الطول C ينقص إلى 12

متر و في الأسبوع الرابع (2 أبريل-9 أبريل) ينقص الطول A إلى 7 متر و B يبقى تقريبا ثابت و C يزداد إلى 13 متر.



الشكل (III-9): يمثل تغيرات في عدد الخطوط في المتر (α) بدلالة الأيام في الفترة من (9 مارس-9 أبريل) 2017.

تحليل المنحني: نلاحظ من خلال المنحني أن عدد الخطوط في الأسبوع الأول من (9 مارس-16 مارس) يكون 14

خط في المتر و يزداد في الأسبوع الثاني من (16 مارس-26 مارس) فيصل إلى 16 خط ثم يتناقص في الأسبوع الثالث

(26 مارس- 2 أبريل) و يصل إلى 15 خط ويزداد في الأسبوع الرابع من (2 أبريل-9 أبريل) و يصل إلى 18 خط.

(IV) تحليل المخططات

لتحليل المخططات السابقة و اخذ فكرة عن العلاقة بين كل هذه المتغيرات (سرعة الرياح، اتجاه الرياح، الأطوال A,

α , B, C,)، و رسم المنحنيات بواسطة برنامج (MATLQB) وبلاستناد على العلاقة (I-31).

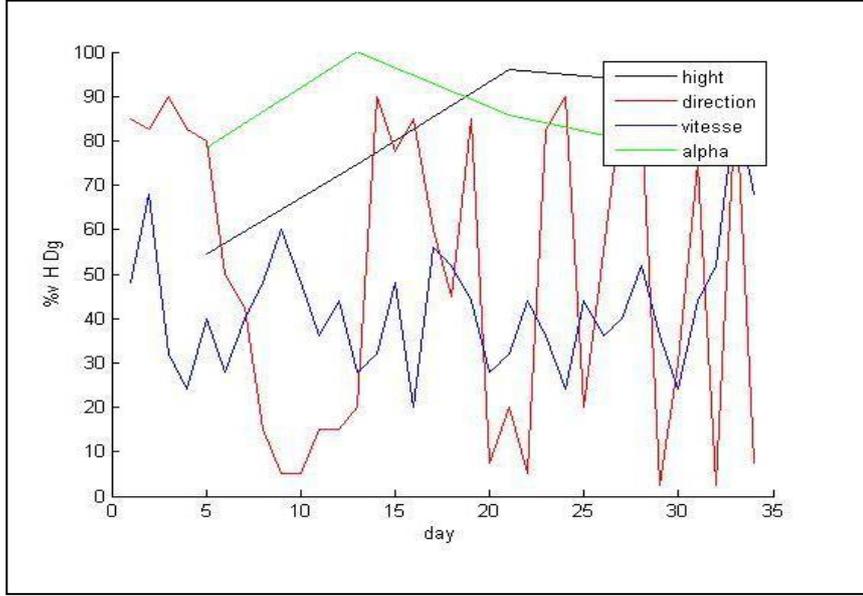
$$h = b * \sin (35^\circ) \quad (1 - III) \quad \text{حيث:}$$

قمنا بحساب تقريبي لارتفاع الكثيب الرملي، حيث قمنا برسم المنحنيات الموافقة للمتغيرات المطلوبة و اخذ النسب

المقوية للمتغيرات من أجل الحصول على فكرة أعم لتوضيح الارتباط بين متغيرات السرعة و مرفولوجية الكثيب الرملي ، و ذلك

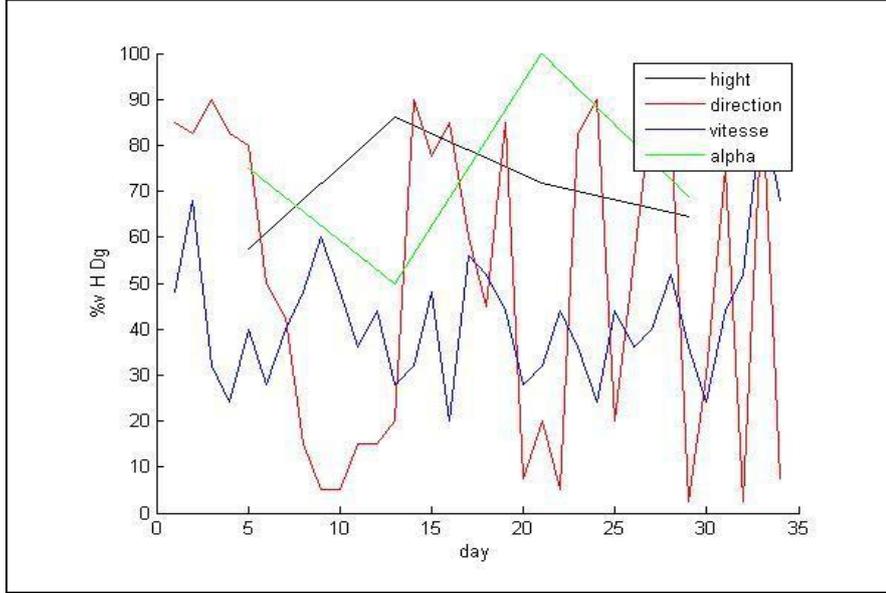
بالاعتماد أساسا على ارتفاع الكثيب. الأشكال التالية (III-10)(III-11)(III-12) توضح تعلق الارتفاع بالسرعة و

الاتجاه.



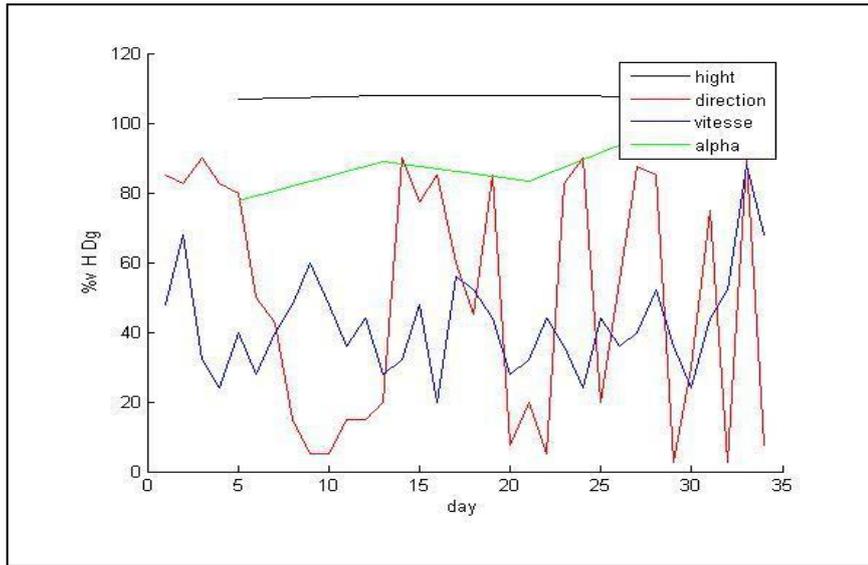
الشكل (III-10): تغيرات الارتفاع h، عدد الخطوط للكثيب الرملي، سرعة واتجاه الرياح بدلالة الزمن لمنطقة بن ناصر .

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن في الأسبوع الأول يزداد كل من ارتفاع الكثيب و عدد الخطوط حيث تكون سرعة الرياح ما بين (6-12 m/s) والاتجاه السائد شمالي غربي، و في الأسبوع الثاني كذلك يبقى في زيادة مستمرة لكل من الارتفاع و عدد الخطوط حيث يكون اتجاه الرياح شمالية شرقية و السرعة (7-15 m/s) ، أما في الأسبوع الثالث عدد الخطوط يبقى في زيادة مستمرة أما الارتفاع يتناقص حيث تعود الرياح إلى الاتجاه الشمالي الغربي بسرعة تقدر (5-13 m/s) ، و في الأسبوع الرابع يثبت كل من الارتفاع و عدد الخطوط حيث يبقى الاتجاه السائد نفسه مع تذبذب واضح في السرعة يقدر بـ : (6-22 m/s).



الشكل(III-11): تغيرات الارتفاع h، عدد الخطوط للكثيب الرملي، سرعة و اتجاه الرياح بدلالة الزمن لمنطقة الدليلعي .

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن في الأسبوع الأول يزداد ارتفاع الكثيب وينقص عدد الخطوط حيث تكون سرعة الرياح ما بين (6-12 m/s) والاتجاه السائد شمالي غربي، و في الأسبوع الثاني عكس ذلك حيث الارتفاع ينقص و عدد الخطوط يزداد أما اتجاه الرياح شمالية شرقية و السرعة تقدر (7-15 m/s) ، أما في الأسبوع الثالث عدد الخطوط يبقى في زيادة مستمرة أما الارتفاع يتناقص حيث تعود الرياح إلى الاتجاه الشمالي الغربي بسرعة تقدر (5-13 m/s) ، و في الأسبوع الرابع يتناقص مستمر كل من الارتفاع و عدد الخطوط حيث يبقى الاتجاه السائد نفسه مع تذبذب واضح في السرعة يقدر بـ : (6-22 m/s) .



الشكل(III-12): مقارنة منحنيات تغيرات الارتفاع h ، عدد الخطوط للكثيب الرملي، سرعة و اتجاه الرياح بدلالة الزمن لمنطقة الطيبات.

تحليل المنحنى: نلاحظ من خلال المنحنى أن في الأسبوع الأول مع زيادة طفيفة لعدد الخطوط حيث تكون سرعة الرياح ما بين (6-12 m/s) والاتجاه السائد شمالي غربي، و في الأسبوع الثاني تنقص عدد الخطوط بنقصان طفيف حيث يكون اتجاه الرياح شمالية شرقية و السرعة (7-15 m/s) ، أما في الأسبوع الثالث تزداد كذلك بزيادة طفيفة حيث تعود الرياح إلى الاتجاه الشمالي الغربي بسرعة تقدر (5-13 m/s) ، و في الأسبوع الرابع تبقى عدد الخطوط في زيادة ثابتة حيث يبقى الاتجاه السائد نفسه مع تذبذب واضح في السرعة يقدر ب : (6-22 m/s)، أما بالنسبة للارتفاع يبقى ثابت في الأسابيع الأربعة

1-IV) النموذج الرياضي:

بالاعتماد على المعادلة (I-31) يمكننا تتبع تغير الارتفاع h وذلك بوضع الفرضيات التالية:

1- السرعة u هي متوسط السرعات v .

2- Z_0 ثابت خشونة السطح لل (CLS)، اخذ بالقيمة =0.03.

3- $Z = \Delta h$ و d هو الارتفاع الأدنى ل h .

4- إهمال فعل الرطوبة، وافترض الكثيب معزول عن المحيط المجاور.

$$u = U_d \left(1 + \frac{\log z/d}{\log d/z_0} \right)$$

$$\frac{z}{d} = \left(\log \frac{d}{z_0} \right) \left(e^{\left(\frac{u}{U_d} - 1 \right)} \right) \quad (2-III)$$

ومن جهة أخرى يعطى تدفق حبيبات الرمل ب:

$$\frac{\Delta h}{d} = \left(\log \frac{d}{z_0} \right) \left(e^{\left(\frac{u}{U_d} - 1 \right)} \right) \quad (3-III)$$

$$\Delta h \propto f(u)$$

$$\begin{cases} u_y = |u * \sin(\alpha)| \\ u_x = |u * \cos(\alpha)| \end{cases} \quad (4-III)$$

حيث: X هو الاتجاه الشمالي، Y هو الاتجاه الغربي.

حسب هذه المعطيات والعلاقات التالية يوضح الجدول التالي هذه النتائج الآتية:

اليوم	اتجاه الرياح	سرعة الرياح m/s	Uy	Ux
07	340	12	4	11
08	330	17	9	15
09	360	08	0	8
10	330	06	3	5
11	320	10	6	8
12	200	07	2	7
13	170	10	2	10
14	060	12	10	6
15	020	15	5	14
16	020	12	4	11
17	060	09	08	5
18	060	11	10	6
19	080	07	7	1
20	360	08	0	8
21	310	12	9	8
22	340	05	2	5
23	240	14	12	7
24	180	13	0	13
25	340	11	4	10
26	030	07	3	6
27	080	08	8	1
28	020	11	4	10
29	330	09	5	8
30	360	06	0	6
31	080	11	11	2
01	220	09	6	7
02	350	10	2	10
03	340	13	4	12
04	010	09	2	9
05	120	06	5	3
06	300	11	10	5
07	010	13	2	13
08	360	22	0	22
09	030	17	8	15

الجدول (5-III): يوضح تغيرات سرعة و اتجاه الرياح و Uy و Ux من (07مارس- 10أفريل) 2017.

ومن جهة أخرى لدينا:

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} = v_d \frac{\partial h}{\partial x} \\ \frac{\partial x}{\partial t} = v_d \end{cases} \quad (5-III)$$

$$x = \int v_d dt \quad \text{ومنه}$$

تأخذ قيم v_d من الجدول أعلاه:

$$\begin{cases} v_{dx} = u_x \\ v_{dy} = u_y \end{cases} \quad (6-III)$$

لإيجاد استقطاب للدالة $f(u)$ يمكن اخذ أربعة قيم باعتبار متوسط كل أسبوع وهذا لان وكما ذكر سابقا التناسب يكون وفق

$$u_*^3$$

1-1-IV) قيم متوسطات الأسابيع الأربعة:

يظهر الجدول أدناه نتائج متوسطات الفترة المدروسة

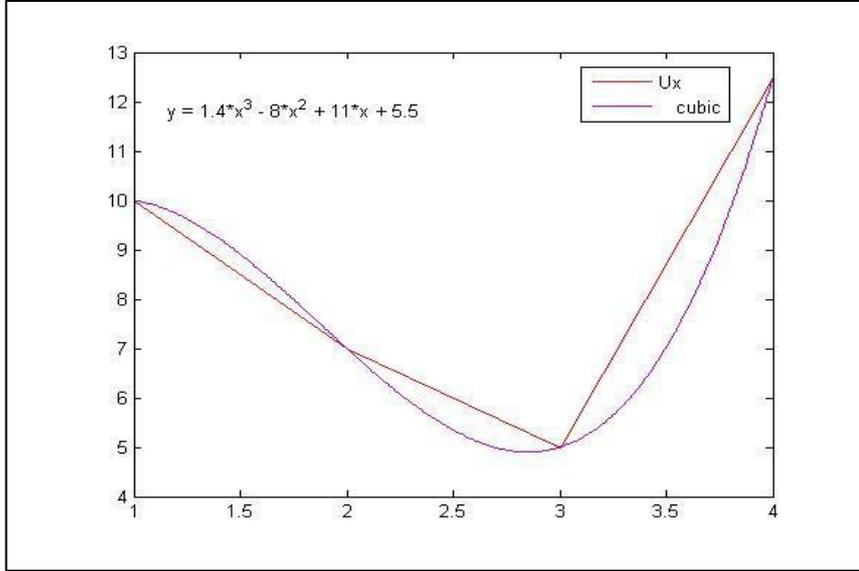
12.5	5	7	10	U_x
5	5.5	6	5	U_y
156.25	25	49	100	U_x^2
25	30.25	36	25	U_y^2

جدول (6-III): قيم متوسطات الأسابيع الأربعة المدروسة.

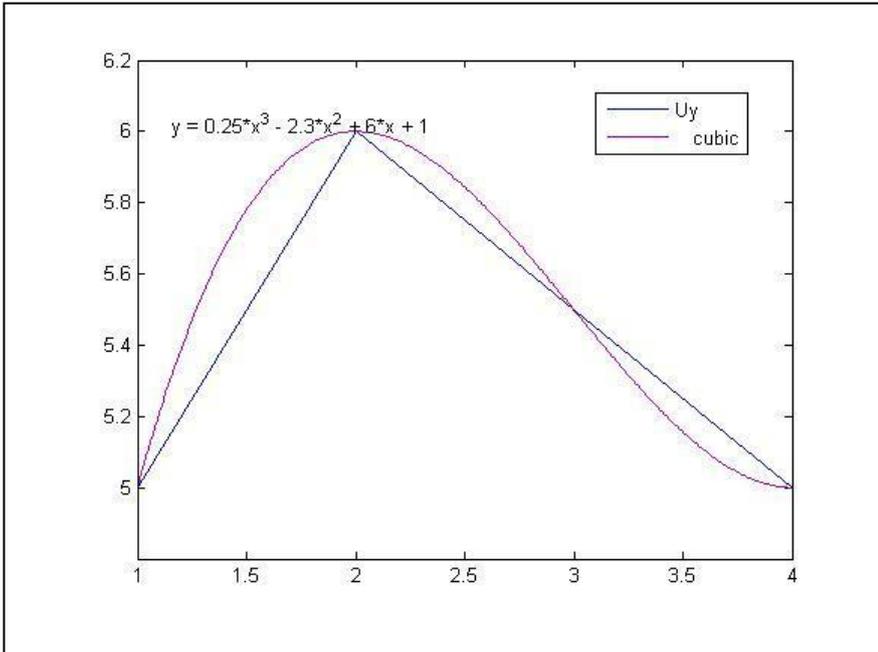
يأجراء الاستقطاب باستعمال البرمجة الآلية نحصل على النتائج التالية:

2-IV) النتائج المتحصل عليها:

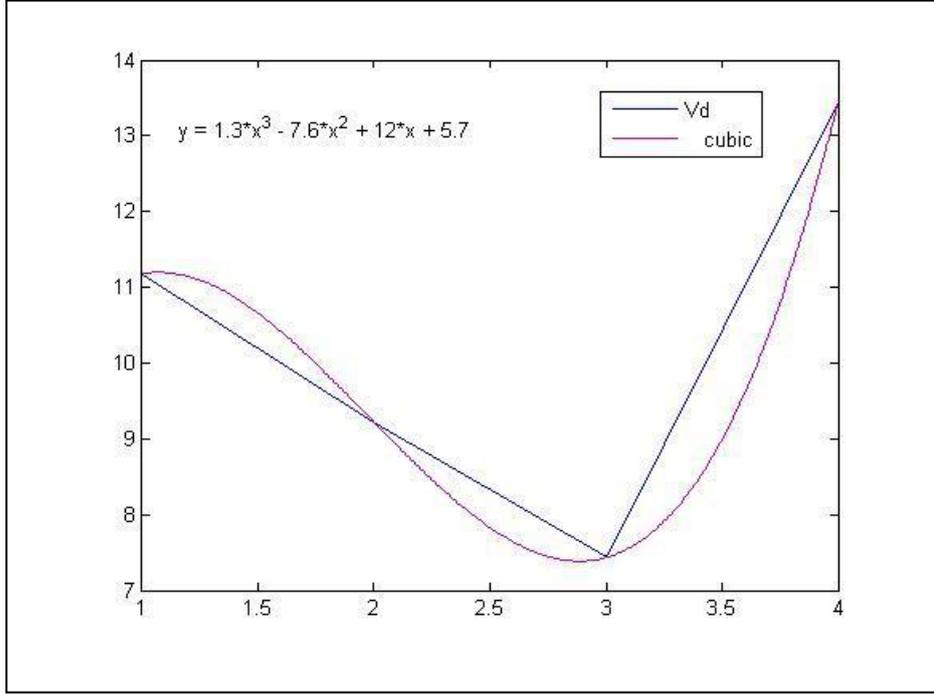
من خلال إجراء الاستقطاب المستعمل للبرمجة الآلية تحصلنا على النتائج (Ux) و(Uy) و(Vd) الموضحة في المنحنيات الآتية:



الشكل (III-13): تغيرات سرعة الكثيب الرملية في الاتجاه الشمالي (U_x).



الشكل (III-14): تغيرات سرعة الكثيب الرملية في الاتجاه الغربي (U_y).



الشكل (III-15): تغيرات سرعة الكتيب الرملي (Vd) .

وبعد إجراء التكاملات نحصل على النتائج التالية:

بالنسبة للاتجاه OX:

$$f_x(t) = 1.4t^3 - 8t^2 + 11t + 5.5 \quad (7-III)$$

$$\int f_x(t) dt = \int (1.4t^3 - 8t^2 + 11t + 5.5) dt$$

$$F_X(t) = \frac{1.4}{4}t^4 - \frac{8}{3}t^3 + \frac{11}{2}t^2 + 5.5t$$

بالنسبة للاتجاه OY:

$$f_y(t) = 0.25t^3 - 2.3t^2 + 6t \quad (8-III)$$

$$\int f_y(t) dt = \int (0.25t^3 - 2.3t^2 + 6t + 1) dt$$

$$F_y(t) = \frac{0.25}{4}t^4 - \frac{2.3}{3}t^3 + \frac{6}{2}t^2 + 1t$$

أما بالنسبة للاتجاه الموافق للرياح V_d :

$$f_{V_d}(t) = 1.3t^3 - 7.6t^2 + 12t + 5.7 \quad (9-III)$$

$$\int f_{V_d}(t) dt = \int (1.3t^3 - 7.6t^2 + 12t + 5.7) dt$$

$$F_{V_d}(t) = \frac{1.3}{4}t^4 - \frac{7.6}{3}t^3 + \frac{12}{2}t^2 + 5.7t$$

$$V_d = \sqrt{(U_x)^2 + (U_y)^2} \quad \text{حيث:}$$

بعد التطبيق العددي و الأخذ بعين الاعتبار مدة أربع أسابيع حصلنا على مايلي:

$$\begin{cases} F_x = 28.49 \text{ m} \\ F_y = 18.94 \text{ m} \\ F_{V_d} = 39.98 \text{ m} \end{cases}$$

3-IV مناقشة النتائج:

من خلال النتائج المتحصل عليها وجدنا أن حركة الكثيب الرملي في الاتجاه X أكبر من الاتجاه Y، حيث يمثل هذا الاتجاه اتجاه الرياح الشمالية، على الرغم من أن الاتجاه الشمالي الغربي هو الاتجاه السائد. ولكن من الناحية النظرية ومن خلال هذه القيم التقريبية و بإجراء المقارنة بدراسات سابقة [1] نجد أن الاتجاه الأقرب والمناسب هو الاتجاه Y. نلاحظ من خلال هذه الدراسة كذلك، أن القيم المتحصل عليها قيم نسبية وبعيدة نوعا ما عن القيم النظرية، هذا يعود إلى عدة عوامل مؤثرة مهمة لم تؤخذ بعين الاعتبار، من أهمها:

- تأثير الرياح في الشهر المدروس؛ يعتبر شهر مارس من أنشط الأشهر من ناحية التغيرات الجوية، بالإضافة إلى كثرة الرياح هبوبا نجد شدة الرياح خلال هذا الشهر.
- تأثير الكثبان الرملية الأخرى (المجاورة) على الكثيب المدروس؛ على الرغم من أن العلاقات الرياضية طبقت على الكثيب المعزول إلا أن تدخل و فعل الكثبان الرملية المجاورة ظهر بوضوح من خلال القياسات الميدانية و تأثيرها على النتائج.

- أخطاء في القياسات ؛ يكمن الخطأ الرئيسي و المتسبب في انحراف النتائج في العلاقات المطبقة في حساب الارتفاعات، حيث اعتبرت زاوية الانحدار المثالية عند أخذ الحسابات المتعلقة بحساب ارتفاع الكثيب، حيث اعتبرت الزاوية ثابتة لكل الحالات، تأخذ القيمة 35°.
- قصر الفترة الزمنية؛ الفترة الزمنية المقدرة بأربعة أسابيع لا يمكن اعتبارها كفترة كافية للتعبير عن حركة الكثيب الرملي، حيث أن القيم الموثقة في الأبحاث المتعلقة بنفس الموضوع تعطى بمعدلات سنوية.
- بالإضافة إلى مجموعة الارتياحات و الاخطأ المتعلقة بالحسابات و كان لها دور و إن كان بالشيء البسيط إلا أنها مساهمة في انحراف النتائج عنها عن الجانب النظري.

الخاتمة العامة

الخاتمة

أظهرت نتائج الدراسة مدى تعلق حركة الكتيب الرملي بنمط الرياح و هذا واضح في كل مراحل العمل، حيث نلاحظ بوضوح أن ارتفاع الكتيب مرتبط بتغير سرعة الرياح و كذا الاتجاه في كل أسبوع، كما بينت النتائج كذلك أن الرياح السائدة في المنطقة المدروسة هي الرياح الشمالية الغربية في هذا الشهر، كما أن سرعة حركة الكتيب الرملي كبيرة مقارنة بالدراسة النظرية و هذا بسبب الاعتبارات التقريبية التي تبقى مؤثرة في كل مراحل الدراسة، حيث توضح هذه الأخيرة النموذج العام لحركة الكتيبان والذي يمثل مدى زحف الرمال نحو المناطق المجاورة، التي تترجم بظاهرة التصحر.

يمكن تحسين هذه الدراسة من خلال متابعة القياسات لمدة أطول مثلا : طوال سنة كامل من اجل الحصول على نتائج أفضل و أدق، كذلك اللجوء إلى استعمال أجهزة أدق لحساب الارتفاعات بالنسبة للكتبان واستعمال محطات رصد محلية لتوفير المعلومات إضافية لتدقيق الدراسة، خاصة بالنسبة للرياح، كما يمكن إدخال متغيرات أخرى إضافية مثل فعل الرطوبة و تغير الكثافة الحجمية، ذلك لتدخلها المباشرة على إمكانية حركة حبيبات الرمل.

على الرغم من كل هذه النقائص إلا أن هذه الدراسة مكنتنا من معرفة نمط الرياح السائدة وإيجاد حركة تقريبية للكتيب الرملي من نوع البرخان التي يمكن اعتبارها صحيحة في حدود هذه التقريبات.

المراجع

- [1] , yaping Shoa 2008 'Physics and Modelling of Wind Erosion' université of Cologne Germany Springer science
- [2] Alexandre Vacance Institut de Physique de Rennes(IPR) GdR EGRIN 2-4 Avril 2013 'Rides et Dunes de Sable',cours 'presentaion',.
- [3] , Mohamed taieb LABIADH Gilles BERGAMETTI Christel BOUT Housine KHATTELI et Mounir ABICHOU (1/2015) 'Vers une quantification de l'érosion eolienne des sols laboures dans le sud tunisien ' revue des Regions arides – numero –n 36.
- [4] E. L. SKIDMORE (1986) 'WIND EROSION CONTROL', ARS –USDA–Kansas state University –Manhattan –kansas 66506 U.S.A
- [5] مشري محمد العبد،(2016/2015) ' دراسة اثر المعالجة الحرارية على تركيب رمل كثبان ورقلة' ، و على ناقلته الكهربائية، باستخدام الطرق الطيفية ،قسم علوم المادة جامعة ورقلة، أطروحة دكتوراه في الطور الثالث ل م د .
- [6] - Davide Cocks–Lincoln College –Trinity (2005). 'Mathmetical modelling of Dune formation', A thesis sudmitted for the degree of Docto of philosophy – University of Oxford .
- [7] Mitberichter: Dr.F.Assaad (2002) 'Modeling of Dune Morphology', Hauptbericher prof. Dr.H.J.Herrmann–. Instut fur Computeranwendungen l der Universitat Stuugart .
- [8] <https://hews.quickk.com> خريطة الجزائر الطبيعية (versiom 04/2017)

الملخص: تغطي الصحاري جزءا كبيرا من مساحة الجزائر، حيث تعتبر ولاية ورقلة واحدة من أهم المناطق الصحراوية لامتلاكها أصناف متعددة من الكثبان الرملية التي تساهم في ظاهرة التصحر.

في هذا العمل حاولنا إجراء دراسة محاكاة لظاهرة التصحر من خلال تتبع سرعة و اتجاه تحرك الكثبان الرملية من نوع برخان، و من خلال دراسة الخصائص المورفولوجية والديناميكية بأخذ معطيات ميدانية لمناطق مختلفة من منطقة الطيبات، تحصلنا على نموذج رياضي لحركة الكثبان الرملية يمكن اعتباره إلى حد ما نموذجا عاما لظاهرة التصحر، لان هذا النوع من الكثبان يعتبر الأكثر تسببا في الظاهرة المدروسة. حيث بينت النتائج مدى ارتباط سرعة حركة الكثيب بنمط الرياح السائدة في المنطقة و الشكل العام للكثيب الرملي في كل المناطق المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الكثبان الرملية، كثيب البرخان، الطبقة الحدية، معادلات النقل و الترسب، التصحر.

Abstract: The deserts cover a large part of Algeria, where Ouargla is one of the most important desert areas to possess multiple varieties of sand dunes that contribute to the desertification phenomenon.

In this work, we tried to study and simulate the desertification phenomenon by tracking the speed and direction of barchans sand dunes movement. By studying morphological and dynamic characteristics with taking field data for different areas of the Taibat, we obtained a mathematical model of sand dunes movement that can be considered to be, somewhat, a general model of desertification, because, this type of dune is the most caused by studied phenomenon.

The results showed how much the dune movement was related to the prevailing wind mode in this region and the general shape of sand dunes in all the studied areas.

Keywords: sand dunes, Barchans dune, boundary layer, transport and deposition equations, desertification.

Résumé: Les déserts couvrent une grande partie de l'Algérie, où Ouargla est l'une des plus importantes zones désertiques à posséder de multiples variétés de dunes de sable qui contribuent au phénomène de la désertification.

Dans ce travail, nous avons essayé d'étudier et de simuler le phénomène de la désertification en suivant la vitesse et la direction du mouvement des dunes de sable de type Barchan. Par l'étude des caractéristiques morphologiques et dynamiques avec de données prise sur le terrain pour les différentes régions du Taibat, nous avons obtenu un modèle mathématique du mouvement des dunes de sable qui peut être considéré comme, un modèle général de la désertification, parce que, ce type de dune est le plus causé par la phénomène étudié.

Les résultats ont bien montré la grande liaison entre le mouvement des dunes de sables au mode de vent dominant et à la forme générale des dunes de sable dans toutes les zones étudiées dans cette région.

Mots-clés: dunes de sable, dunes de Barchan, couche limite, équations de transport et de déposition, désertification.