

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات و علوم المادة

قسم الفيزياء

ميدان: علوم المادة



تخصص : فيزياء الأرصاد الجوية

من إعداد:

أولاد الحاج يوسف حياة

وقاد ناجية

بعنوان:

نمذجة الرياح السطحية من خلال دراسة توزيع الكثبان الرملية في محيط مدينة ورقلة

نوقشت علنا بتاريخ : 2020/10/01

لجنة المناقشة المكونة من :

رئيساً	أستاذ محاضر -ب- جامعة قاصدي مرباح -ورقلة -	الأستاذ : تليلي صالح
مناقشاً	أستاذ مساعد جامعة قاصدي مرباح -ورقلة -	الأستاذ : هبال بلخير
مشرفاً	أستاذ مساعد -أ- جامعة قاصدي مرباح -ورقلة -	الأستاذ : بن بلقاسم خلف الله

الموسم الجامعي : 2020/2019

إهداء

أهدي هذا العمل المتواضع الى :

❖ روح أبي الزكية الطاهرة

❖ و إلى أمي الحبيبة الغالية

❖ و إلى كل من علمني حرف في هذه الدنيا الفانية

❖ و إلى أصدقائي وإخوتي خاصة شفاء وهاجر

ناجبة وقاد

إهداء

أهدي تخرجي هذا إلى :

- ❖ أمي و أبي قرّة عيني و طريقي إلى الجنة أطال الله في عمرهما
- ❖ و إلى كل أفراد أسرتي
- ❖ و إلى روح جدي الطاهرة رحمها الله
- ❖ و إلى كل الأصدقاء، و من كانوا برفقتي ومصاحبتي أثناء دراستي
- ❖ و إلى كل من لم يدخر جهدا في مساعدتي
- ❖ و إلى كل من ساهم في تلقيني ولو بحرف في حياتي الدراسية .

أولاد الحاج يوسف حياة

شكر و عرفان

في البداية الشكر والحمد لله جل في علاه، فإنه ينسب الفضل كله

في إكمال -والكمال يبقى لله وحده- هذا العمل.

وبعد الحمد لله، نتوجه إلى أستاذنا الدكتور بن بلقاسم خلف الله بالشكر

والقدير الذي لن تفنيه أي كلمات حقه، فلولا مثابته ودعمه المستمر ما تم

هذا العمل...

كما نتقدم بالشكر للأستاذ الدكتور هبال بالخير على دعمنا بقدر كبير من المعلومات

والدكتور تليبي صالح على قبولهما مناقشة هذه المذكرة و تقديمهم الارشادات والتوجيهات ...

وفي الأخير نشكر كل الأستاذة الذين ساهموا ولو بالقليل في سبيل تكويننا طوال مسارنا الدراسي

وخاصة أساتذة قسم الفيزياء حتى تشرفنا بالوقوف أمام سيادتكم اليوم

الفهرس

I.....	الاهداء
III.....	شكر و عرفان
IV	الفهرس
IX.....	قائمة الاشكال
XII.....	قائمة الجداول
XIII.....	قائمة الرموز
أ.....	المقدمة العامة

الفصل الأول: الرياح و مورفوديناميكية الكثبان الرملية

2	1-I مقدمة
2	2-I (الرياح و رياح الطبقة السطحية
2	1-2-I تعريف الرياح
3	2-2-I أنواع الرياح
3	1-2-2-I الرياح الدائمة
4	2-2-2-I الرياح اليومية
5	3-2-2-I الرياح الموسمية
5	4-2-2-I الرياح المحلية

5	.....العوامل المؤثرة على الرياح (3-2-I)
6	.....أجهزة قياس الرياح (4-2-I)
9	.....خصائص الرياح في الطبقة السطحية (5-2-I)
11	.....الرياح في الارصاد الجوية (6-2-I)
12	.....تمثيل الرياح في الارصاد الجوية (1-6-2-I)
14	.....وردة الرياح (2-6-2-I)
17	.....الكثبان الرملية (3-I)
17	.....تعريف الكثبان الرملية (1-3-I)
19	.....ميكانيزمات تكون الكثبان الرملية (2-3-I)
20	.....العوامل المؤثرة على تكون الكثيب (3-3-I)
21	.....أنماط الكثبان الرملية (4-3-I)
22	.....كثبان ناتجة عن اتجاه واحد للرياح (1-4-3-I)
23	.....كثبان ناتجة عن اتجاهين للرياح (2-4-3-I)
24	.....كثبان ناتجة عن رياح متعددة الاتجاهات (3-4-3-I)
26	.....النماذج النظرية لحركة الكثبان (4-I)
26	.....النموذج المستمر (1-4-I)
26	.....النموذج المتقطع (2-4-I)

26	..... النموذج المتناوب (3-4-I)
26	..... الدراسة النظرية للبرخان (5-I)
28	..... دراسة البرخان المعزول (1-5-I)
31	..... دراسة البرخان في حقل من الكثبان (2-5-I)

الفصل الثاني : معامل الالتقاط والاستقرار الخطي للبرخان

34	..... مقدمة (1-II)
34	..... معامل الالتقاط لكثيب رملي (2-II)
36	..... شروط التدفق (1-2-II)
37	..... مفهوم معامل الالتقاط (2-2-II)
40	..... النقل الجانبي ودراسة الاستقرار (3-II)
41	..... معادلات الانحفاظ (1-3-II)
44	..... دراسة الاستقرار الخطي (2-3-II)
49	..... دور معامل الالتقاط في الاستقرار الخطي (4-II)
49	..... دور معامل الالتقاط (1-4-II)
50	..... دور الانتشار الجانبي (2-4-II)
50	..... دور زوايا المنبع والمصب (الوجه المقابل والمظاهر بالنسبة للكثيب) (3-4-II)
50	..... دراسة حالة البرخان المعزول (5-II)

51	..... مساهمة البيانات الميدانية (1-5-II)
52	..... العلاقة بين القياسات المورفولوجية وعمليات النقل الجانبي (2-5-II)
54	..... أهمية اختيار البيانات في منطقة الدراسة (3-5-II)

الفصل الثالث : المحاكاة و النمذجة الرقمية في منطقة الدراسة

56	..... مقدمة. (1-III)
56	..... موقع الدراسة. (2-III)
56	..... التعريف بالمنطقة (1-2-III)
57	..... مناخ المنطقة (2-2-III)
58	..... أنماط الكثبان الرملية في المنطقة (4-III)
58	..... كثبان الجهة الشمالية (1-4-III)
59	..... كثبان الجهة الجنوبية (2-4-III)
60	..... كثبان الجهة الشرقية. (3-4-III)
61	..... كثبان الجهة الغربية (4-4-III)
61	..... واردة الرياح في المنطقة (5-III)
61	..... تمثيل واردة الرياح من خلال محطات الرصد. (1-5-III)
65	..... تمثيل واردة الرياح في المنطقة من خلال نمذجة الكثبان (2-5-III)
72	..... النتائج و المناقشة (6-III)

74	..... خلاصة عامة
75	..... قائمة المراجع
77	..... الملحق (أ)
80	..... الملحق (ب)

قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
الفصل الأول		
2	الرياح السطحية لمنطقة صحراوية.	الشكل (1-I)
4	الرياح على سطح الأرض.	الشكل (2-I)
5	مناطق الضغط العامة والرياح السائدة.	الشكل (3-I)
6	جهاز دوارة الرياح.	الشكل (4-I)
7	مؤشر اتجاه الرياح.	الشكل (5-I)
7	جهاز الأنيمومتر.	الشكل (6-I)
8	البالونات الارشادية.	الشكل (7-I)
9	البنية العمودية للغلاف الجوي.	الشكل (8-I)
12	اتجاهات الرياح الرئيسية والفرعية.	الشكل (9-I)
12	سرعة واتجاه الرياح.	الشكل (10-I)
14	وردة الرياح البسيطة.	الشكل (11-I)
15	وردة الرياح المركبة.	الشكل (12-I)
16	وردة الرياح الثمانية.	الشكل (13-I)
17	الكثبان الرملية لمنطقة صحراوية.	الشكل (14-I)
18	مثال على ميكانيزم تكون الكثيب الرملي، الميكانيزم يمر بثلاث مراحل.	الشكل (15-I)
19	طرق انتقال حبيبات الرمل على سطح الأرض.	الشكل (16-I)
20	صورة لكثيب هلاي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي.	الشكل (17-I)
20	صورة لكثيب عرضي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي.	الشكل (18-I)
21	صورة لكثيب طولي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي.	الشكل (19-I)
22	صورة للكثبان النجمية، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي.	الشكل (20-I)
23	العلاقة بين نوع الكثبان الرملية، تغير اتجاه الرياح و توفر الرمال بيانياً.	الشكل (21-I)
26	رسم تخطيطي لهجرة الكثبان الرملية.	الشكل (22-I)
الفصل الثاني		

30	رسم تخطيطي لمقطع من الكثبان المعرضة لتدفق الرواسب من المنبع.	الشكل (1-II)
32	علاقة قيمة معامل التقاط الكثيب مع ارتفاعه من اجل نفس سرعة القص ونفس تدفق الترسيب على القمة.	الشكل (2-II)
32	معامل التقاط الرواسب على الوجه المظاهر T_e كدالة لارتفاع الكثيب h لمعدلات سرعة القص المختلفة u في الجزء العلوي من الكثيب، حسب موميجي و وارن (2000).	الشكل (3-II)
34	العلاقات المختلفة لمعامل الالتقاط الرملي لكثيب بدلالة الارتفاع h والارتفاع الحرج h_c .	الشكل (4-II)
35	نموذج يوضح تدفق الرواسب الجانبية على جزء من الكثيب.	الشكل (5-II)
35	رسم تخطيطي لتبادلات الكتلة لجزء من الكثيب رملي في حالة سكون (أ) وعند تقدم الكثيب بخطوة X_f (ب).	الشكل (6-II)
38	رسم تخطيطي لبرخانات في حقل كثبان عرضية مستقيمة بارتفاع h_0 الذي يتقدم بسرعة V_0 (a) ومن نفس الكثبان الرملية التي يكون موضع القمة فيها عرضة لاضطراب طول الموجة $\lambda = 2\pi/k$ (b).	الشكل (7-II)
42	رسم تخطيطي لبرخان.	الشكل (8-II)
الفصل الثالث		
47	الموقع الجغرافي لولاية ورقلة، (أ) موقع وحدود الولاية، (ب) موقع منطقة الدراسة.	الشكل (1-III)
48	الكثبان الرملية في الجهة الشمالية لمدينة ورقلة (نقوسة).	الشكل (2-III)
48	الكثبان الرملية في الجهة الجنوبية لمدينة ورقلة (قارة كريمة).	الشكل (3-III)
49	الكثبان الرملية في الجهة الشرقية لمدينة ورقلة (سيدي خويلد).	الشكل (4-III)
49	الكثبان الرملية في الجهة الغربية لمدينة ورقلة (حوض بركاوي).	الشكل (5-III)
51	وردة الرياح لمدينة ورقلة في الفترة 01 أوت إلى 30 أوت، وفق معطيات محطة الأرصاد.	الشكل (6-III)
52	وردة الرياح لمدينة ورقلة لمدة سنة، وفق معطيات محطة الأرصاد.	الشكل (7-III)
55	نتائج نمذجة وردة الرياح لكل من الجهات الأربعة المحيطة بمنطقة الدراسة، (أ) شمالا نقوسة، (ب) شرقا سيدي خويلد، (ج) جنوبا قارة كريمة، (د) غربا حوض بركاوي.	الشكل (8-III)

56	مقارنة بين النتيجة النهائية لوردة الرياح المنمذجة (أ) و وردة الرياح نتيجة محطة الأرصاد (ب) لمنطقة ورقلة.	الشكل (III-9)
----	--	---------------

قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
الفصل الأول		
11	تحديد اتجاه الرياح حسب درجة ورودها في معلم الاتجاهات.	الجدول (1-I)
13	تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي.	الجدول (2-I)
الفصل الثالث:		
50	fréquences vent du 01 au) توزيع تردد الرياح لشهر أوت (31/08/2020 في منطقة ورقلة.	الجدول (1-III)
52	نتائج حساب شدة التدفق و النسب المئوية لتوزيع الكثبان الرملية حسب الاتجاه، في كل من المناطق الاربعة.	الجدول (2-III)

قائمة الرموز

الرمز	تعريفه
Q_c	هو تدفق حبيبات الرمل فوق القمة
ρ_b	هي الكثافة الظاهرية لحبيبات الرمل
h_c	ارتفاع البرخان.
V_m	سرعة الكتيب
q_z و q_x	هي تدفقات الحبيبات القافزة في اتجاه X و Z
Q_e	هو تدفق الرمل العمودي على سطح الكتيبان الرملية
Q	هو تكامل تدفق الرمل العمودي.
Q_u	هو تدفق حبيبات الرمل من المنبع.
Θ	إنحدار (زاوية) وجه التيار، أو الزاوية المواجهة للرياح.
Φ	وجه الانحيار، أو الزاوية المظاهرة للرياح.
T_e	معامل التقاط الرواسب.
Sh_0	عدد شيلدز الموافقة للتدفق على السطح الاملس مستوي.
Sh_c	عدد شيلدز لعبة الحركة للوسط الحبيبي على السطح.
H_c	هو ارتفاع حرج
J_d و J_u	التدفقات الجانبية
X_f	موضع الخطوة الأمامية للكتبان الرملية.
S	مساحة جزء من الكتيب الرملي.
Δ	هو مقدار التغير في معامل التقاط الكتيبان الرملية

المقدمة العامة

تعتبر الكثبان الرملية من الخواص المميزة و المكتملة للمنظر العام في المناطق الصحراوية، حيث تتنوع الكثبان الرملية على عدة أنماط بحسب نوع الرياح السائدة وكمية الرمال في المنطقة. من هذا المنطلق، يمكن اعتبار أشكال و توزيع الكثبان في منطقة ما بصمة للرياح السائدة في هذه المنطقة، خاصة رياح الطبقة السطحية في الطبقة الحدودية من الغلاف الجوي.

أجريت العديد من الدراسات الميدانية في مناطق مختلفة من العالم بهدف فهم مورفوديناميكية الكثبان، و علاقتها بخصائص الرياح السائدة، في هذا الصدد، قمنا بهذه الدراسة التي تهدف إلى نمذجة سلوك الرياح السطحية في محيط مدينة ورقلة، وذلك من خلال إجراء بعض القياسات الميدانية على الجهات الأربعة للمنطقة خلال فترة زمنية تقدر بشهر واحد (شهر أوت)، بالإضافة إلى الاستعانة بنمذجة سابقة للكثبان من نمط البرخان.

لانجاز هذا العمل، قسمنا هذه المذكرة إلى ثلاثة فصول، و نظرا لاعتبار الرياح العامل الفعال و الأساسي في هندسة الكثبان الرملية، خصصنا في الفصل الأول؛ جزء كبير للتحديث عنها، كما تطرقنا إلى الدراسة والتعريف بأنماط الكثبان، حيث تعرفنا على انواع الكثبان الرملية وعلاقتها بخصائص الرياح السائدة، أين سلطنا الضوء على مراحل تشكيلها و تطورها.

في الفصل الثاني، تطرقنا إلى النماذج النظرية و العلاقات الرياضية بتفصيل أكبر، خاصة في حسابات معامل الالتقاط الرملي للكثيب و دوره في الاستقرار الخطي، بالإضافة إلى مدى تأثير النقل الجانبي للرواسب في حالة البرخان المعزول.

حاولنا في الفصل الثالث والأخير، نمذجة الرياح السطحية لمنطقة ورقلة من خلال دراسة صور الكثبان الرملية في الجهات الأربعة لمنطقة ورقلة، هي : شمالا نقوسة، شرقا سيدي خويلد، جنوبا قارة كريمة، وغربا حوض بركاوي، ومعرفة نوع واتجاه الرياح السائدة المكونة لهذه الكثبان، كما حاولنا استنباط وردة الرياح من خلال صور الكثبان الرملية و معرفة كثافة توزيعها في الاتجاهات الأربعة للمنطقة، ومقارنتها بقيم محطة الرصد الجوي لولاية ورقلة .

في الأخير قدمنا خلاصة عامة حول أهم النتائج المحصل عليها، بالإضافة إلى تقديم بعض الاقتراحات لتحسين النتائج، كذلك عرضنا الآفاق المستقبلية لتطوير العمل في هذا المجال.

الفصل الأول :

الرياح و مورفوديناميكية الكثبان الرملية

1-1 مقدمة

تغطي الكتلان الرملية باختلاف شكلها وطبيعتها مساحات شاسعة من العالم، و تعتبر العوامل المناخية كالرياح و التساقطات هي المسؤولة عن جيومورفولوجيا السطح حيث تعمل الرياح بتغير سرعتها و اتجاهها على تفتيت السطح الخارجي للتربة و نقل حبيبات الرمل و ترسيبها.

يهتم علماء الأرصاد بدراسة الرياح و معرفة خصائصها و سرعتها و اتجاهها، لما لها من أثر كبير في حدوث الكثير من ظواهر الطقس، مثل ارتفاع درجة الحرارة و انخفاضها، تكاثف بخار الماء، تكون الغيوم و سقوط الامطار، حدوث الرعد و البرق، و غيرها من مظاهر الطقس المهمة، فضلا عن قيامها بنقل الطاقة من المناطق المدارية الى المناطق القطبية.

2-1 الرياح ورياح الطبقة السطحية

1-2-I تعريف الرياح

نقصد بالرياح الحركة الافقية للهواء الموازية لسطح الأرض، حيث تختلف عن حركته العمودية التي تظهر على شكل تيارات هوائية صاعدة وأخرى هابطة. الرياح تنتج من اختلاف الضغط الجوي بين منطقة وأخرى، حيث تنتقل الكتل الهوائية من مناطق الضغط المرتفع نحو مناطق الضغط المنخفض، عندما تكون الرياح قريبة من مستوى سطح الأرض يطلق على هذه الرياح رياح سطحية [1].



الشكل (1-I) : الرياح السطحية لمنطقة صحراوية [2].

2-2-I أنواع الرياح

يمكن تصنيف الرياح حسب فترة هبوبها و مدى انتشارها إلى: رياح دائمة- رياح موسمية - رياح محلية -

رياح يومية

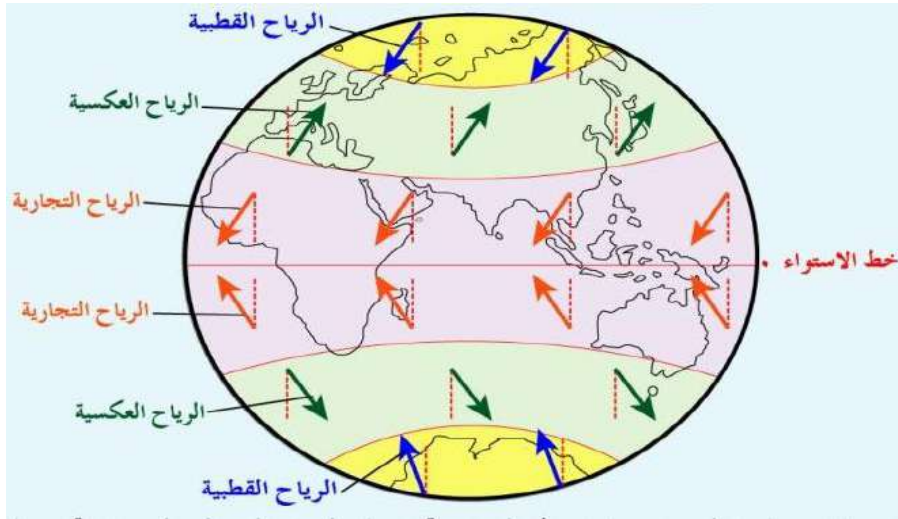
1-2-2-I الرياح الدائمة

الرياح الدائمة الهبوب في المنطقة ذاتها من العالم تسمى الرياح السائدة، هذه الرياح تحدد أنماط الأحوال الجوية حول الكرة الأرضية. يعود تكون الرياح السائدة إلى كون المناطق الاستوائية تتلقى حرارة أكثر من المناطق القطبية، لذا يندفع الهواء الحار شمال و جنوب خط الاستواء حيث يبرد. يتأثر اتجاه الرياح بحركة دوران الأرض حول نفسها [3].

أ- الرياح التجارية : تهب هذه الرياح من منطقتي الضغط المرتفع المداريتين نحو منطقة الضغط المنخفض الاستوائية، تكون شمالية شرقية في نصف الكرة الشمالي، جنوبية شرقية في نصف الكرة الجنوبي، تمتاز الرياح التجارية بأنها جافة و غير ممطرة لأنها تأتي من جهات دافئة إلى جهات حارة [3].

ب- الرياح العكسية : تهب الرياح العكسية من منطقة الضغط المرتفع الموجود حول دائرتي 30° شمالا وجنوبا إلى الدائرتين القطبيتين، تهب عادة من الجنوب الغربي في نصف الكرة الشمالي، من الشمال الغربي في نصف الكرة الجنوبي، تكون غالبا ممطرة و دافئة، سبب ذلك أنها تأتي من جهات دافئة إلى جهات باردة نوعا، وكثيرا ما تصحب الرياح العكسية معها الأعاصير وهي عواصف شديدة الهبوب كثيرة الرعد والبرق مع تقلبات سريعة يضطرب معها الجو كثيرا [3].

ج- الرياح القطبية : تهب الرياح القطبية من القطب الشمالي نحو الدائرة القطبية الشمالية، وتأتي من الشمال الشرقي كما تهب من القطب الجنوبي نحو الدائرة القطبية الجنوبية، تكون جنوبية شرقية وهي رياح باردة جافة [3].



الشكل (I-2) : الرياح على سطح الارض [3].

I-2-2-2-1) الرياح اليومية

هذه الرياح تهب يوميا و بصفة دورية في مناطق محددة نتيجة لاختلاف درجة الحرارة في تلك المناطق مما يؤدي إلى اختلاف موضعي (محلي) للضغط الجوي، مثال على هذا الرياح هو نسيم البحر و نسيم البر، كما تهب أيضا في مناطق الوديان والأحواض الجبلية، وتسمى نسيم الجبل في الليل، ونسيم الوادي في النهار [3].

I-2-2-3) الرياح الموسمية

أصل هذه التسمية من العربية و تعني فصل وتنسب إلى دورة الرياح لأنها فصلية بالصفات. سميت بالموسمية لأنها تهب في مواسم معينة و في مناطق محددة على سطح الأرض [3].

I-2-2-4) الرياح المحلية

يقتصر هبوبها على مناطق معينة من الكرة الأرضية و في فترات محددة من السنة، يمكن أن نذكر رياح الشرقي، هي رياح حارة (تهب من الشرق) ، السيروكو (تهب من الجنوب)... رياح حارة، رياح باردة، رياح دفيئة [3].

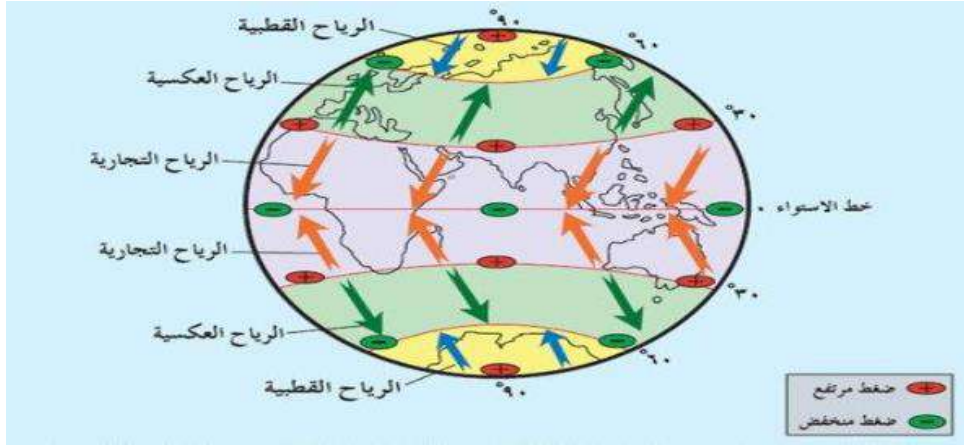
I-2-3) العوامل المؤثرة على الرياح

تنتقل الرياح من مركز الضغط المرتفع إلى مركز الضغط المنخفض وخلال هبوبها تتعرض الى عدة عوامل تؤثر في سرعتها و اتجاهها وتلخص هذه العملية بما يأتي :

❖ **منحدر الضغط الجوي** : تعتمد حركة الرياح و سرعتها على تباين قيم الضغط الجوي إذ تنتقل الرياح من

مناطق الضغط العالي إلى مناطق الضغط المنخفض، حيث تكون الرياح شديدة و قوية إذا كان الاختلاف أو

الانحدار شديدا ويحدث العكس في حالة كون الاختلاف في الضغط قليلا. [1]



الشكل (3-I) : مناطق الضغط العامة و الرياح السائدة [4].

❖ **قوة كوريوليس** : تتحرك الرياح حسب القاعدة العامة من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض في اتجاه عمودي على خطوط الضغط المتساوية، لكن هذا لا يحدث لأن دوران الأرض حول نفسها يؤدي إلى انحراف هذه الرياح إلى يمين اتجاهها في نصف الكرة الشمالي وتدور حول مراكز الضغط المنخفض بحركة معاكسة لحركة عقارب الساعة، أما في نصف الكرة الجنوبي فإن الرياح تنحرف إلى يسار اتجاهها وتدور حول مراكز الضغط المنخفض في حركة تشبه حركة عقارب الساعة الشكل (2-I) [1].

❖ **قوة الاحتكاك** : يؤثر سطح الأرض وخشونته في حركة الرياح بصورة مباشرة إذ أن احتكاك الهواء بسطح الأرض يقلل من سرعتها، لذلك فإن الطبقة السفلى من الغلاف الجوي أي الملاصقة لسطح الأرض بصورة مباشرة تعد طبقة راكدة تماما، أما فوق هذه الطبقة فإن سرعة الرياح تزداد بالارتفاع ويقل تأثير عامل الاحتكاك تدريجيا حتى ينعدم تأثيره عند ارتفاع أربع كيلومترات [1].

I-2-4) أجهزة قياس الرياح

وضع فرنسيس بيوفورت عام 1805 مقياسا نسبيا يقيس به سرعة الرياح معتمدا على استجابة تحرك بعض الأشياء لها، حيث قسم الرياح بحسب اختلاف سرعتها إلى 12 نوعا بحيث تبدأ بحالة السكون (درجة الصفر) و

تنتهي بحالة الاعصار (12درجة). تجهز محطات الرصد الجوي ببعض الأجهزة المتطورة التي تقيس سرعة واتجاه الرياح بدقة متناهية، و من هذه الاجهزة :

❖ جهاز دوارة الرياح

يستخدم لتحديد اتجاه الرياح دوارة الرياح التي تتركب من ذراع من حديد على شكل سهم يوجد في مؤخرته جزء عريض مفلطح، يثبت هذا الذراع على عمود راسي حر الحركة، بحيث اذا ما اصطدمت الرياح بالجزء العريض من الذراع يدور حتى يشير السهم إلى الجهة التي تأتي منها الرياح، لذلك تسمى الرياح باسم الجهة التي تأتي منها، يرتكز هذا العمود الرأسي فوق عمود آخر ثابت، مثبت فيه أربعة أذرع يشير كل منها الى احدى الجهات الأصلية الأربعة [1].



الشكل (I-4) : جهاز دوارة الرياح [5].

❖ مؤشر اتجاه الرياح

كيس من القماش يعلق على عمود يمكن من خلاله معرفة الجهة التي تهب منها الرياح. يستعمل في المطارات لتحديد اتجاه و سرعة الرياح [1].



الشكل (I-5) : مؤشر اتجاه الرياح [6].

❖ جهاز الأنيمومتر:

يتكون هذا الجهاز من ثلاث أو أربع طاسات (أنصاف كرات) تربط بأذرع حول محور عمودي يدور حول نفسه بحرية. ينتقل دورانه من خلال مجموعة من البكرات المسننة إلى عداد بواسطته تسجل عدد مرات دوران الطاسات دورة كاملة ومن ثم يمكن حساب سرعة الرياح خلال أي فترة زمنية [1].



الشكل (I-6) : جهاز الأنيمومتر [5].

❖ البالونات الارشادية

هي بالونات تصنع من المطاط و تملأ عند تشغيلها بغازات خفيفة، عند صعود البالونات إلى أعالي الجو تسجل أدوات القياس في نفس الوقت سرعة الرياح و اتجاهها، باستخدام التيدولاييت سكوبي، كما يمكن معرفة الارتفاعات التي رصدت عندها البالونات لسرعة و اتجاه الرياح [1].

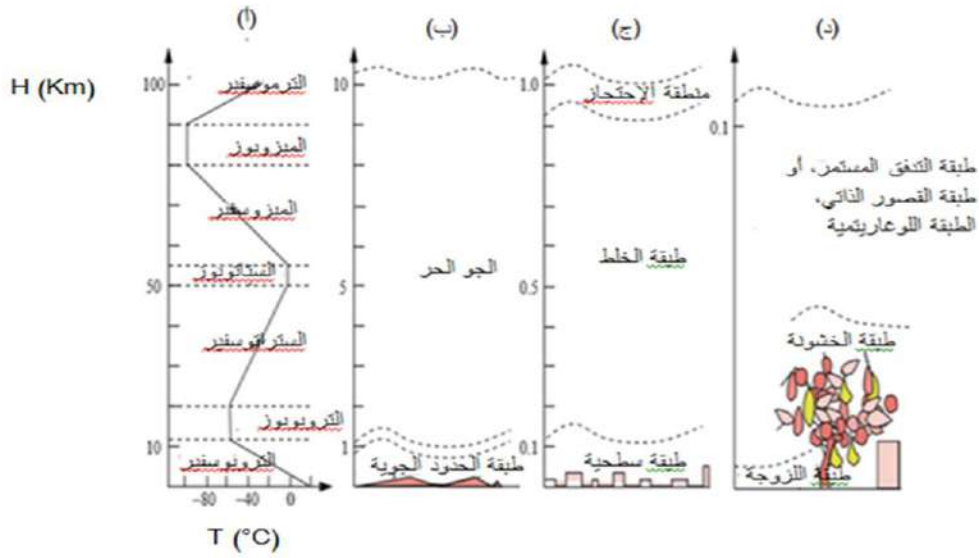


الشكل (I-7) : بالونات الارشادية [7].

I-2-5) خصائص الرياح في الطبقة السطحية

بناءً على تغير درجة الحرارة، ينقسم الغلاف الجوي إلى 4 طبقات ؛ طبقة التروبوسفير، الستراتوسفير، والميزوسفير و الطبقة الحرارية الترموسفير، الشكل (I-7). يبلغ عمق طبقة التروبوسفير حوالي 10 كم في المناطق القطبية إلى 15 كم في المناطق الاستوائية، حيث تنخفض درجة الحرارة بشكل رتيب مع الارتفاع و العكس. تحدث معظم الظواهر الجوية في الطبقة الدنيا التروبوسفير و بالضبط في الطبقة الحدودية للغلاف الجوي، و هي طبقة الهواء على ارتفاع (1-3) كم فوق سطح الأرض مباشرة، التي تتأثر بشدة بتبادلات الزخم (قوة الدفع)، أي التفاعل الطاقوي بين الغلاف الجوي والسطح، الطاقة والكتلة في نطاقات زمنية أقل من يوم واحد. ما تبقى من طبقة التروبوسفير يعرف بالغلاف الجوي الحر. تتميز الطبقة الحدودية للغلاف الجوي بالميزات التالية :

- تكون التدفقات بشكل اضطرابي هي المسيطرة، و انتقال الطاقة و المادة بشكل رأسي حيث يتناسب مع عمق الطبقة الحدودية.
- يختلف شكل الطبقة الحدودية باختلاف الزمان و المكان، تزداد سيطرة الشكل الاضطرابي مع الارتفاع.
- الكميات مثل الرياح، الحرارة، الرطوبة، تركيز الجسيمات، لها انحدار عمودي ثابت بالقرب من السطح.



الشكل (8-I) : البنية العمودية للغلاف الجوي [8].

تعتبر الطبقة الحدودية الجوية تفاعلية و نشطة في الجزء القريب من السطح لهذه الطبقة، المعروف باسم الطبقة السطحية، متغيرات الغلاف الجوي (مثل سرعة الرياح ودرجة الحرارة وتركيز الهباء الجوي) تتغير بسرعة مع الارتفاع. تنقسم الطبقة السطحية إلى 3 طبقات :

- طبقة الاحتكاك (اللزوجة).
- طبقة الخشونة.
- طبقة التدفق المستمر.

فهم الطبقة السطحية مهم لدراسات تآكل الرياح (التعرية الريحية) لأن احتباس جزيئات التربة يتم تحديده من خلال انتقال الزخم (قوة الدفع) من هذه الطبقة إلى السطح و تقتصر حركة الجسيمات بحجم الرمال على هذه الطبقة.

في طبقة قريبة جداً من السطح الأملس (أي أن عناصر الخشونة صغيرة بدرجة كافية)، قل بضعة ملليمترات، يكون الاضطراب بشكل عام ضعيفاً جداً بسبب التأثير القوي جداً للتبديد اللزج. هنا يهيمن الانتشار الجزيئي على عمليات النقل. هذه الطبقة تسمى الطبقة اللزجة [8].

تنتج الرياح السطحية عن الاختلاف الحاصل في الضغط الجوي من مكان الى آخر على الكرة الأرضية، هذه الرياح تعمل على تعديل هذه الفروقات المسجلة في الضغط الجوي، تنتقل الرياح من أماكن الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض كلما كان الفرق في الضغط كبيراً كانت الرياح قوية و العكس صحيح الشكل (I-3) [3].

I-2-6) الرياح في الأرصاد الجوية

الطقس هو حالة الجو في فترة زمنية قصيرة قد تكون ساعة معينة، يوم أو بضعة أيام، وعليه فإن خريطة الطقس هي الخريطة التي توضح حالة الجو أثناء هذه الفترة القصيرة، غالباً ما تكون خريطة الطقس تمثل حالة الجو في يوم واحد، وإن كانت معظم محطات الأرصاد الجوية في السنوات الأخيرة تقوم بإعداد ورسم أكثر من خريطة للطقس في اليوم الواحد، ذلك نتيجة أن الطقس يتغير في الساعة الواحدة أو اليوم عدة مرات، لا تقتصر خرائط الطقس على اظهار حالة الجو على سطح الأرض، بل أصبحت ترسم خرائط للطقس في طبقات الجو العليا على ارتفاعات مختلفة من سطح الأرض.

تنقسم عناصر الطقس إلى عدة أنواع منها درجة الحرارة، كمية الأمطار، الرطوبة، الضغط الجوي و

الرياح، حيث نستعرض في مايلي أحد هذه العناصر و هو الرياح :

I-2-6-1) تمثيل الرياح في الارصاد الجوية

يشير اتجاه الرياح إلى الجهة التي تهب منها الرياح على المحطة التي تتم فيها عملية الرصد، مفاة من الشمال الحقيقي، في اتجاه عقارب الساعة، أما سرعة الرياح فتقاس بالعدة (أو 1,85 كيلومتر). يوجد دليل رقمي يوضح اتجاه الرياح أيضا كما هو مبين فيما يلي [9] :

الجدول (I-1) : تحديد اتجاه الرياح حسب ورودها في معلم الاتجاهات [9].

رقم الاتجاه	الاتجاه	درجة الاتجاه
00	هواء ساكن و لا توجد رياح	سكون
02	الشمال	صفر/360°
04	شمال الشمال الشرقي	22.5°
06	الشمال الشرقي	45°
08	شرق الشمال الشرقي	67.5°
10	شرق	90°
12	شرق الجنوب الشرقي	112.5°
14	الجنوب الشرقي	135°
16	جنوب الجنوب الشرقي	157.5°
18	الجنوب	180°
20	جنوب الجنوب الغربي	202.5°
22	الجنوب الغربي	225°

24	غرب الجنوب الغربي	°247.5
26	غرب	°270
28	غرب الشمال الغربي	°292.5
30	الشمال الغربي	°315
32	شمال الشمال الغربي	°337.5

ويتم توضيح الجدول بالشكل التالي :



الشكل (I-9) : اتجاهات الرياح الرئيسية والفرعية [10].

يتم تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي بخط ينتهي إلى الدائرة التي تمثل المحطة، ويكون اتجاهها




نحو مركز المحطة، أما سرعة الرياح فتظهر على شكل خطوط مائلة على اتجاه الرياح الشكل (I-10) و

تتبع في ذلك أشكال مختلفة الجدول (I-2).



الشكل (I-10) : سرعة واتجاه الرياح [9].

جدول (I - 2) : تمثيل الرياح في خرائط الرصد الجوي.

الرمز	قيمته
	5 عقدة
	10 عقدة
	50 عقدة

I-2-6-2) واردة الرياح

يمكن تمثيل تغيرات الرياح بمخطط قطبي الاحداثيات في معلم للاتجاهات الأربعة الرئيسية، حيث متغيراته هي، اتجاه الرياح وترددتها خلال فترة زمنية معينة لأي منطقة جغرافية، يعرف هذا التمثيل بوردة الرياح، هناك أنواع مختلفة من ورات الرياح تمثل اتجاهات الرياح وسرعتها وسوف نذكر أهمها :

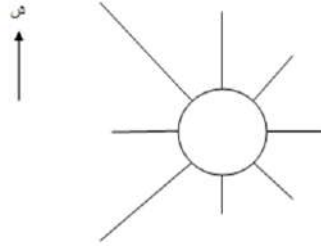
(أ) واردة الرياح البسيطة

عبارة عن شكل تتوسطه دائرة تحيط به مجموعة من الأعمدة البيانية الصغيرة لتوضيح النسب العامة لهبوب الرياح من اتجاهات مختلفة كمتوسط سنوي أو شهري أو أسبوعي.... الخ، ويلاحظ الدائرة المرسومة بوسط الوردة عادة ما ترسم كبيرة نسبيا بحيث يكون وسطها نسبة السكون، وهذا يتضح بصفة خاصة في الرسوم البيانية المستقلة التي لا توقع في خرائط الشكل (I - 11).

ترسم واردة الرياح بالخطوات التالية :

- نبدأ في اختيار مقياس رسم مناسب ويتوقف سلم الرسم على طبيعة الأرقام المطلوب رسمها.

- نضرب مقياس الرسم الذي تم اختياره في النسب الممثلة لاتجاهات الرياح لنحصل على أطوال الاتجاهات المختلفة، أما الرقم الدال على نسبة المئوية لمرات السكون فيكتب في وسط وردة الرياح.
 - نقوم برسم ثمانية خطوط تمثل الاتجاهات الثمانية التي توضحها الاحصائية كل حسب قيمته واتجاهه.
 - يجب رسم مقياس الرسم المستخدم وكذلك اتجاه الشمال.
- أهم شيء في وردة الرياح هو تناسب أطوال هذه الخطوط مع النسبة المئوية لاتجاهات الرياح وفقا لمقياس السهم المستخدم. يمكن رسم عدة وردات للرياح على خريطة واحدة لتوضيح الرياح في تلك المنطقة [9].



الشكل (I- 11) : وردة الرياح البسيطة [9].

(ب) وردة الرياح المركبة

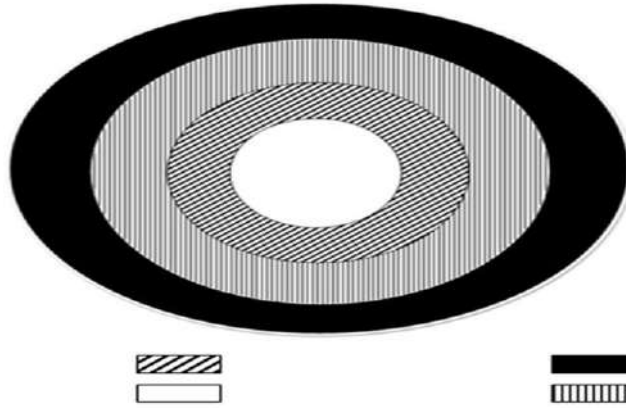
عبارة عن دائرة يقسم نصف قطرها على أساس النسب المئوية لسرعة الرياح من اتجاه معين في شهر ما أو طول السنة وتستخدم وردة الرياح المركبة في تمثيل سرعة الرياح، وتستخدم عادة لتوضيح سرعة الرياح العليا وتأخذ شكلا دائريا يختلف عن وردة الرياح البسيطة.

ترسم كالآتي :

- نرسم دائرة بنصف قطر مناسب.

- نحسب الطول المناسب لكل فئة المطلوب رسمها.
- نجمع أطوال أنصاف أقطار الفئات و يجب أن يكون مجموعها مساويا لنصف قطر الدائرة الأساسية.

- نرسم دوائر متداخلة موحدة المركز مستخدمين أنصاف الأقطار السابقة.
- انشاء مفتاح يتكون من ألوان تمثل الفئات المطلوب تمثيلها [9] .



الشكل (I-12) : وردة الرياح المركبة [9].

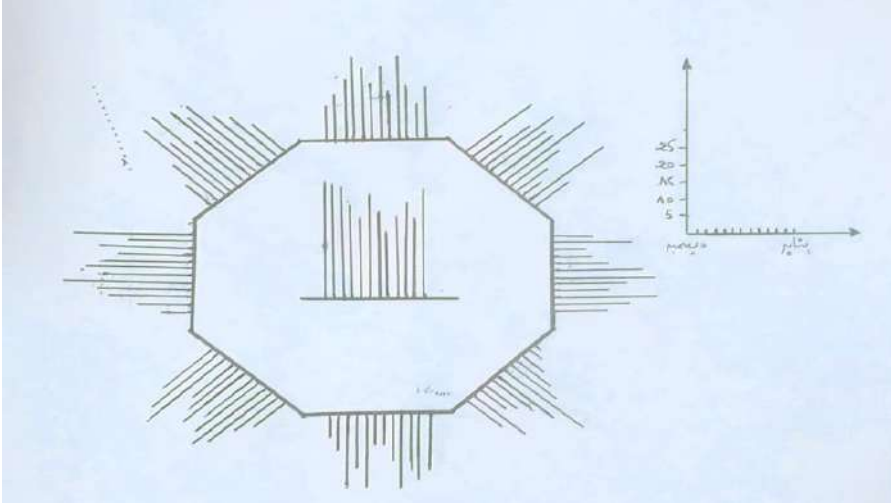
(ج) وردة الرياح الثمانية

عبارة عن مخطط ثماني الشكل يمثل تكرارات هبوب الرياح واتجاهاتها في محطة معينة لكل شهر السنة، بالنسبة للاتجاهات الثمانية. من هنا نلاحظ أن وردة الرياح المثلثة تمثل أرصاد اثني عشر شهرا بالنسبة لهذه الاتجاهات، بالإضافة إلى نسبة السكون في كل اتجاه من هذه الاتجاهات [9] .

ترسم كالتالي :

- نقوم برسم ثمانية أضلاع عرضية على الاتجاهات الثمانية بحيث تكون أطوالها مناسبة لإقامة اثني عشر عمودا متجاورة تمثل الشهور المختلفة على كل منها.

- اختيار مقياس رسم مناسب لإقامة هذه الأعمدة للنسب المتوية التي سبق حسابها فيجب أن يكون المقياس كبيرا جدا، بحيث تزيد أطوال الأعمدة عما يجب أو العكس صحيح.
- نرسم خط مناسب وبالطول نفسه الذي رسمت به الأضلاع الثمانية في وسط الشكل ويقام عليه اثني عشر عمودا يمثل نسبة السكون في الشهور المختلفة للسنة.
- تحدد أطوال الأعمدة وفقا لمقياس الرسم المناسب، وعلى ذلك سوف يكون لدينا مقياسين للرسم، أحدهما مقياس أفقي هو من نفس طول أي ضلع من أضلاع الشكل، والآخر مقياس رأسي يحدد على أساسه طول كل عمود من الثماني على حسب القيمة التي يمثلها هذا العمود [9].



الشكل (I-13) : وردة الرياح الثمانية [9].

3-I الكثبان الرملية

1-3-I تعريف الكثبان الرملية

الكثبان الرملية هي جمع كتيب وهو عبارة عن تجمع من الرمل السائب على سطح الأرض في

كومة ذات قمة [11].

عرفها العالم لونها وجماعته على أنها عصف الرياح بالحطام الصخري الذي يكون رملا ليجمع بعد ذلك ويكون هضاب صغيرة دائرية، ذات شكل طوي أو غير منتظمة، وعرفها جون ويلي على أنها تل أو تراكم في الرمل المتكون بفعل الرياح التي تكون اما نشطة (متحركة) عندما تكون الكثبان مكشوفة أو خالية من النباتات، و قد تكون غير نشطة (الثابتة) عند وجود النباتات التي تمنع جذورها من انتقال الكثبان الرملية، بينما عرفها العالم هولم على أنها تتكون من حبيبات الرمل القادمة وهي ظاهرة طبوغرافية ذات منشأ هوائي من مصدر طبيعي في أي بيئة تتوفر فيها الرمال هي حرة التنقل. أما العالم كلين فقد أعطي وصفا آخر للكثبان الرملية اذ قال أنها تجمعات على شكل رابية أو سلسلة من الترسبات التي تدرؤها الرياح ولها منحدر قليل مواجه للرياح أكثر انحدار في الجهة المحجوبة عن الرياح أطلق عليها وجه الانزلاق [12].

قد تكون الكثبان الرملية متجانسة او غير متجانسة يميل لونها الاصفر الفاتح، نظرا لاحتوائها على معدن الكوارتز و عدم احتوائها المعادن العضوية، وقد تظهر باللون البني المحمر، وذلك لوجود اكسيد الحديد فيها [13].



الشكل (I-14) : الكثبان الرملية لمنطقة صحراوية [13] .

I-3-2) ميكانيزمات تكون الكثبان الرملية

لتكون الكثيب لابد من وجود عائق مثل الصخور أو الأشجار التي تعمل على تقليل سرعة

الرياح وترسيب الرمال المنقولة كما يلي :

أ/- تسقط حبيبات الرمال عند اصطدامها بالعائق وتتراكم أمامه.

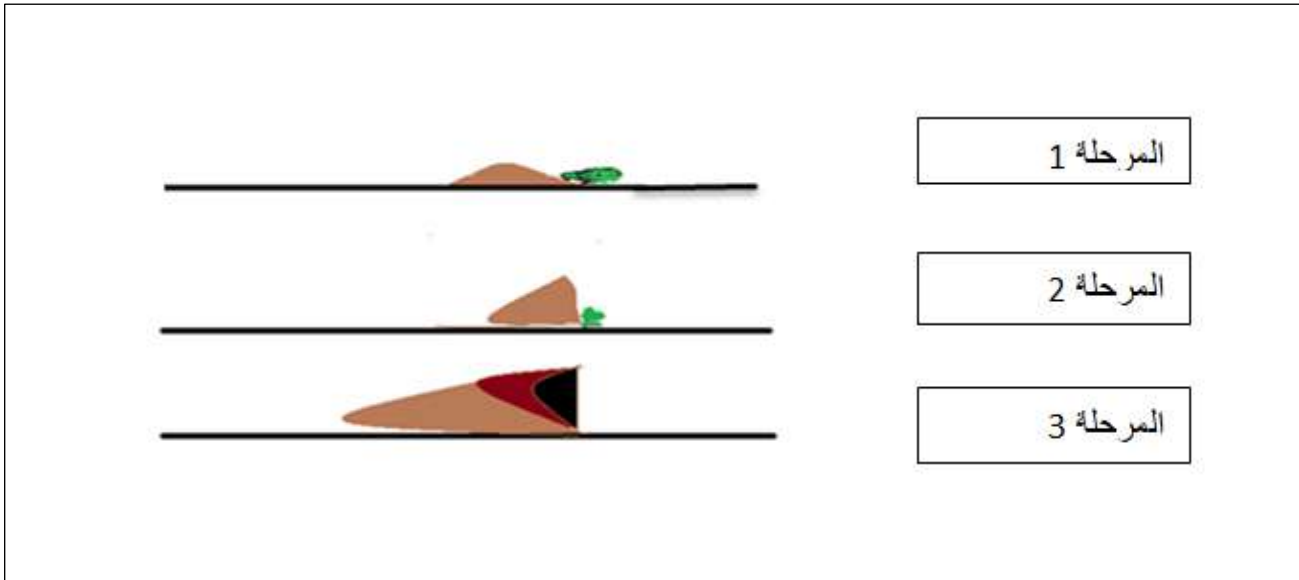
ب/- ينقسم تيار الهواء الى ذراعين يمران بجوار العائق حيث يترسب الرمل حول هذا العائق.

ج/- يزداد حجم الذراعين حتى يلتقيان مكونان الظل الرملي.

تستمر الكثبان الرملية في النمو بترسب المزيد من الحبيبات الرملية إلى أن يصل حجم الكثيب إلى

مرحلة تتوقف عندها عن النمو وعند ذلك يوصف الكثيب بأنه قد وصل الى مرحلة النضوج ولا يستطيع

أن يجذب المزيد من الحبيبات [14].



الشكل (I-15) : رسم تخطيطي لميكانيزمات تكون الكثيب الرملي.

I-3-3) العوامل المؤثرة على تكون الكثيب

توجد عدة عوامل مؤثرة في تكوين الكثبان الرملية اهمها :

- الرياح .
- توافر مصادر الرمال.
- خصائص طبوغرافية.

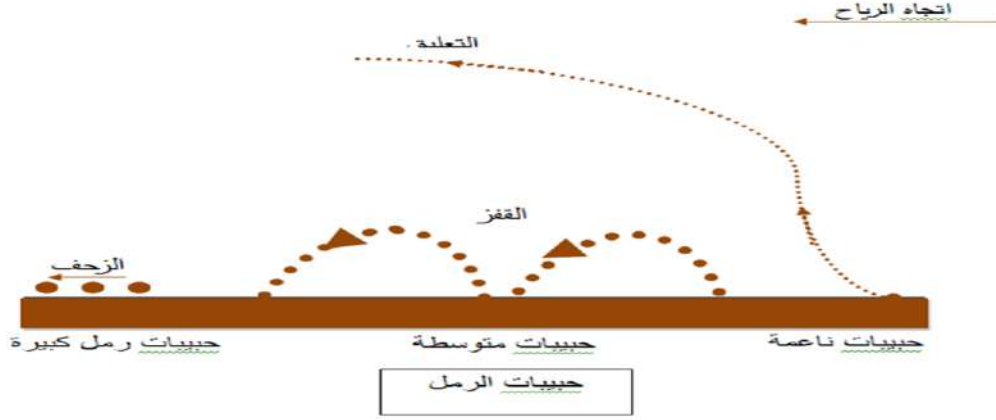
❖ **أولا :** الرياح، تعتبر العامل الرئيسي في تحريك ونقل حبيبات الرمال تبدأ حركتها عندما تتراوح

سرعة الرياح من (9-12) كم/سا و تتم عملية انتقال الحبيبات بثلاث طرق [11] :

أ/- الزحف (الدرجة) : هي زحف وتنقل حبيبات الرمل التي يتراوح حجمها (1-2) مم ويتم نقل هذه الحبيبات على سطح الأرض نتيجة دفع او درجة الرياح لها أو تصادم الحبيبات مع بعضها البعض.

ب/- القفز : تنتقل حبيبات الرمال التي يتراوح حجمها بين (1-0.05) مم حيث تنتقل كمية تقدر بحوالي (9%) من كمية الرمال الزاحفة الى ارتفاع يقدر بحوالي (30) سم من سطح الأرض.

ج/- التعليق : عبارة عن انتقال حبيبات الرمال الناعمة جدا التي حجمها أقل من (0.05) مم الى الطبقات العليا من الجو حيث تظل معلقة لفترة طويلة وتنقل بهذه الطريقة الى مسافات كبيرة جدا تتراوح (30000-40000) كم.



الشكل (I-16) : طرق انتقال حبيبات الرمل على سطح الأرض.

❖ **ثانياً** : توافر مصادر الرمال، تتلخص في الرواسب المفككة التي تتضمن الرواسب الشاطئية و الرواسب التي جلبتها السيول و الرواسب المتماسكة، تشمل الأحجار الرملية و هي المصدر الأساسي للسلاسل العملاقة [11].

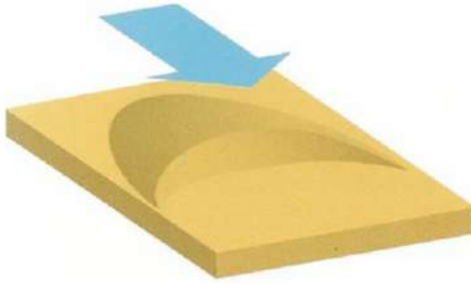
❖ **ثالثاً** : الخصائص الطبوغرافية، تتضمن الأماكن ذات الطبيعة الخاصة من القشرة الأرضية والمهيئة لحركة الرمال و استقرارها في المناطق المنخفضة، حول بقايا صخرية أو في وجود الأعشاب والشجيرات، تمهيدا لتكوين الكثيب عندما تقل سرعة الرياح [11].

I-3-4) أنماط الكثبان الرملية

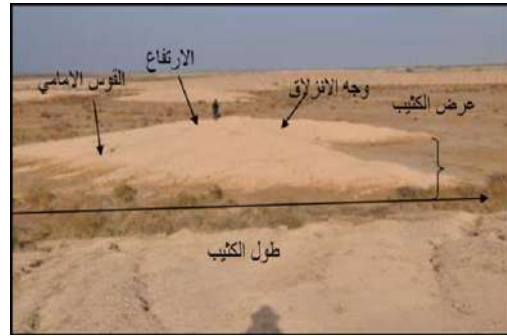
إن العوامل البيئية التي تعمل على ترسيب الرمال، خاصة سرعة واتجاه الرياح، القرب أو البعد من مصدر الرمال، حالة الغطاء النباتي ووجود الحواجز الطبيعية من صخور وبقايا النباتات، تحدد الشكل الهندسي العام للكثبان الرملية. نميز ثلاث أنماط :

I-3-4-1) كثبان ناتجة عن اتجاه واحد للرياح

❖ **الكثبان الهلالية (البرخان) :** البرخان كلمة تركية تعني الكثيب المتحرك، تتخذ شكلا هلاليا، يكون الجانب المواجه للرياح مقوسا و ذو درجة انحدار قليلة، في حين يكون الجانب الآخر مقعرا و شديد الانحدار، ينتهي الكثيب بطرفين متباعدين بمسافة تمثل عرض الكثيب، يشترط هبوب رياح منتظمة ثابتة باتجاه واحد طول الوقت، تتقدم تلك الكثبان مع حركة الرياح التي تقوم بإلقاء الحبيبات الرملية من فوق الكثيب نحو الجانب المعاكس لها. ينشأ هذا النمط من الكثبان عند وجود مصدر محدود للرمال [15].



(ب)



(أ)

الشكل (I-16) : صورة لكثيب هلاللي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي [14, 16].

❖ **الكثبان العرضية :** يكون امتدادها العام عموديا مع اتجاه الرياح السائدة في المنطقة، تنشأ من

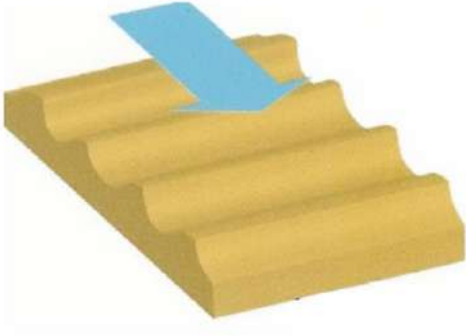
رياح معتدلة في سرعتها، تمب في اتجاه واحد، يتصف جانبها المواجه للرياح بأنه ذو درجة انحدار

قليلة في حين تزداد شدة الانحدار على الجانب المعاكس للرياح، تمتد بعض الكثبان المستعرضة

بصورة مستمرة لمسافات طويلة [15].

يمكن أن تتحول هذه الكثبان في المناطق التي لا يكون وجود الرمل فيها كافيا إلى تلال هلالية بما يعرف

بكثبان البرخان، تنشأ عند وجود وفرة في الرمال.



(ب)



(أ)

الشكل (I-18) : صورة لكثيب عرضي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي [17, 14].

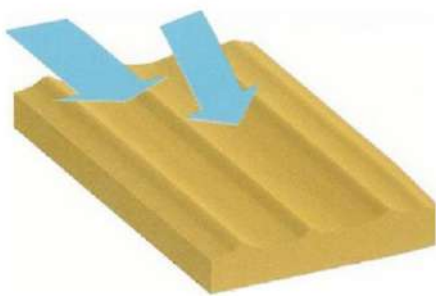
I-3-4-2) كثبان ناتجة عن اتجاهين للرياح

الكثبان الطولية (السيفية) : تمتد بشكل سلاسل من الرواسب الرملية بصورة موازية للاتجاه العام

للرياح السائدة وتسير هذه في بعض الأحيان بصورة متصلة لمسافة تصل لعدة مئات من الكيلومترات، وقد

أظهرت الدراسات أن هذه الكثبان تنشأ في المناطق التي توجد فيها تيارات هوائية متجاورة قوية حيث

تتناقص سرعة التيارين كليهما على الجوانب مما يؤدي إلى إلقاء الرواسب الرملية التي تحملها [18].



(ب)



(أ)

الشكل (I-19) : صورة لكثيب طولي، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي [18, 14].

I-3-4-3) كثبان ناتجة عن رياح متعددة الاتجاهات

الكثبان النجمية : هي عبارة عن كثبان رملية لها العديد من الأوجه المنحرفة نتيجة تعرضها لهبوب

الرياح على الكثيب من عدة اتجاهات مختلفة، عادة ما يكون لها قمة عالية في الوسط وعدد من الأذرع

الجانبية وهي تشبه النجمة [18].



(ب)



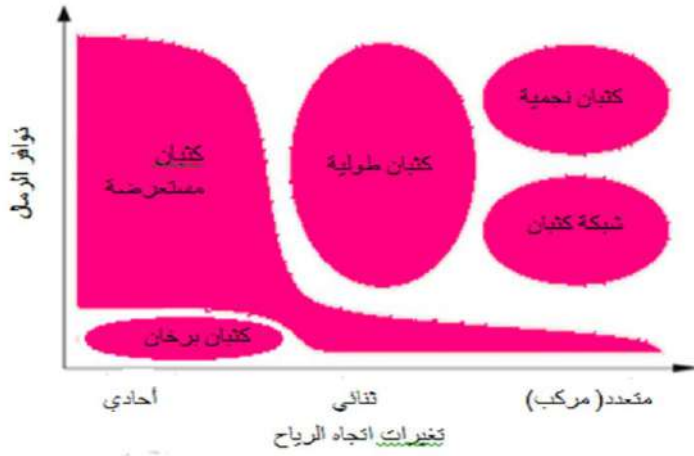
(أ)

الشكل (I-20) : صورة للكثبان النجمية، (أ) صورة حقيقية، (ب) رسم توضيحي [14, 18].

بما أن العوامل الأولية تعتبر على نطاق واسع تقلبات الرياح وتوافر الرمال (الشكل (I-21))،

يبين اعتماد أنواع الكثبان الرملية على هذين العاملين ليفينغستون و وارن (1996). في هذا الرسم البياني

:



الشكل (I-21) : العلاقة بين نوع الكثبان الرملية وتغير اتجاه الرياح وتوفر الرمال بياناً [8] .

يتم تمثيل تقلبات الرياح السنوية باستخدام عدة أنظمة وفقاً لتوزيع اتجاه الرياح السائدة مثلاً وردة الرياح والتي سوف نحاول التفصيل فيها أكثر في الفصل الثالث، تعتبر الرياح ذات اتجاه واحد إذا كانت تهب باستمرار حيث يكون التباين في الاتجاه أقل من 45° خلال العام، أما إذا كان في حدود $45-90^\circ$ [يعتبر نظام ثنائي أي اتجاهين سائدين للرياح . يمكن أن يكون النظام أكثر تعقيداً حيث توزيع الرياح له أكثر من وضعين سائدين أو ليس له أوضاع مميزة يسمى في هذه الحالة متعدد الاتجاه. الكثبان الرملية الهلالية (البرخان) تتطور في ظل ظروف رياح أحادية الاتجاه عندما يكون الامداد بالرمل محدوداً، بينما تتطور الكثبان النجمية في ظروف الرياح المعقدة عندما يكون امداد الرمل وفيراً، تتشكل الكثبان المستعرضة في الغالب تحت ظروف رياح أحادية الاتجاه، بينما الكثبان الطولية تتشكل تحت ظروف رياح ثنائية الاتجاه [8].

4-1) النماذج النظرية لحركة الكثبان

من أجل دراسة الكثبان الرملية خاصة بما يتعلق بمورفوديناميكيتها اقترحت عدة نماذج رياضية،

أهمها :

I-4-1) النموذج المستمر

اقترح من قبل عدة علماء من بينهم أندريوتي، وروي (2002) و هارسن (2004)، هو نموذج

يفيد في وصف دراسة حالة الاستقرار و اللاستقرار للكثبان الرملية [19].

I-4-2) النموذج المتقطع

اقترح هذا النموذج من طرف تيسيموري، أوننتشي (1993) ونارتو (2006) و آخرون، كفكرة

جديدة ولأول مرة لدراسة ديناميكية الكثبان الرملية [19].

I-4-3) النموذج المتناوب

هذا النموذج قدمه كل من كاتسوكي و آخرون (2005) نيبا (2010)، لدراسة الحركة و

الاستقرار في آن واحد للكثبان الرملية، هذا النموذج يناسب دراستنا المعتمدة في هذا العمل. حيث يمكن

في هذا النموذج دراسة كثبان من نوع البرخان ومعرفة تأثير هذه البرخانات على بعضها البعض [19].

5-1) الدراسة النظرية للبرخان

بشكل عام لا يزال هناك نقص كبير في معرفة ميكانيزمات التدفق (نقل الرمال وترسبها)، التي

تعتبر مهمة جدا لفهم ديناميكية الكثبان الرملية [20]. من هنا كان بناء نماذج عددية لمحاكاة سلوك

الكثبان الرملية وحقول الكثبان الرملية، في ظل ظروف جوية متنوعة وظروف السطح مهما من أجل التنبؤ بتطورها على المدى الطويل. يمكن أن تلعب المحاكاة الحاسوبية دورًا مهمًا في فهم ديناميكية الكثبان الرملية، في هذا الصدد تم إجراء القليل من الدراسات حتى الآن، والتي تقتصر على أنواع موجودة بشكل أساسي في حالات بسيطة [20].

كثبان البرخان صغيرة نسبيًا ومعزولة، يمكنها أن تهاجر لمسافات كبيرة في اتجاه الرياح دون تغيير كبير في شكلها وحجمها، حيث تنتقل حبيبات الرمل الموجودة على الوجه المقابل للرياح وترسب على الجانب المظاهر، سرعة انتقال البرخان مرتبطة بمعدل انتقال حبيبات الرمل فوق القمة ويتناسب عكسيًا مع الارتفاع. أظهر باجنولد 1941 أن سرعة انتقال البرخان هي :

$$V_m = \frac{Q_c}{\rho_b h_c} \quad (1-I)$$

حيث Q_c هو تدفق حبيبات الرمل فوق القمة، و ρ_b هي الكثافة الظاهرية لحبيبات الرمل، h_c ارتفاع البرخان.

تظهر النتائج أن البرخان يمكنه ان يتقدم بسرعة بين 5 إلى 30 متر في السنة $m y^{-1}$ عندما يكون إمداد الرمال كافيًا، يمكن للبرخانات الفردية ان تترابط وتشكل سلسلة من التلال المتوازية المتموجة والمتعامدة مع الاتجاه السائد للرياح لتشكل كثبان الرملية المستعرضة عندما يكون الامداد بالرمل كبيرًا بما فيه الكفاية.

وجد باجنولد [8]، أن سرعة انتقال الكثبان الرملية المستعرضة تتناسب عكسًا مع ارتفاعها h_c حسب المعادلة (1-I). تم تأكيد هذه العلاقة العكسية من خلال العديد من الدراسات اللاحقة (مثل كوك وآخرون سنة 1993) [8]. حيث نميز حالتين للدراسة البرخان :

1-5-I) دراسة البرخان المعزول

يمكن اشتقاق المعادلة (1-I) بسهولة للكثبان المعزولة في حالة الاستقرار، ولكنها تتطلب بعض التعديلات في حالة الكثبان غير المستقرة، أو في حالة الكثبان المستقرة في حقل من الكثبان الرملية. تظهر التجربة أنه في ظل ظروف معينة من إمدادات الرياح والرمال، يمكن أن تهاجر الكثبان البركانية في حالة مستقرة، أي أنها تهاجر في اتجاه الرياح دون تغيير شكلها وحجمها (الكتلة محفوظة). هذا يعني أن مورفوديناميكية البرخان في حالة مستقرة، تهاجر الكثبان الرملية بسرعة موحدة V_m في الاتجاه x .

بالنسبة لعمود رمل عشوائي لمنطقة القاعدة (لوحة مساحة) للكثيب رملي، يخضع لقانون

الحفاظ الكتلة $\rho_b dh/dt = 0$ ، ويترتب على ذلك المعادلة التالية :

$$\frac{\partial \rho_b h}{\partial t} + V_m \frac{\partial \rho_b h}{\partial x} = 0 \quad (2-I)$$

حيث ρ_b هي الكثافة الظاهرية للرمال و h هو ارتفاع العمود الرملي.

إذا فرضنا هنا أن جميع حبيبات الرمل التي انتقلت إلى الوجه المقابل للرياح تتسبب على الوجه

المظاهر، و أن V_m سرعة الكثيب منتظمة، وبفرض عدم وجود مصدر للرمال أو مصيدة، يمكن كتابة

معادلة الاستمرارية لحبيبات الرمل على النحو التالي :

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad (3-I)$$

حيث q_x و q_z هي تدفقات الحبيبات القافزة في اتجاه x و z على التوالي.

بتكامل المعادلة (3-I) وفق z من سطح الكثيب الرملي إلى مالا نهاية يعطي :

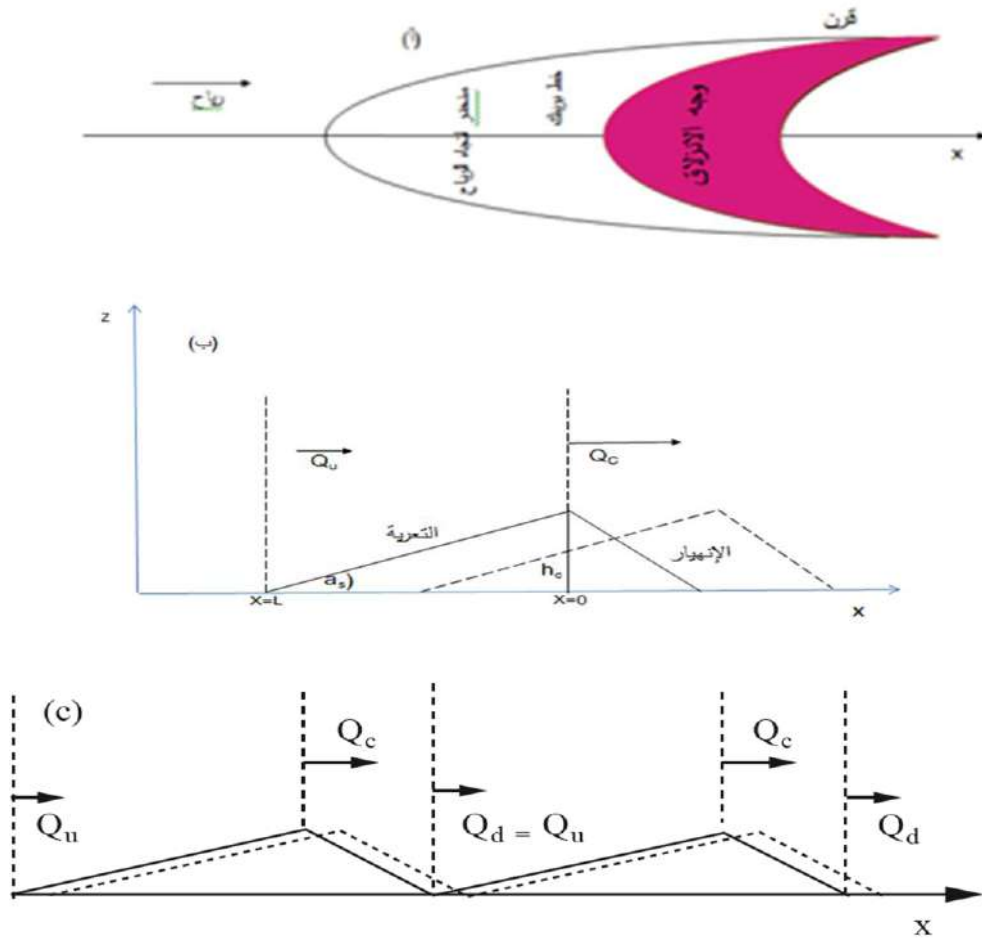
$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q_e = 0 \quad (4-I)$$

حيث :

q_e : هو تدفق الرمل العمودي على سطح الكثبان الرملية (معامل التآكل او التعرية).

و Q : هو تكامل تدفق الرمل العمودي.

الشكل أدناه (22-I) رسم تخطيطي يوضح التدفقات أثناء هجرة الكثبان الرملية :



الشكل (22 -I) : رسم تخطيطي لهجرة الكثبان الرملية. [8] .

حيث : (أ) تكوين الكثبان الرملية ؛ (ب) الكثبان الرملية على طول خط الوسط؛ (ج) النقل الرمي فوق

الكثبان العرضية

إذا تباعدت Q عن X، يكون q_e موجبًا، ثم يحدث التآكل وينخفض سطح الكثيب الرملي

والعكس صحيح. ومنه

$$q_e = -\frac{\partial \rho_b h}{\partial t} \quad (5-I)$$

استبدال المعادلتين (4-I) و (5-I) إلى (2-I) يعطي :

$$V_m \frac{\partial \rho_b h}{\partial x} = \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (6-I)$$

التكامل على x من $x = -L$ إلى $x = 0$ (قمة) يعطي :

$$V_m = \frac{Q_c - Q_u}{\rho_b h_c} \quad (7-I)$$

حيث :

Q_u : هو تدفق حبيبات الرمل من المنبع.

بالنسبة للكثبان الرملية المعزولة $Q_u = 0$ ، حيث تنقلص المعادلة أعلاه إلى المعادلة (1-I).

ملاحظة مثيرة للاهتمام من المعادلة (6-I) تكامل التدفق الرملي العمودي في أي نقطة x

يخضع ل :

$$Q(x) = Q_u + \rho_b V_m \tan(a_s)(x + L) \quad (8-I)$$

هذا يعني أن $Q(x)$ يزداد خطيا وفق x، هذه الزيادة متناسبة مع V_m وميلان المنحدر نحو الرياح

$\tan(a_s)$ ، كما يتبين من المعادلة (4-I) أن q_e هو ثابت مستقل عن x ويرتبط مع V_m ب :

$$q_e = \rho_b V_m \tan(a_s) \quad (9-I)$$

I-5-2) دراسة البرخان في حقل من الكثبان

في حقل من الكثبان الرملية Q_u بشكل عام لا يساوي الصفر، ومنه الكثيب إذا كان في حالة

استقرار، تكون Q_u مساوية لـ Q_d ، وتنتقل الرمال باتجاه المصب أي :

$$Q_u = Q_d$$

كما هو موضح في الشكل (I-22-c) و Q_u و Q_d يمكن أن تكون مرتبطة بـ Q_c (معامل

الجودة) من خلال إدخال معامل الالتقاط الرملي T_e ، بينما يتم انتقال حبيبات الرمل عبر قمة الكثيب،

يترسب جزء منها على الوجه المظاهر. حسب التعريف معامل الالتقاط T_e هو نسبة كمية الرمال

المترسبة الى تلك المنقولة على القمة، ومنه نستنتج :

$$Q_d = Q_u = Q_c(1 - T_e) \quad (10-I)$$

إذا يجب التعبير عن سرعة انتقال الكثبان الرملية في حقل الكثبان الرملية على أنها :

$$V_m = \frac{T_e Q_c}{\rho_b h_c} \quad (11-I)$$

بما أن T_e محصور بين صفر 0 وواحد 1، فإن الكثيب الرملي في حقل الكثبان الرملية يهاجر بسرعة أقل

من الكثيب الرملي المعزول، يحدث هذا بسبب تباطؤ معدل التعرية الريحية على الوجه المقابل للرياح،

بسبب ترسب الرمال الزائدة و المستقبلية من المنبع [8].

يرتبط معامل الالتقاط الرملي T_e بحركة حبيبات الرمل، تشير القياسات الميدانية للكثبان ذات

الأحجام المختلفة و نسب الأبعاد المختلفة، إلى أن حبيبات الرمل التي يتم نفضها في القمة تقع بشكل عام

على الوجه المظاهر، على مسافة قصيرة من القمة (عدة أمتار). ينخفض معدل سقوط حبيبات الرمل

بشكل كبير مع المسافة من القمة، حيث تظهر الدراسات التي قام بها نيكلينج و اخرين (2002) و

أندرسون (1988) [8] حول مسارات حبيبات الرمل التي يتم رفعها إلى القمة، أن T_e يمكن التعبير عنه كدالة لسرعة الاحتكاك في قمة الكثيب u_c^* ، ارتفاع الكثيب h_c و حجم حبيبات الرمل d [8] اذا:

$$T_e = f(u_c^*, h_c, d)$$

في الفصل الموالي سنحاول التفصيل أكثر في الحسابات المتعلقة بمعامل الالتقاط الرملي.

الفصل الثاني :

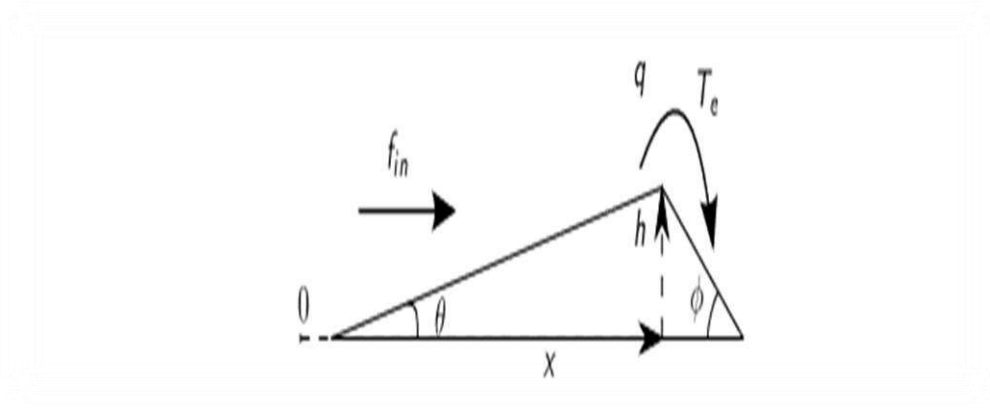
معامل الالتقاط و الاستقرار الخطي للبرخان

1-II) مقدمة

الكثبان الرملية في حركة مستمرة، ما يخلق هذه الحركة هو توفر عامل الرياح و هو أساس تكوينها، فبعد ما تعرفنا على مفهوم حركة الكثيب واستقراره في الفصل الاول، نقوم الان بدراسة اكثر تفصيل للكثيب الرملي، حيث سيتم ترجمة الحركة العيانية الى معادلات رياضية. من خلال التطرق للمعاملات المميزة لمورفوديناميكية الكثيب الرملي، من اهم هذه المعاملات معامل الالتقاط.

2-II) معامل الالتقاط لكثيب رملي

لدراسة الكثبان الرملية ومعرفة التغيرات التي تطرأ عليها، تم اقتراح نموذج من قبل العالم نيبا واخرون (2010)، حيث تم اعتبار ان مقطع من الكثيب الرملي في اتجاه التدفق له شكل مثلث، ومنحدرات الوجه المقابل و الوجه المظاهر ثابتة وتميز بزوايا θ للوجه المقابل و ϕ للوجه المظاهر، ثم يتم تحديد موضع للقمة X و ارتفاع h حيث يوصف الكثيب بالمتغيرين المستمرين $x(y.t)$ و $h(y.t)$ ، مع y الموضع الجانبي لهذا الجزء و t الزمن. وهذا موضح في الشكل (1-II) [19] :



الشكل (1-II) : رسم تخطيطي لمقطع من الكثبان المعرضة لتدفق الرواسب من المنبع [19].

حيث :

θ : إنحدار (زاوية) وجه التيار، أو الزاوية المواجهة للرياح.

ϕ : وجه الانهيار، أو الزاوية المظاهرة للرياح.

q : تدفق الرواسب في قمة الكثيب.

T_e : معامل التقاط الرواسب.

h : ارتفاع الكثيب.

توضع قمة الكثيب في اتجاه تدفق x وعلى ارتفاع h .

II-2-1) شروط التدفق

إن تدفق الرمال من أعلى قمة الكثيب له علاقة مباشرة بسرعة و اتجاه الرياح وخصائص الوجه المقابل، حسب دراسات سابقة قام بها جاكسون و هانت (1975)[19]، يعطى تدفق الرمال من أعلى قمة الكثيب بالعلاقة التالية :

$$q = q_{sat}(1 + \beta \tan \theta) \quad (1-II)$$

في نماذج أخرى تؤخذ فقط فرضية ثبات إنحدار الجانب المواجه للرياح، و أن التدفق على قمة الكثيب q لا يتعلق بحبيبات الرمل و لا بسرعة قص الرياح على السطح المستوي على الجانب المواجه للرياح و لا بارتفاع الكثيب.

حيث q_{sat} كمية الرمال المتدفقة في الحالة المشبعة للسطح أفقيا و لها علاقة مباشرة بالقيمة الحرجة لنقطة تحرك حبيبة الرمل، تعطى بهذه العلاقة :

$$q_{sat} = Q_0 (sh_0 - sh_c) \quad (2-II)$$

Sh_0 عدد شيلدز الموافقة للتدفق على السطح الاملس مستوي.

Sh_c عدد شيلدز لعتبة الحركة للوسط الحبيبي على السطح.

Q_0 هو التدفق الكلي للرواسب.

في نموذجنا نفرض أن انحدار الوجه المقابل ثابت، اذا التدفق عند القمة q لا يتعلق إلا

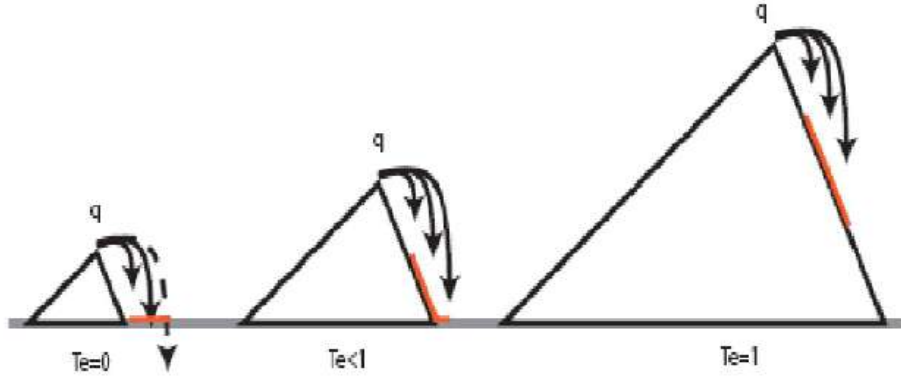
بخصائص الوسط الحبيبي و سرعة القص على سطح مستوي و لا تتعلق بارتفاع الكثيب [19].

II-2-2) مفهوم معامل الالتقاط.

كمية الرواسب التي تتمكن من الوصول الى اعلى قمة الكثيب و التي من الممكن ان تسقط في المصب في حالة تجاوزها للقمة، فعالية هذا المصب في اصطیاد الرواسب العابرة لقمة الكثيب تعرف بمعامل التقاط الكثيب T_e حيث :

❖ $T_e = 1$: جميع الرواسب تتراكم فوق الكثبان الرملية و تحاصر في وجه المصب (الوجه المظاهر).

❖ $T_e = 0$: الرواسب غير محاصرة وتترك الكثبان الرملية.



الشكل (II-2) : علاقة قيمة التقاط الكثيب مع ارتفاعه من اجل نفس سرعة القص ونفس تدفق الترسيب على

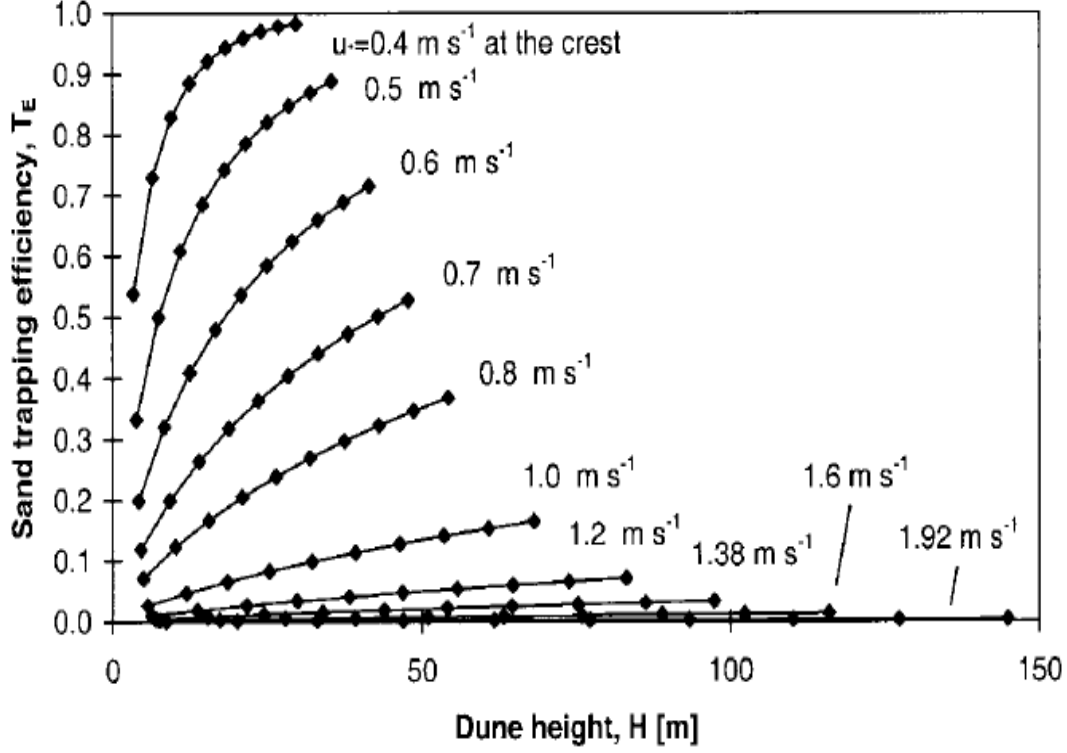
القمة [19].

بين موميجي و وارن (2000) أن معدل الالتقاط يعتمد على سرعة الرياح على الجانب العلوي

من الكثبان الرملية وارتفاع الكثيب. مستخدما نموذج أندرسون (1988) الذي يدرس ترسب حبة رمل

على وجه الانزلاق على مقياس الحبيبات، لاستنتاج تعبير تحليلي لمعدل الالتقاط، تظهر الحسابات العددية

أن معدل الالتقاط يزداد بسرعة مع ارتفاع الكثيب h [19].



الشكل (II -3) : معامل التقاط الرواسب على الوجه المظاهر T_e كدالة لارتفاع الكتيب h لمعدلات سرعة القص

المختلفة u في الجزء العلوي من الكتيب، حسب موميجي و وارن (2000) [19].

التعبيرات المختلفة لمعدل الالتقاط كدالة لارتفاع الكتيب، يمكن أن تقدم (الشكل II-3)). في نموذج

الكتبان الذي طوره العالم نيبا وآخرون (2010 ، 2012 ، 2013) ، يتم التعبير عن معامل الالتقاط

T_e بالعلاقة :

$$T_e(h) = \frac{h}{h_c+h} \quad (3 - II)$$

حيث h_c هو ارتفاع حرج يميز ارتفاع الكتبان الرملية التي يبدأ منها معدل الالتقاط بالتشبع [19].

تبرز حالتان حدوديتان:

• للارتفاعات المنخفضة:

$$T_e(h)_{h_{\text{petit}}} \approx \frac{h}{h_c} = 0 \quad (4 - \text{II})$$

• للارتفاعات الكبيرة:

$$T_e(h)_{h_{\text{grand}}} \approx 1 \quad (5 - \text{II})$$

من هذه العلاقة التحليلية يمكن استخدام قيمتين حديتين لتعبير عن العلاقتين الخطيتين السابقتين، وذلك بإجراء التجزئة على الشكل التالي :

$$T_e = 1, \forall h > h_c \quad (\text{a-6} - \text{II})$$

$$T_e = \frac{h}{h_c}, \forall h < h_c \quad (\text{b-6} - \text{II})$$

من خلال دراسة العلاقة التحليلية لمعامل الالتقاط و انطلاقا من العلاقة :

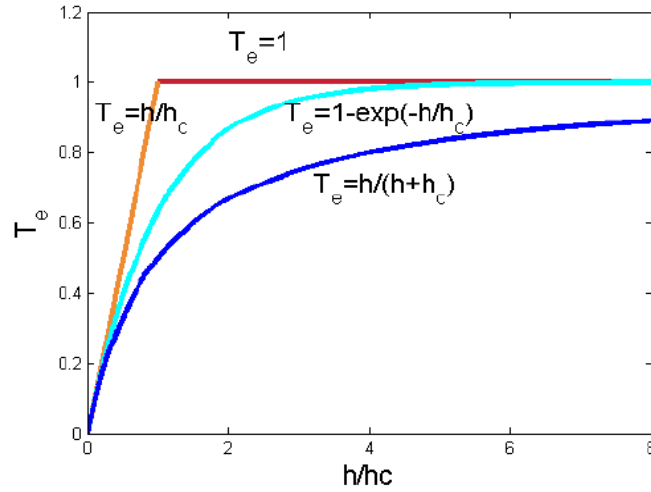
$$T_e(h) = \frac{h}{h_c + h} \quad (3 - \text{II})$$

و القيمتين

$$T_e = 1, \forall h > h_c \quad (\text{a-6} - \text{II})$$

$$T_e = \frac{h}{h_c}, \forall h < h_c \quad (\text{b-6} - \text{II})$$

و من خلال ما سبق نتحصل على المخطط البياني التالي :



الشكل (4-II) : العلاقات المختلفة لمعامل الالتقاط الرملي لكثيب بدلالة الارتفاع h و الارتفاع الحرج h_c [19].

ينخفض معدل الالتقاط مع سرعة القص في الأعلى، و بالتالي مع التدفق في الجزء العلوي من

الكثبان الرملية. نتوقع أيضاً أن ينخفض معدل الالتقاط T_e مع ارتفاع الكثبان الرملية، عندما يعتمد

منحدر المنبع على ارتفاع الكثبان الرملية.

في القسم الخاص بدراسة الاستقرار الخطي للكثبان الرملية، يؤخذ معامل الالتقاط كدالة عشوائية متعلقة

بالارتفاع [19].

3-II النقل الجانبي ودراسة الاستقرار

يحدث نوع آخر من نقل الرواسب على الكثبان الرملية ؛ لوحظ انتقال الرواسب الجانبية على

وجه الكثيب العلوي و السفلي في آن واحد، و ذلك نتيجة إلى نمط اضائي من التدفقات يرمز لها بـ: J_u و

J_d ، التي تعتمد على التدرجات في الارتفاعات المحلية و انحاء الكثبان، تعرف هذه التدفقات بالتدفقات

الجانبية.

بالاعتماد على نتائج فرضيات العالم نيبا وآخرون (2010)، التدفقات الجانبية متناسبة مع الفرق في

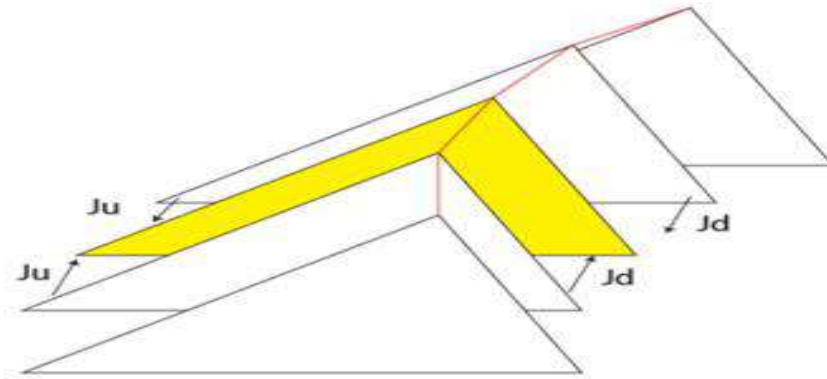
الارتفاعات (الانحدارات المتجاورة)، تعطى قيمة هذه التيارات المتجاورة بالعلاقة التالية :

$$J_u = \frac{B}{A} D_u \left(-h \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{A}{B} h \frac{\partial x}{\partial y} \right) \quad (\text{a-7-II})$$

$$J_d = \frac{C}{A} D_d \left(-h \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{A}{C} h \frac{\partial x}{\partial y} \right) \quad (\text{b-7-II})$$

A، B و C هي ثوابت هندسية تعتمد على θ و ϕ و يتم الحصول عليها بواسطة :

$$A = \frac{\tan \theta \tan \phi}{\tan \theta + \tan \phi} \quad B = \frac{\tan \phi}{\tan \theta + \tan \phi} \quad C = \frac{\tan \theta}{\tan \theta + \tan \phi} \quad (8 - \text{II})$$



الشكل (II-5) : نموذج يوضح تدفق الرواسب الجانبية على جزء من الكتيب [19].

II-3-1) معادلات الانحفاظ

بفضل المقادير المختلفة المحددة أعلاه، يدرس التوازن المادي في جزء من الكتيب الرملي الذي

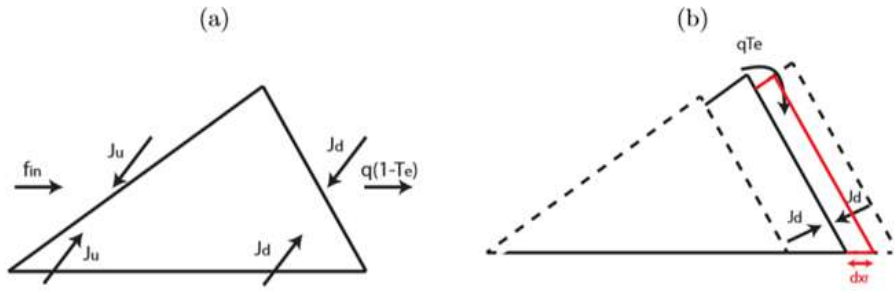
تحدد قمته بالإحداثيات x و h خلال زمن dt.

حصيلة تبادل الكتلة في جزء من الكتيب النسبة للوجه السفلي للرياح يؤدي على التوالي إلى المعادلات :

$$dS = f_{in} dt - (1 - T_e)qdt + \left(\frac{\partial J_d}{\partial y} + \frac{\partial J_d}{\partial y} \right) dt \quad (9 - II)$$

$$T_e qdt + \frac{\partial J_d}{\partial y} dt = h dx_f \quad (10 - II)$$

ويتضح هذا في الشكل التالي :



الشكل (6-II) : رسم تخطيطي لتبادلات الكتلة لجزء من كتائب رملي في حالة سكون (أ) وعند تقدم الكتيب بخطوة

xf (ب) [19].

حيث :

X_f موضع الخطوة الأمامية للكتبان الرملية.

S مساحة جزء من الكتيب الرملي.

ومن خلال العلاقات الهندسية نجد :

$$dx_f = dx + \frac{C}{A} dh, \quad dS = \frac{hdh}{A} \quad (11 - II)$$

التي تؤدي إلى :

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{1}{h} \left[q(BT_e + C) - Cf_{in} - B \frac{\partial J_d}{\partial y} + C \frac{\partial J_u}{\partial y} \right] \quad (\text{a-12-II})$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{A}{h} \left[f_{in} - (1 - T_e)q - \left(\frac{\partial J_d}{\partial y} + \frac{\partial J_u}{\partial y} \right) \right] \quad (\text{b-12-II})$$

باستبدال المتغيرات في المعادلتين أعلاه بالمتغيرات $\rho \equiv D_d/D_u$ و $\sigma \equiv D_u/q$.

نحصل على نظام معادلات لا بعدية تفسر ظاهرة انتشار الرواسب التي تتحكم في تدفق حبيبات الرمل في أعلى الكثبان الرملية، حيث ρ معامل مقارنة لشدة التدفقات الجانبية.

من خلال معادلات الموضع (a-12-II، b-12-II) و معادلات التدفقات (a-7-II،

b-7-II) نحصل على نظام من معادلتين مختلفتين من الدرجة الأولى، يمكن كتابتها على الشكل

المصفوفي التالي :

$$h \partial_t X = (f_{in} - q)G_1 + qT_e G_2 + \sigma q M_0 \partial_y (h \partial_y X) \quad (\text{a-13-II})$$

حيث X ، G_1 و G_2 هي المتجهات (الأشعة)، أين :

$$X = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}, G_1 = \begin{pmatrix} -C \\ A \end{pmatrix}, G_2 = \begin{pmatrix} B \\ A \end{pmatrix}$$

و M_0 المصفوفة

$$M_0 = \begin{pmatrix} C + B\rho & \frac{BC}{A}(\rho - 1) \\ A(\rho - 1) & B + C\rho \end{pmatrix}$$

II-3-2) دراسة الاستقرار الخطي

نهتم في هذا الجزء بدراسة استقرار الكثبان الرملية من نوع البرخان، حيث نسعى هنا لتحديد كيف يمكن للمقادير الفيزيائية التي تصف الكثيب أن تؤثر على استقرار الكثيب. أي احتفاظه بشكله العام. فدراسة الاستقرار الخطي هو أداة رياضية للتنبؤ باستقرار هدف تحكمه معادلات غير خطية.

الخطوة الأولى : هي تحديد الحالة المرجعية، هنا الكثبان الرملية البرخانية ذات الشكل الهلالي، ونمط الرياح السائدة في اتجاه واحد.

الخطوة الثانية : يتم إدخال هذه الحالة المرجعية بأسلوب السعة المنخفضة بشعاع الموجة المكانية k . يتم ادخال المتغيرات الجديدة في المعادلات التي تحكم النظام حيث نحصل على معادلات مضطربة.

طلما أن السعة صغيرة، العلاقات غير الخطية تهمل مقارنة بالعلاقات الخطية. بموجب هذا الافتراض، يتم حساب معدل تزايد النبض ω للنمط k ، وبالتالي نحصل على معادلة التشتت $\omega(k)$. إن دراسة علاقة التشتت لعدد من الموجات يجعل من الممكن استنتاج استقرار الكثبان الرملية.

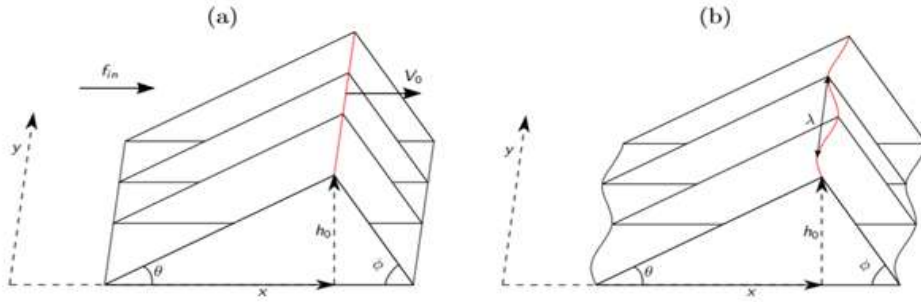
في البيئة، قد يتأثر (يختل) النظام بالضوضاء. في حالة الكثبان الرملية، يمكن أن يكون هذا الضجيج على سبيل المثال بسبب الاختلافات في الرياح (الاضطراب) أو في حجم الحبيبات. يمكن أن يتكون الضجيج من طيف موجي مستمر أو متقطع. في التحليل الخطي، سوف يعمل كل طول موجي منفصلاً عن الآخر. إذا كانت وضعية واحدة على الأقل لديها تردد إيجابي، إذا هنا كتزايد للاضطراب في عدد الموجات و منه تكون الكثبان غير مستقرة.

أما في حالة مجموعة من الترددات الايجابية، تكون الكتبان الرملية غير مستقرة، التي تصف الحالة الواقعية للكتبان، حيث أن أعلى تردد يمثل معدل النمو الأسرع. وهكذا، طالما ظل افتراض السعة المنخفضة للاضطراب صالحًا، التقريب الخطي صحيح، وهو الوضع الذي يتغير به معدل النمو الأقصى للكتيب.

عندما يصبح الاضطراب كبيرًا، لم يعد افتراض السعة المنخفضة صالحًا ويجب عندئذٍ مراعاة الملاحظة لوصف تطور النظام [19].

(أ) الحل المتجانس

نبحث الآن عن حل على شكل كتبان ذات ارتفاع ثابت h_0 والتي تتقدم بسرعة ثابتة V_0 تحت تأثير تدفق رواسب ثابت، ومنتظم f_{in} (الشكل (a-7-II)).



الشكل (7-II): رسم تخطيطي لبرخانات في حقل كتبان عرضية مستقيمة بارتفاع h_0 الذي يتقدم بسرعة V_0 (a) ومن نفس الكتبان الرملية التي يكون موضع القمة فيها عرضة للاضطراب طول الموجة $\lambda = 2\pi/k$ (b) [19].

$$x_0 = V_0 t h = h_0 \quad (14-II)$$

بالتعويض في المعادلتين (a-12-II) و (b-12-II) نحصل على حل متجانس من الشكل :

$$V_0 = qT_e(h_0)/h_0 \quad (15-II)$$

$$f_{in} = q(1 - T_e(h_0)) \quad (16-II)$$

وتجدر الإشارة إلى أن تدفق الرواسب الداخلة الضروري لتوازن الكتلان الرملية يعتمد على كفاءة معامل الالتقاط على الوجه المظاهر.

(ب) مناقشة الاستقرار الخطي :

نضيف إلى الحل المتجانس الذي تم إيجاده سابقاً اضطرابات ذات سعة منخفضة، X_1 على موقعه و h_1 على ارتفاعه:

$$x(y, t) = x_0(t) + x_1(y, t), \quad h(y, t) = h_0 + h_1(y, t) \quad (17-II)$$

يتم إجراء التقريب الخطي التالي:

$$T_e(h) = T_e(h_0) + h_1(y, t)T'_e(h_0) \quad (18-II)$$

أو

$$T'_e(h_0) = \left. \frac{dT_e}{dh} \right|_{h_0} \quad (19-II)$$

ونلاحظ:

$$\delta = \frac{h_0 T'_e(h_0)}{T_e(h_0)} \quad (20-II)$$

بالمحافظة على الشروط الرياضية لكل من x_1 و h_1 ، يمكن اختزال النظام (a-13-II) إلى النظام التالي :

$$h_0 \partial_t X_1 + h_1 G_{V_0} = \frac{q}{h_0} \delta T_e(h_0) h_1 G_2 + q h_0 \sigma M_0 \partial_y^2 X_1 \quad (21-II)$$

مع

$$X_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ h_1 \end{pmatrix}, \quad G_{V_0} = \begin{pmatrix} V_0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (22-II)$$

الخطوة التالية في تحليل الاستقرار الخطي هي افتراض هذا الاضطراب الجيبي من الشكل التالي :

$$x_1 = x_{10} e^{\omega t + iky} + c.c. \quad h_1 = h_{10} e^{\omega t + iky} + c.c. \quad (23-II)$$

x_{10} و h_{10} هي سعة الاضطرابات، من المفترض أن تكون صغيرة بشكل لا نهائي. ω هو نبض الاضطراب و k شعاع الموجة المصاحب (الشكل II-7-b).

يشير الترميز "C.C." إلى أنه يجب إضافة حد مرافق في المعادلة للحصول على نتيجة في المساحة الحقيقية.

بتعويض المعادلات في النظام السابق، نحصل على النظام التالي:

$$\begin{pmatrix} \omega \frac{h_0^2}{q} + h_0^2 k^2 \sigma (C + B\rho) & T_e(h_0) - B \delta T_e(h_0) + \frac{BC}{A} h_0^2 k^2 \sigma (\rho - 1) \\ h_0^2 k^2 \sigma A (\rho - 1) & \omega \frac{h_0^2}{q} - A \delta T_e(h_0) + h_0^2 k^2 \sigma (B + C\rho) \end{pmatrix} X_{10} = 0 \quad (24-II)$$

حتى يكون للنظام حل غير معدوم، يجب أن يكون المحدد مساويا للصفر، ما يؤدي إلى:

$$h_0^2 \omega^2 + q[\sigma(1 + \rho)h_0^2 k^2 - A\delta T_e(h_0)]\omega + Aq^2 \sigma T_e(h_0)[1 - \rho - \delta]k^2 + q^2 h_0^2 \sigma^2 \rho k^4 = 0 \quad (25-II)$$

هذه المعادلة من الدرجة الثانية في ω لها جذران $\omega +$ و $\omega -$:

$$2\omega_{\pm} = A \frac{q}{h_0^2} \delta T_e(h_0) - q(1 + \rho)\sigma k^2 \pm \frac{q}{h_0^2} \sqrt{S} \quad (26-II)$$

حيث

$$S = A^2 \delta^2 T_e(h_0)^2 + \sigma^2 h_0^4 k^4 (\rho - 1)^2 + 2A h_0^2 k^2 \sigma T_e(h_0) (\rho - 1) (2 - \delta)$$

ملاحظة :

في هذا الجزء الذي يعالج تحليل الاستقرار الخطي، اعتبرنا أن دالة معامل الالتقاط بدلالة ارتفاع

الكتبان الرملية $T_e(h)$ كيفية.

المتغير $\delta = \frac{h_0 T_e'(h_0)}{T_e(h_0)}$ هو مقدار التغير في معامل التقاط الكتبان الرملية مع ارتفاعها الأولي. في الحالة

التي تكون فيها T_e دالة عشوائية للارتفاع، δ يمكن أن تأخذ جميع القيم الممكنة بين $-\infty$ و $+\infty$.

ρ و σ نظرا لكونها نسب تدفق الرواسب، فهي موجبة [19].

II-4) دور معامل الالتقاط في الاستقرار الخطي

II-4-1) دور معامل الالتقاط

كما هو معروف أثناء دراسة الكثبان ثنائية الأبعاد التي لا يؤثر فيها الانتشار الجانبي، يؤثر معامل الالتقاط على استقرار الكثيب من خلال مشتقه بالنسبة إلى ارتفاع الكثبان. عندما يزيد معامل التقاط الرواسب مع ارتفاع الكثبان الرملية، سوف تتمكن الكثبان المتنامية من التقاط المزيد من الرواسب وبالتالي تستمر في النمو. على العكس، عندما ينخفض معامل التقاط الرواسب مع ارتفاع الكثبان الرملية، الكثبان التي يزيد ارتفاعها ستأخذ كمية أقل من الرواسب، مما يؤدي إلى انخفاض ارتفاع الكثبان الرملية [19].

زيادة معامل الالتقاط مع ارتفاع الكثبان هو السلوك الذي توقعه موميجي و وارن (2000).

في هذه الحالة، النموذج يتنبأ بأن كثبان البرخان غير مستقرة.

- $\delta < 0$ هي الحالة الواقعية لتدفق الرياح.
- $\delta < \rho - 1$ في هذه الحالة كثبان البرخان مستقرة خطياً.
- $0 = \delta$ هي حالة أخرى يمكن أن تكون فيها كثبان البرخان مستقرة عندما لا يعتمد معامل الالتقاط على ارتفاع الكثبان الرملية. يمكن معالجة هذه الحالة باعتبار معامل التقاط ثابت يساوي 1. هذا الاعتبار هو الأكثر استعمالاً لإظهار عدم استقرار كثبان البرخان بارتلي وآخرون (2011) وميلو وآخرون (2012). الكثبان تكون مستقرة إذا $\rho < 1$ [19].

II-4-2) دور الانتشار الجانبي

انتقال الرواسب الجانبية باتجاه الرياح يززع استقرار الكثيب عموماً. تتنبأ النماذج الرقمية باستقرار الكثبان في حالة الانتشار على الوجه المظاهر أكبر منه على الوجه المقابل. حيث يرتبط الانتشار الجانبي بظواهر مختلفة مثل الانهيارات، القفز....، العمليات التي يمكن أن تكثف نقل الرواسب الجانبية على وجه المقابل مثل الدوامات أو تقلبات في السرعة يمكن ان تتحكم في استقرار الكثبان. كما أن نسبة عوامل الانتشار على الوجهين المقابل والمظاهر هي التي تتحكم في الاستقرار، يمكن للآليات (ميكانيزمات) التي تقلل الانتشار على وجه المظاهر أن تتحكم أيضاً في استقرار الكثبان العرضية كحالة خاصة [19].

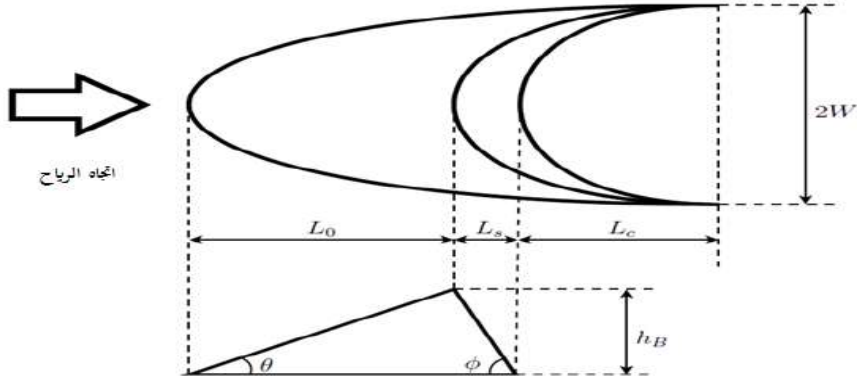
II-4-3) دور زوايا المنبع والمصب (الوجه المقابل والمظاهر بالنسبة للكثيب)

تتمثل إحدى فرضيات النماذج السابقة في افتراض أن زوايا المنحدرات الوجه المقابل والمظاهر ثابتة في الكثبان الرملية. لا تؤثر هذه الزوايا على استقرار الكثبان بصفة عامة. ومع ذلك، إذا كانت هذه الزوايا تعتمد على ارتفاع الكثبان الرملية، لا سيما زاوية الوجه المقابل، فإن دراسة الاستقرار تكون غير صالحة [19].

II-5) دراسة حالة البرخان المعزول

دراسة البرخان المعزول حسب هذا النموذج تسمح لنا بالعثور على نتائج مرصودة ميدانيا ؛ تناسب سرعة الكثبان مع مقلوب ارتفاعها ؛ العلاقة الخطية بين ارتفاع وعرض البرخان؛ كذلك دراسة استقرار البرخان المعزول. هذا النموذج يأخذ بعين الاعتبار فقدان الرواسب على مستوى القرون. الحالة الأكثر واقعية وبداهة حيث الارتفاع الحرج h_c ، التي يفقد منها الكثبان الرواسب، جزء من أقصى ارتفاع

للبرخان. يتم توقع سرعة وعرض الكثبان الرملية بشكل جيد من خلال تقريب الكثبان الرملية الكبيرة بمعدل التقاط Te ثابت. السلوك الوحيد الذي لوحظ على الكثبان الرملية الحقيقية، وهو أمر غير متوقع في حالة الكثبان الرملية الكبيرة، هو عدم استقرار البرخانات المعزولة [19].



الشكل (8-II) : رسم تخطيطي للبرخان [20].

II-5-1 مساهمة البيانات الميدانية

العديد من الدراسات الميدانية على البرخان توفر بيانات مهمة حول مورفولوجيتها. تم دراسة مورفولوجيا البرخان على وجه الخصوص من قبل كورسين ومجموعة من العلماء [19].

لقد بينا في الفقرات السابقة أن شكل البرخان يعتمد على مجموعة من المعاملات الفيزيائية مثل معاملات الانتشار التي تميز النقل الجانبي. في الفقرات الموالية، سنبين أن المعطيات المورفولوجية للكثيب يمكن أن تعطينا معلومات مهمة حول قيمة هذه المعاملات [19].

II-5-2) العلاقة بين القياسات المورفولوجية وعمليات النقل الجانبي

كما هو موضح في الشكل (II-8)، يمكن استخلاص العديد من القياسات الهندسية من

القياسات الميدانية: ارتفاع الكثبان h_B ، نصف العرض W ، طول وجه المقابل L_0 ، وجه المظاهر L_s ، والقرون L_c .

تتميز الكثبان في الواقع بقدم أمامية مكافئة وقرون بعرض دقيق (متتهي). لذلك يمكننا أن نفترض أن هذه كثبان كبيرة مقارنة بقيمة h_c .

نودجنا يتوقع أن البرخان الكبير ($h_B \gg h_c$) لديها قطع مكافئ :

$$\begin{cases} x(y, t) = k_x y^2 + V_B t \\ h(y, t) = h_B - k_h y^2 \end{cases} \quad (b, a-27-II)$$

مع

$$k_x = \frac{q(BD_u + CD_d)}{4D_d D_u h_B}, \quad k_h = \frac{Aq(D_d - D_u)}{4D_d D_u h_B} \quad (28-II)$$

من هذه المعادلات، D_d و D_u يمكن التعبير عنها كدالة للانحناءات :

$$D_u = \frac{Aq}{4h_B} \frac{1}{Ak_x + Bk_h}, \quad D_d = \frac{Aq}{4h_B} \frac{1}{Ak_x - Ck_h} \quad (29-II)$$

الانحناءات K_x يعبر عنها كدالة للعوامل المورفولوجية

$$k_x = \frac{L_c + L_s}{W^2}, \quad k_h = \frac{h_B}{W^2} \quad (30-II)$$

وكذلك القيم الهندسية A، B و C :

$$A = \frac{h_B}{L_0+L_S}, \quad B = \frac{L_0}{L_0+L_S}, \quad C = \frac{L_S}{L_0+L_S} \quad (31-II)$$

حيث : L_0 ، L_S ، L_C قياسات هندسية للكثيب ، موضحة في الشكل (8-II).

مما يؤدي إلى التعبير عن العوامل D_u و D_d اعتماداً على العوامل المورفولوجية للكثبان وسرعة هجرتها:

$$D_u = \frac{V_B}{6} \frac{W^2}{L_0+L_C+L_S}, \quad D_d = \frac{V_B}{6} \frac{W^2}{L_C} \quad (32-II)$$

البيانات النظرية التي تدرس العوامل المورفولوجية المشار إليها في الشكل (8-II)، وكذلك سرعة

تقدم الكثبان الرملية، تسمح بحساب عوامل الانتشار. لا يتدخل ارتفاع الكثبان بشكل واضح في هذه

المعادلات، التي تسمح باستخدام بيانات الأقمار الصناعية، حيث يتم الحصول فقط على مناظر جوية

للكثبان في أوقات مختلفة [19].

في بعض الحالات، سرعة هجرة الكثبان غير معروفة بشكل فردي لكل الكثبان الرملية. ومع

ذلك، يمكننا الحصول على تقدير جزئي للتدفق q في أعلى الكثبان الرملية. إذا افترضنا أن هذا التدفق

موحد على حقل الكثبان الرملية، بالتالي يمكن التعبير عنها للكثبان القليلة التي تعرف سرعتها وارتفاعها بـ

$$q = \frac{2}{3} V_B h_B : \text{ لتحديد سرعة كل الكثبان الرملية، نستخدم التعبير التالي :}$$

$$V_B = \frac{3}{2} \frac{q T_e}{h_B} \quad (33-II)$$

في هذه الحالة، معرفة ارتفاع الكثبان أمر ضروري. عندما لا تتوفر بيانات الوقت لتقدير سرعة التقدم أو

التدفق، يمكننا تحديد نسبة العاملين D_u و D_d ، حيث المقدار المعطى لـ ρ هو :

$$\rho = \frac{D_d}{D_u} = \frac{L_0+L_S+L_C}{L_C} \quad (34-II)$$

II-5-3) أهمية اختيار البيانات في منطقة الدراسة

لدراسة البرخان ميدانيا، اخترنا أربعة مواقع موثقة جيدا نسبيا في الجهات الأربعة المحيطة بمدينة ورقلة وهي

كالآتي :

شمالا : نقوسة

جنوبا : قارة كريمة

شرقا : سيدي خويلد

غربا : حوض بركاوي

نتائج الدراسة والمناقشة تمثل محور الفصل القادم.

الفصل الثالث :

تطبيق المحاكاة و النمذجة الرقمية

III-1) مقدمة

تطرقنا في الفصلين السابقين إلى الدراسة النظرية لمورفوديناميكية للكتبان الرملية، خاصة نمط البرخان، حيث تعرفنا خلالها إلى العلاقة الوطيدة بين مورفولوجية الكتيب وسرعة الرياح التي تترجم من خلال حقل تدفق الرواسب، التي يتعرض لها الكتيب أثناء هجرته.

من خلال هذه العلاقة، و في هذا الفصل سنحاول استنتاج بعض العلاقات المرتبطة بسرعة واتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة، من خلال محاكاة لنمط الرياح السائدة في المنطقة عن طريق القياسات الهندسية للكتبان الرملية المتوفرة في نفس المنطقة، حيث اعتبرنا ميدان الدراسة هو مدينة ورقلة، لذلك أخذنا القياسات المتعلقة بمورفولوجية الكتيبان الرملية المتوفرة في الجهات الرئيسية الأربعة، و ذلك من أجل محاكاة وردة الرياح المميزة لمنطقة الدراسة خلال فترة زمنية تقدر بشهر واحد.

III-2) موقع الدراسة

III-2-1) الموقع الجغرافي و الفلكي للمنطقة

تقع مدينة ورقلة في الجنوب الشرقي الجزائري، على خط عرض $31^{\circ} 58'$ شمالا و خط طول $5^{\circ} 20'$ شرقا، على ارتفاع قدره 141 م على مستوى البحر، تبعد عن الجزائر العاصمة حوالي 900 كيلومترا و تبلغ مساحة ولاية ورقلة حوالي 163233 كم² [21].

تحد ولاية ورقلة من الشمال ولاية وادي سوف، ولايتي إيليزي و تمنراست من الجنوب، ولاية غرداية غربا، ومن الشرق تونس الخضراء الشكل (III-1) [22].

III-2-2) مناخ المنطقة

مناخ منطقة ورقلة صحراوي جاف، يتميز بما يلي :

❖ درجة الحرارة

درجات الحرارة بها مرتفعة صيفا حيث تتجاوز 41° في المتوسط، تنخفض شتاء و لاسيما أثناء

الليل، فالمناخ هنا قاري يتميز بفوارق حرارية يومية وفصلية معتبرة، تصل إلى حدود 30° مئوية [22].

❖ الأمطار

تتميز بالندرة 49 مم في المتوسط، فهي كغيرها من المناطق الصحراوية، مما يجعلها تفتقر للغطاء

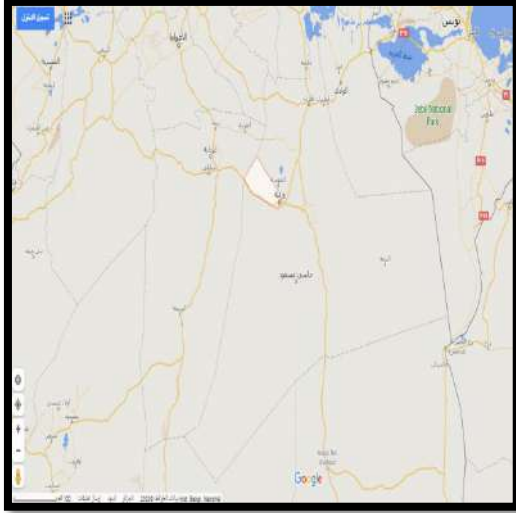
النباتي الطبيعي [22].

❖ الرياح الموسمية

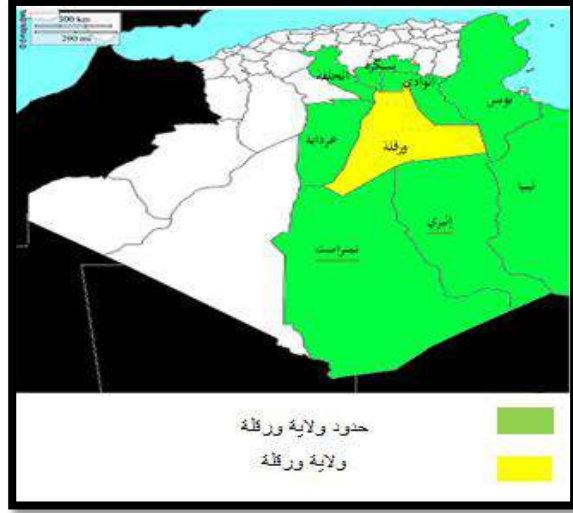
تهب على ولاية ورقلة عواصف رملية موسمية بين شهري (فبراير وأفريل)، تبلغ ذروتها في شهر

مارس، يبدأ الجو في التحسن ابتداءً من شهر سبتمبر عندما يتغير اتجاه الرياح لتصبح شمالية شرقية، المعروفة

محليا باسم البحري، غالبا ما تكون محملة بشيء من الرطوبة فتعمل على تلطيف الجو [22].



(ب)



(أ)

الشكل (III-1): الموقع الجغرافي لولاية ورقلة، (أ) موقع وحدود الولاية، (ب) موقع منطقة الدراسة.

III-3 أنماط الكثبان الرملية في المنطقة

اعتبرنا في دراستنا هذه أربع حقول للكثبان الرملية كما توضحه الأشكال الأربعة الموالية، شمالاً

منطقة نقوسة، جنوباً منطقة قارة كريمة، شرقاً منطقة سيدي خويلد و غرباً منطقة حوض بركاوي.

III-3-1) كثبان الجهة الشمالية (نقوسة)

يقع حقل الكثبان المدروسة في الجهة الشمالية لمدينة ورقلة في منطقة نقوسة، التي تبعد عن منطقة

الدراسة بحوالي 23 كم الشكل (III-2)، حيث تتميز بوفرة الرمال والأعشاب والشجيرات الصحراوية،

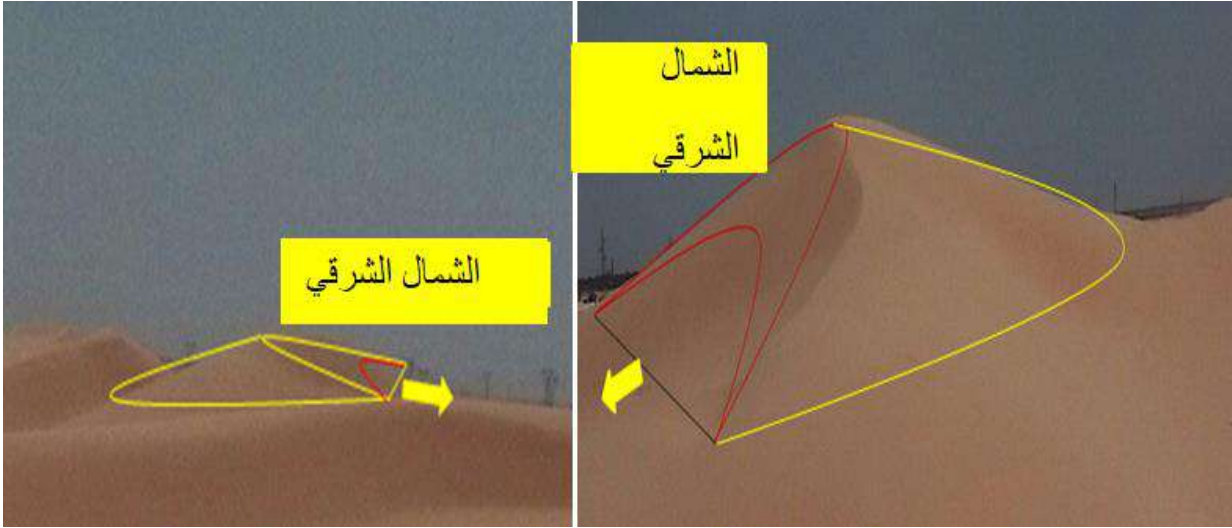
مما أدى إلى تكون هذه الكثبان.



الشكل (III-2) : الكثبان الرملية في الجهة الشمالية لمدينة ورقلة (نقوسة).

III-3-2) كثبان الجهة الجنوبية (قارة كريمة)

يقع حقل الكثبان المدروسة في الجهة الجنوبية لمدينة ورقلة في منطقة قارة كريمة، التي تبعد عن منطقة الدراسة بحوالي 13 كم الشكل (III-3)، حيث تتميز هذه المنطقة بقلة امدادات الرمال و بكثرة الحواجز خاصة الطرقات وبعض البنايات، مما أدى إلى قلة الكثبان و منه وجود بعض أنماط البرخان وبشكل محدود.



الشكل (III-3) : الكثبان الرملية في الجهة الجنوبية لمدينة ورقلة (قارة كريمة).

III-3-3) كثبان الجهة الشرقية (سيدي خويلد)

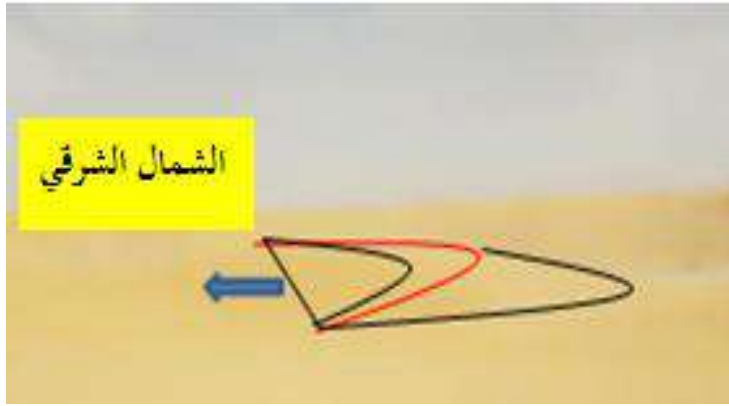
يقع حقل الكثبان المدروسة في الجهة الشرقية لمدينة ورقلة في منطقة سيدي خويلد، التي تبعد عن منطقة الدراسة بحوالي 3,12 كم، الشكل (III-4)، حيث تتميز هذه المنطقة بكثرة الكثبان المستعرضة لوجود وفرة في الرمال، و حواجز نباتية تساعد في تشكيلها.



الشكل (III-4) : الكثبان الرملية في الجهة الشرقية لمدينة ورقلة (سيدي خويلد).

III-3-4) كثبان الجهة الغربية

يقع حقل الكثبان المدروسة في الجهة الغربية لمدينة ورقلة بالقرب من منطقة حوض بركاوي، التي تبعد عن منطقة الدراسة بحوالي 34 كم الشكل (III-5)، تتميز بوجود حواجز طبيعية بعض الصخور والتلال، كما لاحظنا كثبان مرتفعة ذات أشكال غير منتظمة في الغالب، مع توزع بعض البرخانات في مواقع منفصلة.



الشكل (III-5) : الكثبان الرملية في الجهة الغربية لمدينة ورقلة (حوض بركاوي).

III-4) وردة الرياح في المنطقة

III-4-1) تمثيل وردة الرياح من خلال محطات الرصد

❖ وردة الرياح لشهر أوت

توفر محطة الرصد في مدينة ورقلة معلومات ومعطيات مهمة خاصة بما يتعلق بسرعة واتجاه الرياح في المنطقة، من بين المعطيات المتوفرة اخترنا الفترة الممتدة بين (1-30) أوت وهي مدة الدراسة. الجدول (III-1) يعطي تردد قيم سرعة واتجاه الرياح خلال هذه المدة.

(أ) معطيات محطة الأرصاد الجوية

بالاستفادة من معطيات محطة الرصد الجوي لمدينة ورقلة la station météorologique

d'Ouargla

الذي (Lat : 31°55N, Long : 05°24^E, Alt : 141 m) تحصلنا على الجدول التالي،


يوضح تردد الرياح (شدة واتجاه) خلال شهر أوت :

الجدول (III-1) : تردد الرياح لشهر أوت (fréquences vent du 01 au 31/08/2020) [23].

Classes du vent	[1 2[	[2 3[	[3 4[	[4 5[	[5 6[	[6 7[	[7 8[	[8 9[	>= 9 m/s	Vent calme
N	0,00	0,40	1,61	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	20,97
NNE	0,00	0,40	0,40	0,81	0,81	0,40	1,21	0,40	0,00	
NE	0,00	0,81	2,82	2,42	1,61	0,81	0,00	0,40	0,00	
ENE	0,00	0,40	0,81	1,61	2,02	0,81	0,00	0,00	0,00	
E	0,00	0,81	2,82	6,45	6,05	1,61	0,40	0,00	0,00	
ESE	0,00	2,02	2,02	2,02	1,61	0,81	0,00	0,00	0,00	
SE	0,40	2,42	1,21	1,61	0,81	0,81	0,81	0,00	0,00	
SSE	0,00	2,42	1,21	0,00	1,21	1,21	0,81	0,40	0,00	
S	0,00	1,61	2,42	0,81	0,81	0,00	1,21	0,00	0,00	
SSW	0,00	0,81	0,00	0,40	0,00	0,81	0,00	0,40	0,00	
SW	0,00	0,00	0,40	0,40	0,81	0,40	0,00	0,00	0,00	

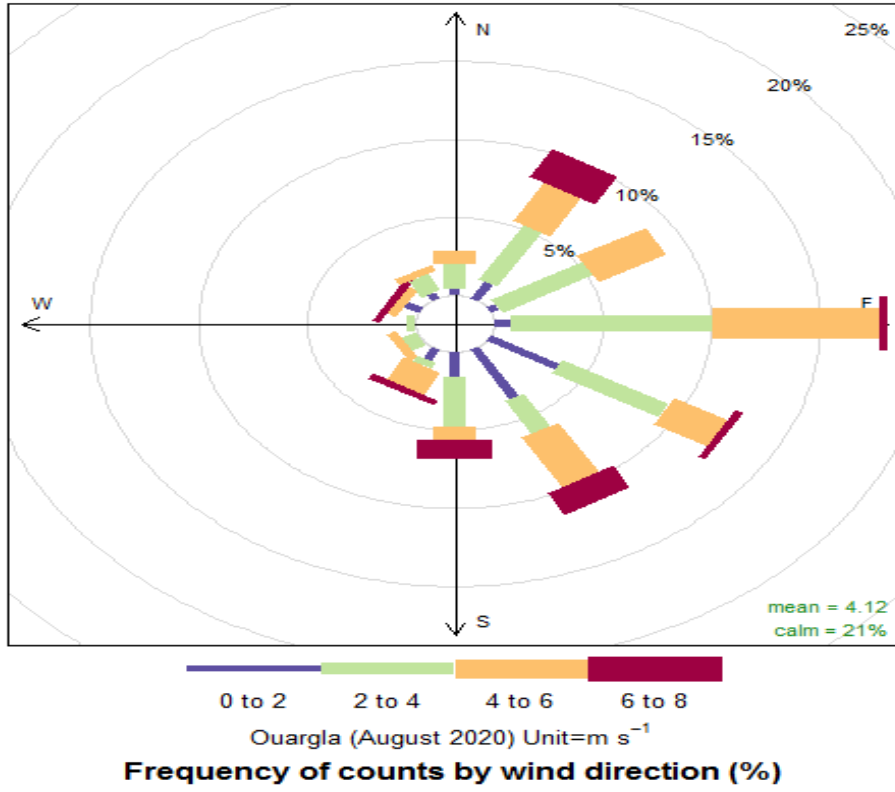
WSW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
W	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
WNW	0,00	0,81	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	
NW	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	
NNW	0,00	0,40	1,21	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	
Total	0,40	13,31	17,34	16,53	16,53	8,47	4,84	1,61	0,00	79,03
										100,00

(ب) وردة الرياح لشهر أوت :

باستعمال برنامج  (version 2.15.2) تحصلنا على رسم لوردة الرياح لمدينة ورقلة

خلال شهر أوت 2020، التي تعطينا معلومات إحصائية مهمة حول تطور الرياح في المنطقة خلال هذا

الشهر. النتيجة موضحة في الشكل (III - 6) :



الشكل (III-6) : وردة الرياح لمدينة ورقلة في الفترة 01 أوت إلى 30 أوت 2020 باستعمال برنامج

[23]

❖ وردة الرياح لمدينة ورقلة لمدة سنة

باستعمال نفس البرنامج تحصلنا على وردة الرياح لمنطقة الدراسة خلال سنة كاملة تتخللها فترة

الدراسة، و ذلك من اجل تقييم النتائج بشكل أفضل.

الجدول (III-2) : نتائج حساب شدة التدفق و النسب المئوية لتوزيع الكثبان الرملية حسب الاتجاه، في كل من

المناطق الاربعة.

Zone 1: Ngousa				
Classes du	nombre des	Pourcent	Q_{sat}	surface
N	3	12,00	88,2430	1
NNE	2	08,00	58,8287	1
NE	1	04,00	29,4143	1
ENE	3	12,00	88,2430	1
E	0	00,00	0,0000	1
ESE	3	12,00	88,2430	1
SE	2	08,00	58,8287	1
SSE	0	00,00	0,0000	1
S	3	12,00	88,2430	1
SSW	1	04,00	29,4143	1
SW	0	00,00	0,0000	1
WSW	1	04,00	29,4143	1
W	1	04,00	29,4143	1
WNW	2	08,00	58,8287	1
NW	2	08,00	58,8287	1
NNW	1	04,00	29,4143	1
Total	25	100,00	735,3583	1

Zone 2: Sidi khouilde				
Classes du	nombre des dunes	Pourcentage	Q_{sat} m²/yr	surface 1km²
vent				
N	2	12,50	83,5039	0,25

NNE	1	06,25	41,7520	0,25
NE	0	00,00	0,0000	0,25
ENE	0	00,00	0,0000	0,25
E	1	06,25	41,7520	0,25
ESE	1	06,25	41,7520	0,25
SE	1	06,25	41,7520	0,25
SSE	2	12,50	83,5039	0,25
S	3	18,75	125,2559	0,25
SSW	1	06,25	41,7520	0,25
SW	1	06,25	41,7520	0,25
WSW	1	06,25	41,7520	0,25
W	0	00,00	0,0000	0,25
WNW	0	00,00	0,0000	0,25
NW	1	06,25	41,7520	0,25
NNW	1	06,25	41,7520	0,25
Total	16	100,00	668.0315	

Zone 3: Garat Krima				
Classes du vent	nombre des dunes	Pourcentage	Q_{sat} m²/yr	surface 1km²
N	0	00,00	0	1

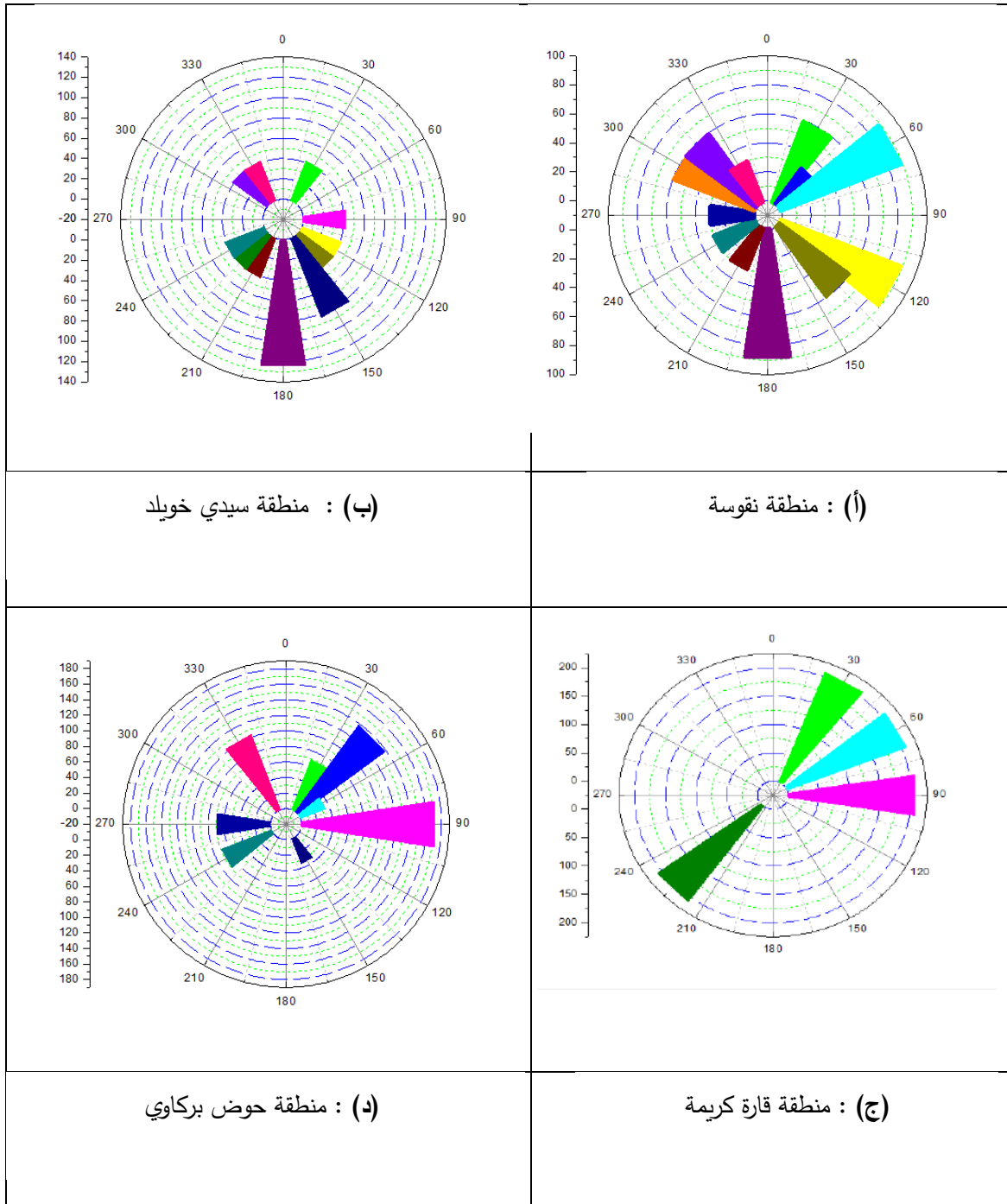
NNE	1	25,00	208,1086	1
NE	0	00,00	0	1
ENE	1	25,00	208,1086	1
E	1	25,00	208,1086	1
ESE	0	00,00	0	1
SE	0	00,00	0	1
SSE	0	00,00	0	1
S	0	00,00	0	1
SSW	0	00,00	0	1
SW	1	25,00	208,1086	1
WSW	0	00,00	0	1
W	0	00,00	0	1
WNW	0	00,00	0	1
NW	0	00,00	0	1
NNW	0	00,00	0	1
Total	4	100,00	832,4344	

Zone 4: HaoudBerkaoui				
Classes du vent	nombre des dunes	Pourcentage	flux Q_{sat}	surface 1km²
N	1	04,76	34,5990	1

NNE	2	09,52	69,1981	1
NE	4	19,05	138,3962	1
ENE	1	04,76	34,5990	1
E	5	23,81	172,9952	1
ESE	0	00,00	0,0000	1
SE	0	00,00	0,0000	1
SSE	1	04,76	34,5990	1
S	0	00,00	0,0000	1
SSW	0	00,00	0,0000	1
SW	0	00,00	0,0000	1
WSW	2	09,52	69,1981	1
W	2	09,52	69,1981	1
WNW	0	00,00	0,0000	1
NW	0	00,00	0,0000	1
NNW	3	14,29	103,7971	1
Total	21	100,00	726,5798	

من خلال نتائج الجدول السابق، تمكنا من رسم واردة الرياح لكل منطقة من المناطق الأربعة

المدروسة، ذلك باستخدام البرمجة الآلية، كما هو موضح في الشكل (III-8).

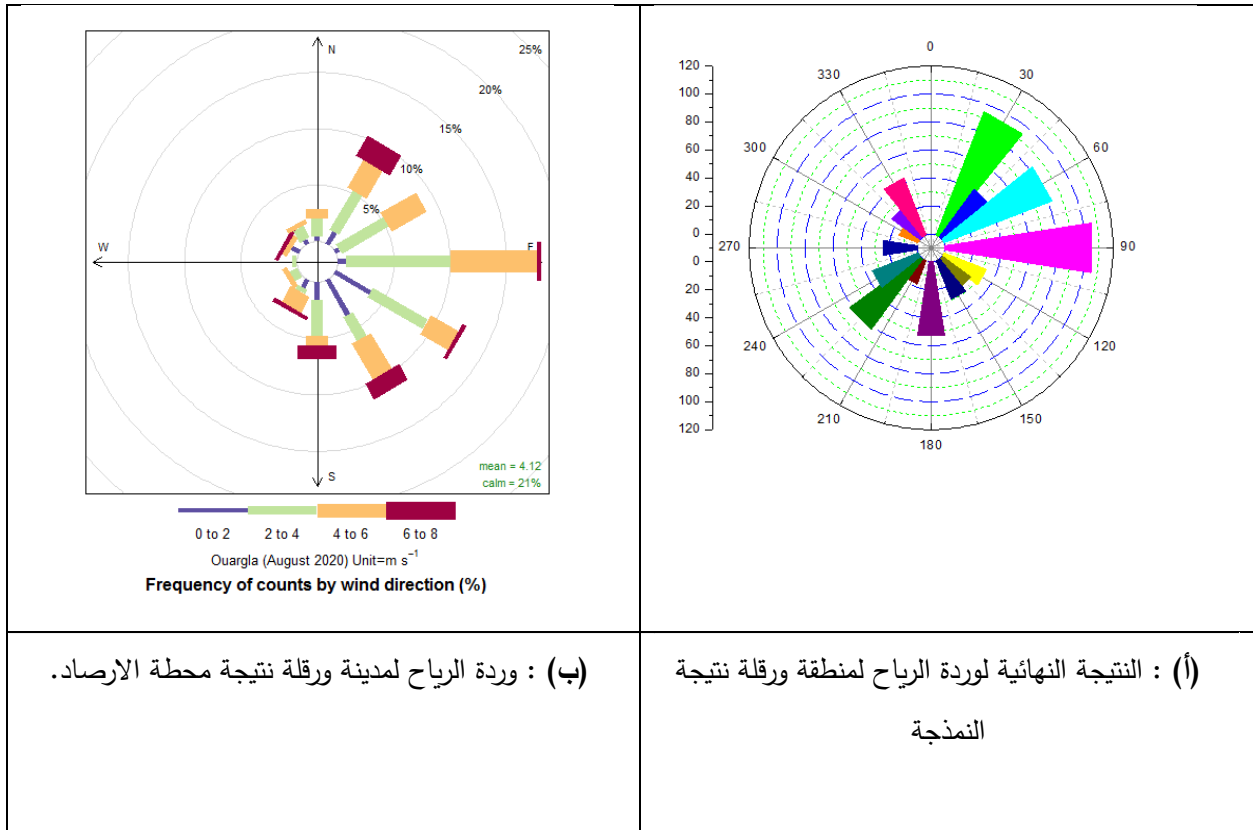


الشكل (III-8) : نتائج نمذجة واردة الرياح لكل من الجهات الأربعة المحيطة بمنطقة الدراسة.

بدمج نتائج النمذجة السابقة الخاصة بكل منطقة وحساب المتوسط، يمكننا رسم وردة للرياح

المميزة لمنطقة الدراسة. نعرض في الشكل (III-9) نتائج النمذجة على اليمين ونتائج معطيات محطة

الأرصاد على اليسار.



الشكل (III-9) : مقارنة بين النتيجة النهائية لوردة الرياح المنمذجة (أ) و وردة الرياح نتيجة محطة الأرصاد (ب)

لمنطقة ورقلة

III-5) النتائج و المناقشة

❖ وردة الرياح لشهر أوت الناتجة من معطيات محطة الرصد، تبين أن الرياح تنحصر في المجال $[30^{\circ}-150^{\circ}]$ ، أي بين الاتجاه شمال الشمال الشرقي إلى جنوب الجنوب الشرقي، حيث تبلغ أقصاها عند 90° أي اتجاه الشرق الرئيسي، ومنه حسب هذه المعطيات فالرياح شرقية.

❖ بالنسبة لوردة الرياح لمدة سنة الناتجة من معطيات محطة الرصد تبين أن إتجاه الرياح يتغير في المجال $[150^{\circ}-330^{\circ}]$ ، أي بين الاتجاه شمال الشمال الغربي و جنوب الجنوب الشرقي، حيث تبلغ أقصاها عند 0° أي اتجاه الشمال الرئيسي و 90° أي اتجاه الشرق الرئيسي، ومنه فالرياح السنوية شمالية شرقية.

❖ حسب وردة الرياح الناتجة عن نمذجة الرياح الخاصة بالمناطق الأربعة لمنطقة ورقلة نجد أن :

✓ **نقوسة :** الرياح في هذه الجهة تتغير في المجال $[60^{\circ}-180^{\circ}]$ ، أي بين الاتجاه شرق الشمال الشرقي و اتجاه الجنوب الرئيسي، حيث تبلغ أقصاها عند 60° ، 120° و 150° أي شرق الشمال الشرقي، شرق الجنوب الشرقي و جنوب الجنوب الشرقي على الترتيب، بالإضافة إلى الاتجاه الشمال الرئيسي الذي لم يظهر في رسم وردة الرياح المنمذجة على الرغم من وجود قيمة معتبرة، فالرياح المحصلة من شرقية إلى شمالية شرقية.

✓ **سيدي خويلد :** الرياح في هذه الجهة تتغير في المجال $[150^{\circ}-180^{\circ}]$ ، أي بين جنوب الجنوب الشرقي واتجاه الجنوب الرئيسي، بالإضافة إلى الاتجاه الشمالي مع نفس الملاحظة في رسم الوردة حيث تبلغ أقصاها عند 180° أي اتجاه الجنوب الرئيسي، اذا هنا الرياح جنوبية شرقية.

✓ **قارة كريمة** : الرياح في هذه الجهة تتغير في المجال [30°-90°]، أي بين الاتجاه شمال

الشمال الشرقي و اتجاه الشرق الرئيسي، حيث تبلغ أقصاها في هذين الدرجتين، ومنه فالرياح شرقية إلى شمالية شرقية.

✓ **حوض بركاوي** : الرياح في هذه الجهة تتغير في المجال [45°-90°]، أي بين الاتجاه

الشمالي الشرقي و اتجاه الشرق الرئيسي، حيث تبلغ أقصاها عند 90° أي اتجاه الشرق الرئيسي، اذا الرياح هنا شرقية إلى شمالية شرقية.

❖ **وردة الرياح الناتجة عن النمذجة تظهر تغيرا لاتجاه الرياح في المجال [30°-90°]، أي الاتجاه**

شمال الشمال الشرقي و اتجاه الشرق الرئيسي، حيث تبلغ أقصاها عند 90° أي اتجاه الشرق الرئيسي، بالاضافة الى اتجاه الشمال بقيم ضعيفة، فالرياح في هذه الحالة شرقية الى شمالية شرقية.

أما وردة الرياح الناتجة عن محطة الارصاد فتتغير في المجال [30°-150°]، أي الاتجاه شمال الشمال الشرقي وجنوب الجنوب الشرقي، حيث تبلغ أقصاها عند 90° أي اتجاه الشرق الرئيسي، فالرياح شرقية إلى شمالية شرقية.

❖ **المقارنة بين نتائج وردة الرياح المنمذجة ووردة رياح محطة الأرصاد تعطي تغيرا للخطأ مقداره**

30°، يعتبر هذا المقدار من الخطأ مقبولا في هذه الدراسة نظرا لعدد التقريبات المستعملة خلال

النمذجة، من بينها ثبوت قيمة معامل الالتقاط T_e .

خلاصة عامة

في هذه الدراسة، سلطنا الضوء على العلاقة الوطيدة بين الرياح و مورفوديناميكية الكثبان، من خلال دراسة سلوك الرياح في منطقة ورقلة انطلاقا من معاينة الكثبان في هذه المنطقة، حيث توصلنا إلى أن الرياح السائدة في منطقة ورقلة خلال شهر أوت 2020 هي رياح شرقية، على الرغم من أن الرياح السنوية شمالية شرقية.

وفرة الرمال في الجهتين الشمالية و الشرقية تساهم في ظهور كثبان ذات النمط المستعرض،

عكس الجهة الجنوبية التي تقل فيها الرمال، أين تظهر بعض الكثبان ذات شكل البرخان.

إن تقدير الخطأ الناتج عن الحسابات المتعلقة بالاتجاه لا تتجاوز 30° ، مثل هذا الخطأ في

تحديد اتجاه الرياح مقبول نظرا لعدد التقريبات المأخوذة أثناء النمذجة.

البحث في هذا المجال يحتاج إلى تعمق أكثر في العلاقات الرياضية الواصفة لظواهر النقل

والترسيب، بالإضافة إلى معدات وأجهزة قياس ذات دقة عالية في تتبع حركة الرمال من أجل الوصول

إلى نتائج أدق، أيضا الفترة الزمنية المخصصة للدراسة تعتبر من العوامل المؤثرة على صحة النتائج،

فكلما كانت فترة الدراسة أطول كانت النتائج أكثر دلالة على الظاهرة المدروسة.

من جهة أخرى، توظيف أجهزة الاستشعار عن بعد في مثل هذا المجال من البحث، وتوفير

محطات الرصد في مناطق متعددة، يساعد في تحسين النتائج بشكل ملحوظ و يوفر الكثير من الوقت

و الجهد.

قائمة المراجع

مراجع باللغة العربية

- [1] الدكتورة اوراس غني عبد الحسين، محاضرة الرياح، جامعة بغداد، كلية التربية للبنات، جغرافية الطقس والمناخ.
- [4] مقرر الأرصاد الجوية والمناخ الزراعي، جامعة حماه، كلية الزراعة، المحاضرة النظرية السادسة، بعنوان حركة الهواء والدورة الهوائية، 2018/11/14.
- [9] الدكتور أحمد أحمد الشيخ، كتاب بعنوان الارصاد الجوية، جامعة المنصورة، كلية التربية، قسم المواد الاجتماعية، 2004.
- [11] كتاب الكنتان الرملية، جمهورية مصر العربية، مركز البحوث الزراعية، نشرة رقم 2003/854.
- [12] مجلة الاستاذ، العدد 205، المجلد الثاني، التحليل المكاني لتوزيع وأشكال الكنتان الرملية في محافظة ميسان لطالب الماجستير صباح باجي ديوان، مذكرة ماجستير، 2013.
- [14] الدكتور عباس بن عيفان الحارثي، محاضرة، قسم الجيولوجيا الهندسية والبيئية، كلية علوم الأرض جامعة الملك عبد العزيز، مقرر المخاطر الجيولوجية.
- [15] المحاضرة الخامسة بعنوان الكنتان الرملية، كلية التربية للعلوم الانسانية قسم الجغرافية، جامعة بابل، الاستاذ انتظار مهدي حسون الشلبي، تاريخ النشر 2017/03/22.
- [16] أ.م.د حسين عذاب خليف الموسوي، ماجد راضي حسين القريشي، جيومورفولوجية الكنتان الرملية في شرق محافظة واسط مجلة كلية التربية، العدد الثاني والعشرون، 2014.
- [17] مذكرة ماستر، مقارنة عددية لمعامل الالتقاط على الوجه المظاهر لكثيب رملي بركة عبله، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2019.
- [18] المحاضرة الخامسة بعنوان الكنتان الرملية، كلية التربية والعلوم الانسانية، قسم الجغرافية المرحلة 2، استاذ المادة انتظار مهدي عمران حسونة 2017/3/22.

مراجع باللغة الفرنسية

[8] Y aping Shao, Physics and Modelling of Wind Erosion, University of Cologne, vol 37, Germany, 2008.

[19] Lucie Guignier, Science des matériaux, Français, Analyse physique du transport sédimentaire et morphodynamique des dunes, Thèse, université de Rennes 1, 2014.

[20]L.Guignier, H. Niiya, H. Nishimori, D. Langue, A valance, Sand dunes as migrating strings, 2013 American physical society, DOI: 10. 1103/physRevE.87.052206,24/05/2013.

مراجع الصفحات الالكترونية

[2] <https://www.google.com/search?q=الرياح+في+الصحراء> ، تاريخ الاطلاع 2020/04/01

[3].2016/04/11 موسوعة عالم الطقس، محمد الحو(باحث في الارصاد الجوية)، تاريخ النشر

<http://www.amwaj-almaghrib.ma/2016/04/blog-post.htm> تاريخ الاطلاع 2020/04/01

[5]<https://www.paldf.net/forum/showthread.php?t=1102274&page52013/05/22>،

[6] http://3llom.blogspot.com/2012/02/blog-post_03.html

[7] <https://www.google.com/search?q=الاطلاع+بالون+الطقس> ، تاريخ الاطلاع 2020/10/05

[10] <https://www.google.com/search?q=تاريخ+الاطلاع+اتجاهات+الرياح> ، تاريخ الاطلاع 2020/09/18

[13] <https://e3arabi.com> تاريخ النشر/العلوم/الكتبان-الرملية 15/10/2019.

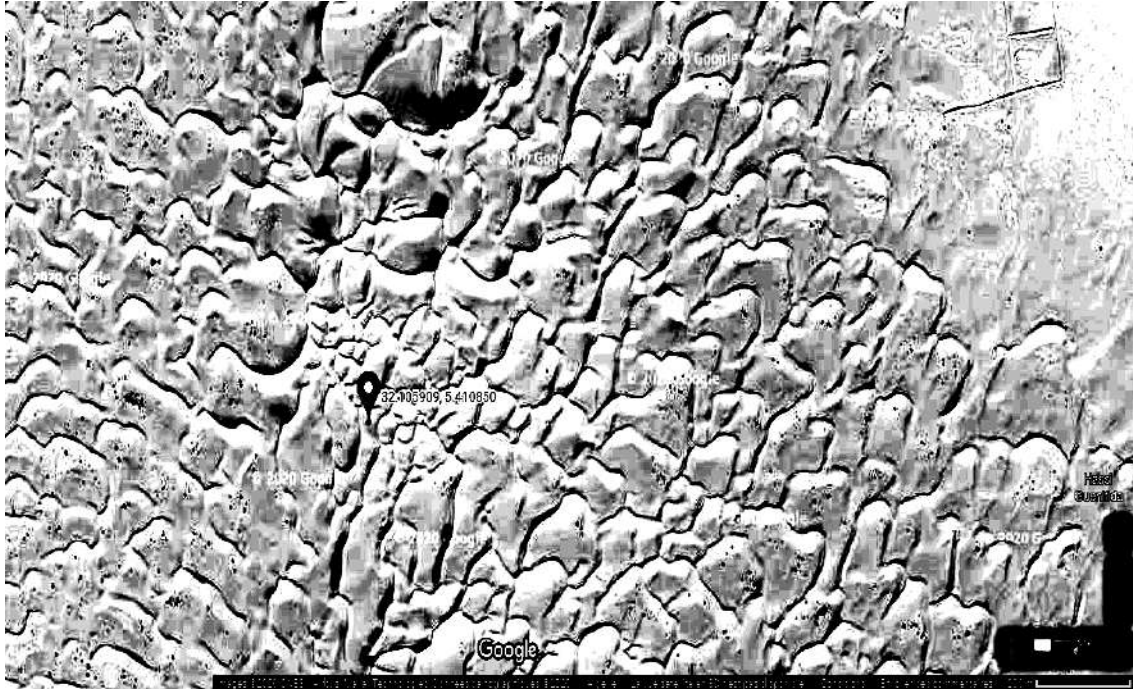
[21] <https://www.marefa.org> .2020/09/15،

[22] <https://www.mcultureouargla.com> ,03/2020. دار الثقافة مفدي زكرياء،
2020/09/15

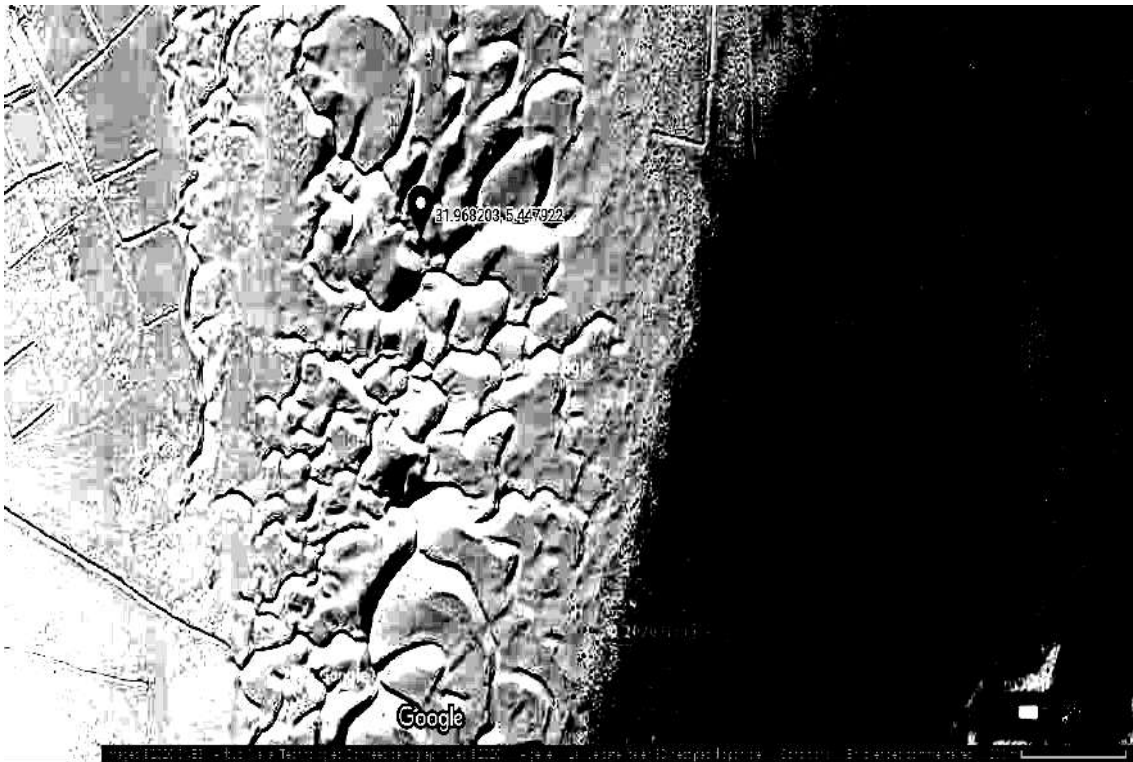
[23] محطة الارصاد الجوية لولاية ورقلة

ملحق :

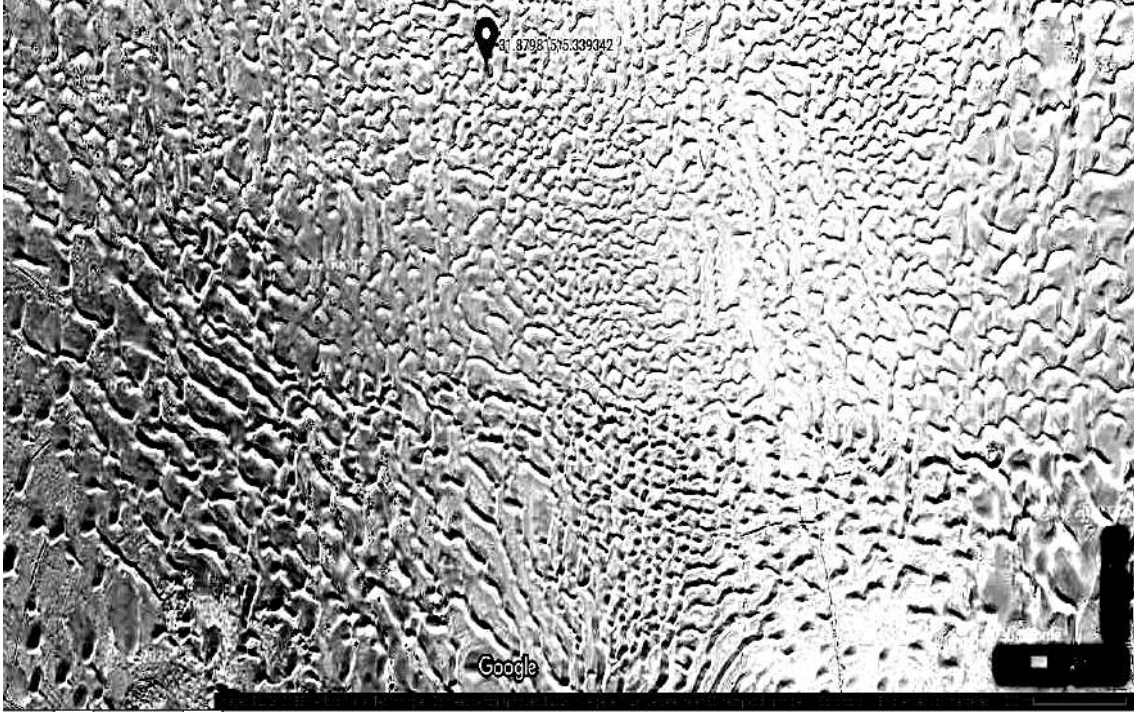
صور لمواقع الدراسة الميدانية



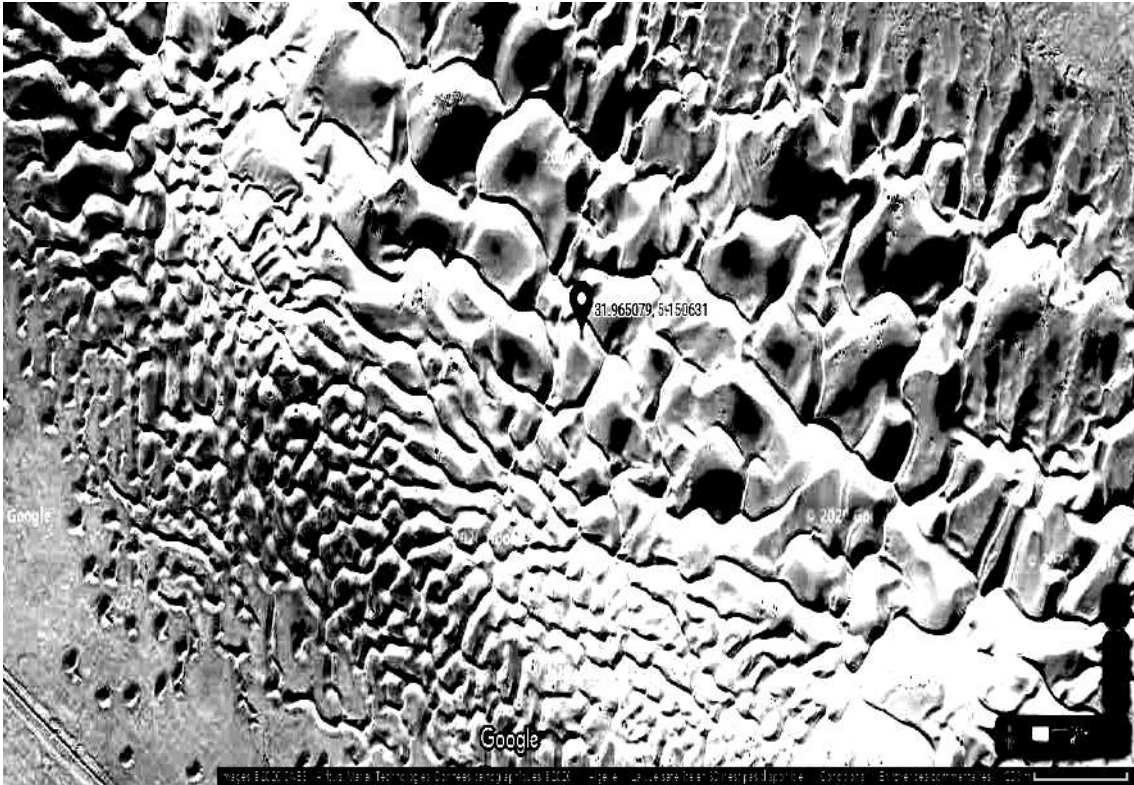
الشكل (B-1): صورة معالجة حقل الكتبان ميدان الدراسة منطقة نقوسة (X200)، اتجاه الشمال.



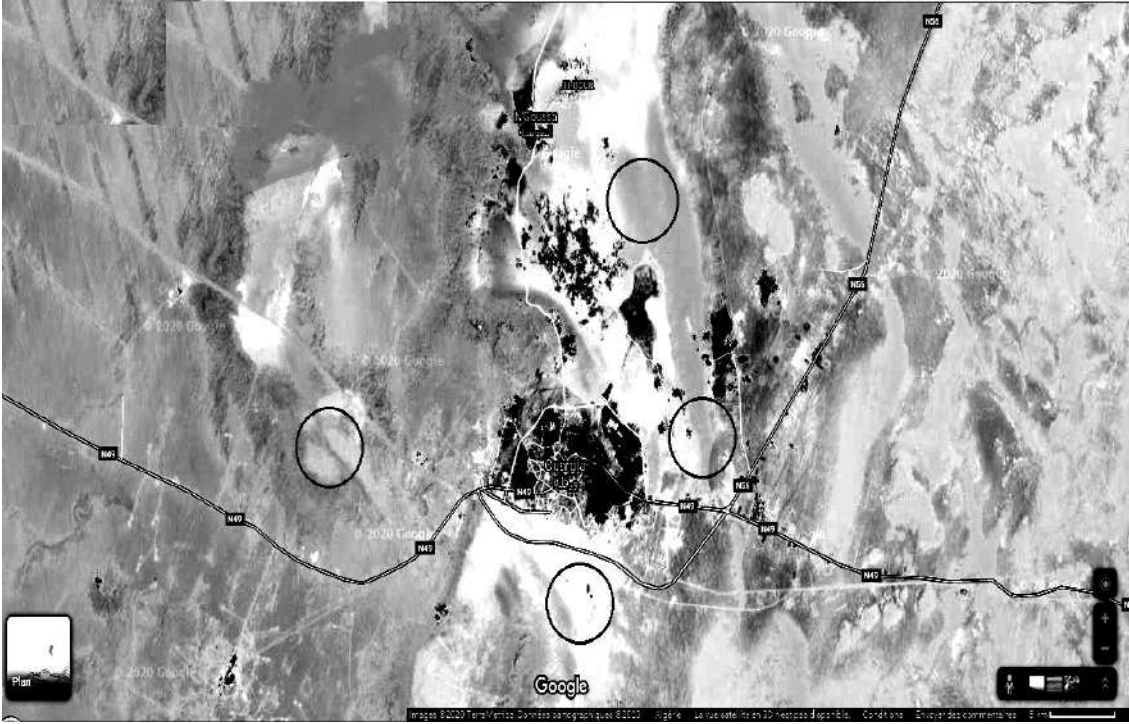
الشكل (B-2): صورة معالجة لحقل الكتبان ميدان الدراسة منطقة سيدي خويلد (X200)، اتجاه الشرق.



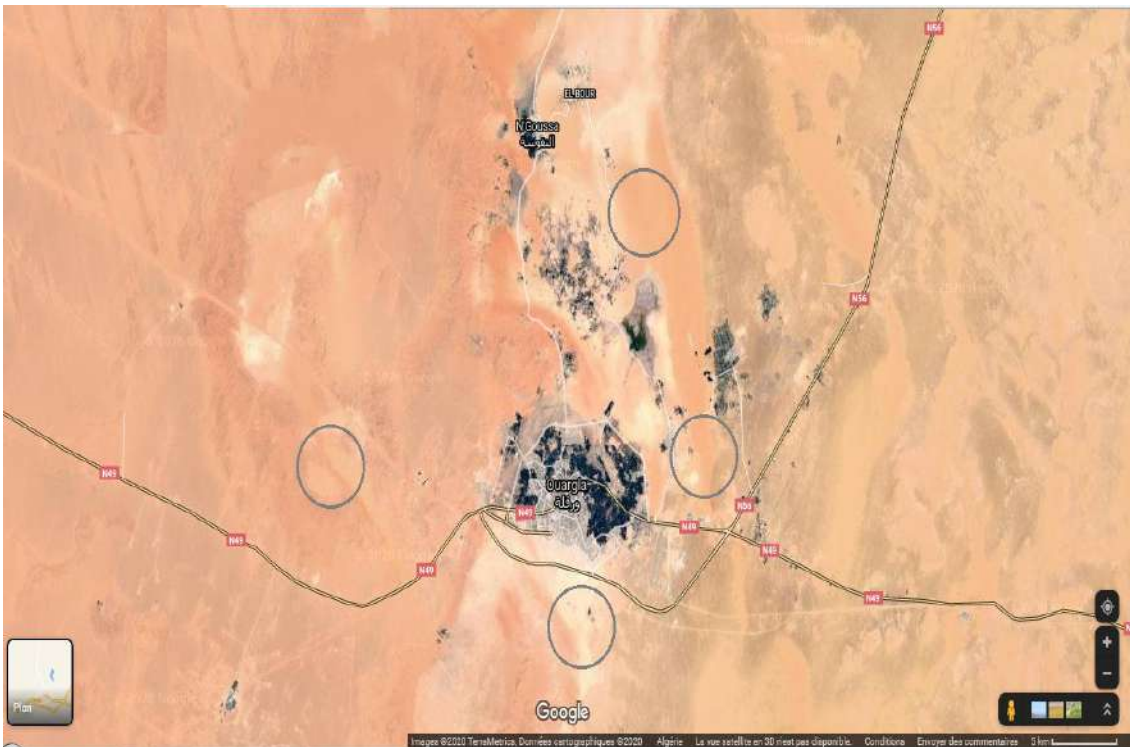
الشكل (B-3) : صورة معالجة حقل الكتبان ميدان الدراسة منطقة قارة كريمة (X200)، اتجاه الجنوب.



الشكل (B-4) : صورة معالجة حقل الكتبان ميدان الدراسة منطقة قريبة من حقل بركاوي، (X200) اتجاه الغرب.



الشكل (B-5) : صورة معالجة لتعين حقول الكثبان الرملية ميدان الدراسة، حول مدينة ورقلة (X1000).



الشكل (B-6) : حقول الكثبان الرملية ميدان الدراسة حول مدينة ورقلة (X200)، (GOOGLE

(MAPS

ملخص : قمنا في هذا العمل بمحاكاة لنمط الرياح السائدة و تواترها في منطقة ورقلة، انطلاقا من معاينة و دراسة الكثبان الرملية وتوزيعها على الجهات الاربعة الرئيسية للمنطقة، هي على التوالي ؛ نقوسة شمالا ؛ سيدي خويلد شرقا ؛ قارة كريمة جنوبا ؛ حقل بركاوي غربا. أظهرت نتائج المحاكاة توافقا ملحوظا في تقدير نمط الرياح السائد و تواترها مقارنة بنتاج محطة الارصاد الجوية في نفس الموقع، خلال الفترة الزمنية من 01 أوت الى 30 أوت 2020 م، تم تلخيص اهم النتائج عن طريق تمثيل وردة الرياح المميزة للمنطقة خلال فترة الدراسة في كل من الحالتين المحاكاة و معطيات محطة الارصاد.

الكلمات المفتاحية: كثبان رملية، نمط الرياح، تواتر الرياح، وردة الرياح، محاكاة.

Abstract : In this work, we simulated the prevailing wind model and its frequency in the region of Ouargla, based respectively on the examination and study of the dunes, and their statistical distribution on the four main sides of the region: Ngoussa north; Sidi Khouiled to the east; Garat Krime to the south; Berkawi field to the west. The results of the simulation showed remarkable agreement in estimating the pattern of the prevailing winds and their frequency with respect to the weather data from the station at the same site, during the period from 01 August to 30 August 2020 The most important results were summarized by representing the wind rose characteristic of the region during the study period in each of the two cases, which are the numerical simulation and the data from the weather station.

Keywords: *dunes, wind, wind frequency, compass rose, simulation.*

Résumé : Dans ce travail, nous avons simulé le modèle de vent dominant et sa fréquence dans la région de Ouargla, en nous basant respectivement sur l'examen et l'étude des dunes, et leur répartition statistique sur les quatre principaux côtés de la région: Ngoussa nord ; Sidi Khouiled à l'est ; Garat Krime au sud; Champ de Berkawi à l'ouest. Les résultats de la simulation ont montré un accord remarquable dans l'estimation de la configuration des vents dominants et de leur fréquence par rapport aux données météorologique de la station sur le même site, au cours de la période allant du 01 août au 30 août 2020. Les résultats les plus importants ont été résumés en représentant la rose des vents caractéristique de la région pendant la période d'étude dans chacun des deux cas, qui sont la simulation numérique et les données de la station météorologique.

Mots clés: *les dunes, le vent, fréquence du vent, rose des vents, simulation.*