

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم: الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

المجال: علوم المادة

الفرع: الفيزياء

التخصص: فيزياء الأرصاد الجوية

من إعداد الطالبان: زعطوط فاطمة – بضياف شيماء

تحت عنوان:

مساهمة في دراسة الخصائص المناخية المؤثرة في الحث
الريحي (منطقة ورقلة)

• نوقشت بتاريخ: 2022/06/08.

أمام اللجنة المكونة من الأساتذة:

رئيساً

أستاذ تعليم عالي - ورقلة

الأستاذ: لزهر بن مبروك

مناقشاً

أستاذ محاضر - أ. ورقلة

الأستاذ: تليي صالح

مؤطراً

أستاذ محاضر-ب- ورقلة

الأستاذ: بن بلقاسم خلف الله

الموسم الجامعي: 2022/2021

الإهداء

باسم الخالق العظيم الهادي لمن اراد الهدى، اسلم واصلي على حبيب
قلبي
محمد و على آله وصحبه اجمعين .

الحمد لله والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى إما بعد:

الحمد لله الذي وفقنا لشمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا

المتواضعة بفضلته تعالى مهداة إلى الوالدين الكريمين حفظهما الله وأدامهما نور

لدربي.

لكل العائلة الكريمة التي ساندتني ولا تزال من إخوة وأخوات إلى رفيقات

المشوار اللاتي قاسمنني لحظاته رعاهم الله ووفقهم.

إلى كل من له اثر على حياتي.

ز عطر ط فاطمة



الأهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الصلاة والسلام على خاتم الانبياء حبيبنا محمد وعلى اله وصحبه أجمعين
عدد خلقه من يوم خلقهم الى يوم يبعثون

{وقل اعملوا فسيري الله عملكم ورسوله والمؤمنون وستردون إلى عالم الغيب

والشهادة فينبئكم بما كنتم تعملون (105)}

نهدي هذا العمل المتواضع إلى المعلم الأول وصاحب الهدى العظيم سيدنا محمد

صل الله عليه وسلم.

إلى جدي رحمه الله والى والدي الكريمين وعائتي من الكبير إلى الصغير.

إلى كل معلم وأستاذ وجميع أحبائي وزملائي وصديقاتي.

والى كل من ساندني طول مسيرتي الدراسية.

بضياف تيماء

شكر وتقدير

الحمد لله على عظيم وكثير عطائه، له نسجد سجود الحامدين الشاكرين لأن وقفنا لإتمام هذا العمل المتواضع.

الشكرو التقدير اولا لكل معلم أفادنا بعلمه، من أول المراحل الدراسية حتى هذه اللحظة.

كما نخص كلمة الشكر إلى الأستاذ المشرف " بن بلقاسم خلف الله " على تواضعه و سمو

أخلاقه و تشجيعه لنا من خلال توجيهاته خلال مختلف مراحل هذا العمل.

نشكر كذلك لجنة المناقشة المكونة من الأستاذ "لزهر بن مبروك" أستاذ تعليم عالي بجامعة

قاصدي مرياح ورقلة والأستاذ "تليلي صالح" أستاذ محاضر (أ) " بجامعة قاصدي مرياح ورقلة

مناقشة هذا العمل. على قبولهم

كما نشكر كل افراد قسم الفيزياء و كل من مد لنا يد العون من قريب أو بعيد.

وفي الأخير لايسعنا إلا أن ندعو الله عز وجل أن يرزقنا الرشاد والعفاف والغنى وأن يجعلنا

هداة مهتدين.

| الصفحة | الفهرس |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| I | الإهداء |
| III | شكر وتقدير |
| IV | الفهرس |
| VII | قائمة الجداول |
| IX | قائمة الأشكال |
| XI | قائمة الرموز والاختصارات |
| 2 | المقدمة العامة |
| الفصل الأول: عموميات حول الحت الريحي | |
| 5 | 1.I - مقدمة |
| 5 | 2.I - مفاهيم عامة حول ظاهرة التآكل والتعرية الريحية |
| 6 | 1.2.I - التآكل الريحي |
| 6 | 2.2.I - التعرية الريحية |
| 7 | 3.I - النماذج النظرية لدراسة الحت الريحي |
| 7 | 1.3.I - بحوث الحت الريحي |
| 9 | 2.3.I - النمذجة المتكاملة لتآكل الرياح |
| 10 | 4.I - المناطق الرئيسية لتآكل الرياح |
| 14 | 5.I - تأثير الحركة العامة للغلاف الجوي |
| 14 | 1.5.I - العوامل المتحكمة في حركة الغلاف الجوي |
| 17 | 2.5.I - آلية دورة الغلاف الجوي |
| الفصل الثاني: الأسس الفيزيائية للحت الريحي | |
| 22 | 1.II - مقدمة |
| 22 | 2.II - تعريف حبيبات الرمل |

| | |
|----|--------------------------------------------------------|
| 22 | (3.II)-الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل |
| 22 | (1.3.II)-شكل الحبيبات |
| 24 | (2.3.II)-حجم الحبيبات |
| 25 | (3.3.II)-أنواع حبيبات الرمل(نوعية التربة) |
| 25 | (4.II)-القوى المؤثرة على الحبيبات |
| 30 | (5.II)-حركة الحبيبات |
| 32 | (6.II)-مفهوم سرعة احتكاك العتبة |
| 32 | (1.6.II)-مخطط باجنولد (Bagnold) |
| 35 | (2.6.II)-مخطط غريلي و إيفرسون (Greeley and Iversen) |
| 36 | (3.6.II)-مخطط شاو ولو ونيومان (Shao and Lu and Neuman) |
| 38 | (7.II)-سرعة الحبيبات |

الفصل الثالث: تقنيات قياس الحت الريحي

| | |
|----|----------------------------------------------------------------|
| 40 | (1.III)-مقدمة |
| 40 | (2.III)-تقنيات قياس التربة |
| 40 | (1.2.III)-أجهزة أخذ العينات السلبية |
| 43 | (2.2.III)-أجهزة أخذ العينات النشطة |
| 44 | (3.2.III)-مستشعرات التأثير |
| 46 | (4.2.III)-عداد جهاز الرمل |
| 46 | (3.III)-تقنيات قياس الغبار |
| 47 | (1.3.III)-الرصد المكاني بواسطة المصايد |
| 48 | (2.3.III)-جهاز TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance) |
| 48 | (3.3.III)-الاستشعار عن بعد على الأرض |
| 49 | (4.3.III)-العمق الضوئي للهباء الجوي |
| 50 | (5.3.III)-الاستشعار عن بعد من الفضاء (قمر Meteosat) |
| 51 | (4.III)-القياسات الميدانية |

الفصل الرابع: تقييم تأثير سرعة الرياح والإشعاع الشمسي على الحت الريحي (منطقة ورقلة)

| | |
|----|--------------------------------------------------|
| 55 | (1.IV)-مقدمة |
| 55 | (2.IV)-خصائص ومميزات منطقة ورقلة (منطقة الدراسة) |

| | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 55 | 1.2.IV-الموقع الجغرافي |
| 56 | 2.2.IV-الموقع الفلكي |
| 56 | 3.2.IV-المميزات المناخية |
| 57 | 3.IV-معطيات محطة الأرصاد الجوية |
| 57 | 4.IV-طريقة العمل |
| 58 | 5.IV-النتائج والمناقشة |
| 62 | 6.IV-أهم النتائج |
| 64 | الخلاصة العامة |
| 65 | قائمة المراجع |
| 68 | الملحق : جدول معطيات محطة الأرصاد ونتائج حساب الدالة $P(t)$ خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة |

قائمة الأشكال

| الصفحة | العنوان | رقم الشكل |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 6 | رسم توضيحي للمراحل الثلاث لتعرية الرياح، السحب، النقل، الترسيب | الشكل (1-I) |
| 10 | خريطة تمثل المناطق الرئيسية لتآكل الرياح | الشكل (2-I) |
| 11 | التواتر السنوي للعواصف الترابية في شمال إفريقيا | الشكل (3-I) |
| 11 | التواتر السنوي للعواصف الترابية في الشرق الأوسط | الشكل (4-I) |
| 12 | التواتر السنوي للعواصف الرملية في آسيا الوسطى | الشكل (5-I) |
| 12 | التواتر السنوي للعواصف الرملية في جنوب غرب آسيا | الشكل (6-I) |
| 13 | التواتر السنوي للعواصف الرملية في شمال شرق آسيا | الشكل (7-I) |
| 13 | التكرار السنوي لأحداث الغبار في الولايات المتحدة | الشكل (8-I) |
| 14 | التواتر السنوي للعواصف الترابية في استراليا | الشكل (9-I) |
| 18 | رسم تخطيطي لخلايا دورة الغلاف الجوي | الشكل (10-I) |
| 23 | الخواص الاصطلاحية لحبيبات الرمل | الشكل (1-II) |
| 24 | رسم تخطيطي يوضح أصناف حبيبات الرمل | الشكل (2-II) |
| 25 | رسم تخطيطي يمثل حالات امتزاج أصناف حبيبات الرمل | الشكل (3-II) |
| 26 | رسم تخطيطي يوضح توزيع القوى | الشكل (4-II) |
| 27 | رسم توضيحي لقوى السحب الديناميكي | الشكل (5-II) |
| 30 | رسم توضيحي لجسيم سالب الشحنة يتحرك في المجال الكهربائي القريب من الصفر | الشكل (6-II) |
| 30 | رسم تخطيطي يوضح طرق نقل حبيبات الرمل | الشكل (7-II) |
| 34 | منحنيات تمثل قيم U_t عند أقطار الحبيبات ذات القيمة $(100 \mu m _ 75)$ وعند اصغر الحبيبات $d \ll$ | الشكل (8-II) |
| 38 | منحنيات تغيرات سرعة احتكاك العتبة بدلالة نصف القطر. | الشكل (9-II) |
| 41 | المصيدة العمودية للرواسب | الشكل (1-III) |
| 43 | الرسم التخطيطي لتجارب فريز | الشكل (2-III) |
| 44 | جهاز أخذ العينات متساوي الحركة | الشكل (3-III) |
| 45 | مستشعر حساس | الشكل (4-III) |
| 47 | مصيدة الغبار | الشكل (5-III) |

| | |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 48 | الشكل (6-III) فريق TEOM الواقع في دودوغو (بوركيننا فاسو) |
| 49 | الشكل (7-III) أدوات قياس سمك الضوئي للهباء الجوي |
| 51 | الشكل (8-III) جدول يمثل قائمة المتغيرات المستعملة في التجارب الميدانية |
| 52 | الشكل (9-III) حقل تأكل الرياح |
| 55 | الشكل (1-IV) خريطة تمثل الموقع الجغرافي لمدينة ورقلة |
| 58 | الشكل (2-IV) تغيرات سرعة الرياح خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة |
| 59 | الشكل (3-IV) تغيرات الإشعاع الكلي خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة |
| 60 | الشكل (4-IV) توزيع تغيرات شدة الرياح وشدة الإشعاع الكلي خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة |
| 61 | الشكل (5-IV) تغيرات دالة P بدلالة الزمن |

قائمة الرموز

| الفصل الأول | | |
|-------------|----------------------------------------------|----------------|
| الوحدة | التعريف | الرمز |
| W/m^2 | الطاقة الشمسية الإشعاعية | R_n |
| J | المحتوى الكلي للطاقة في الغلاف الجوي | Q |
| J | الطاقة الحرارية الكامنة | Lq |
| J | الطاقة الحرارية الكامنة لتبخير غرام من الماء | L |
| Kg | كتلة بخار الماء | Q |
| J | الطاقة الحرارية المحسوسة | $c_p \Delta T$ |
| J/k | السعة الحرارية للهواء عند ضغط ثابت | c_p |
| K | درجة حرارة الهواء | ΔT |
| J | الطاقة الكامنة | mgz |
| Kg | الكتلة | M |
| m/s^2 | تسارع الجاذبية | G |
| m | الارتفاع على مستوى سطح البحر | Z |
| J | الطاقة الحركية المتحولة | mv^2 |
| m/s | سرعة الرياح الأفقية | V |
| r/s | السرعة الزاوية للأرض | Ω |
| m/s | السرعة النطاقية للأرض والغلاف الجوي | V_z |
| m^2kg/s | العزم الزاوي | M |

| الفصل الثاني | | |
|--------------|--------------------------------|----------|
| الوحدة | التعريف | الرمز |
| m | نصف قطر حبيبة الرمل | d_m |
| Kg/m^3 | الكتلة الحجمية | ρ_p |
| / | معامل السحب الديناميكي الهوائي | C_d |
| m/s | سرعة التدفق على طول الانسياب | U |

| | | |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| m | ارتفاع الانسياب | H |
| / | معامل الرفع الديناميكي الهوائي | C_l |
| m/s | السرعة الزاوية للحبيبة | Ω_p |
| N | القوى الكهربائية المؤثرة على الحبيبة | C_e |
| m/s | سرعة احتكاك العتبة | u_{*t} |
| / | معامل قوة السحب | C_{ds} |
| m/s | سرعة التدفق | U_s |
| / | معامل رينولدز | Re_{*t} |
| / | معامل رينولدز لسرعة احتكاك الحبيبات | A_B |
| N/m | متغير الأبعاد | B_c |
| N | قوة الاحتكاك | F |
| m²/s | لزوجة السائل | μ |
| m/s | سرعة تحرك الحبيبة | V |
| N | قوة دفع الهواء | F_A |
| Kg/m.s | لزوجة الهواء | μ |
| Kg/m | كثافة الهواء | ρ_A |
| Kg/m | كثافة الحبيبة | ρ_s |

الفصل الثالث

| الوحدة | الرمز |
|--------|------------------------------|
| / | تدفق الملوحة Q |
| / | تدفق الغبار العمودي F |
| / | الإشعاع الضوئي I |
| / | السلك الضوئي τ |

الفصل الرابع

| الوحدة | الرمز |
|--------|-------|
|--------|-------|

| | | |
|------------------|-------------------|----------------------|
| m/s | اختصار السرعة | W |
| w/m ² | اختصار الإشعاع | R |
| / | شدة الرياح | I_w |
| / | شدة الإشعاع الكلي | I_R |

قائمة المختصرات

| التسمية باللغة العربية | التسمية باللغة الأصلية | الرمز |
|---------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| نظم المعلومات الجغرافية | Géographique Information Systems. | GIS |
| معادلة نظرية الرياح | Wind Erosion Equation | WEQ |
| معادلة نظري الرياح المنقحة | Revised Wind Erosion Equation | RWEQ |
| نظام التنبؤ بتآكل الرياح | Wind Erosion Prediction. | WEPS |
| عداد حبيبات الرمل | Sand ParticleCounter. | SPC |
| الميزان الدقيق للعنصر المدبب المتأرجح | Taperedelementosallating micro balance | TEOM |

المقدمة العامة

تقع المناطق القاحلة والشبه القاحلة على مستوى العالم في المنطقة المدارية، مما يؤهلها أن تحظى بخصائص مناخية مميزة لها تأثيرات مختلفة على المناخ، حيث يتميز المناخ الصحراوي بصفة عامة بندرة الأمطار ارتفاع درجات الحرارة وشدة الجفاف، هذه الخصائص تجعل من السطح عرضة إلى عوامل التآكل والتعرية الريحية، التي تؤدي إلى ظاهرة الحت الريحي. هذه الظاهرة تشكل مصدر قلق كبير خاصة في قطاعات الزراعة والنقل والإنشاء المعماري والطرق والصحة..... الخ، في عديد من المناطق.

من هذا المنطلق سنحاول في هذا العمل تقييم تأثير ودراسة بعض الخصائص المناخية التي تساهم وتؤثر بشكل مباشر على ظاهرة الحت الريحي هي سرعة الرياح وقياسات الإشعاع الشمسي المباشر في منطقة صحراوية معينة وهي منطقة ورقلة، التي تصنف من المناطق الصحراوية الجافة.

يتضمن عملنا هذا أربعة فصول، حيث ستناول في الفصل الأول عموميات ومفاهيم حول هذه الظاهرة والمناطق الرئيسية لها مع دراسة مبسطة للنماذج النظرية لها، بالإضافة إلى ذلك سنتطرق إلى مدى تأثير الحركة العامة للغلاف الجوي. أما في الفصل الثاني فسنقوم بدراسة الأسس الفيزيائية والرياضية للحت الريحي حيث سنتطرق إلى أهم المفاهيم حول حبيبات الرمل والقوى المؤثرة عليها ومفهوم سرعة احتكاك العتبة.

في الفصل الثالث سنتطرق إلى مجموعة من التقنيات والطرق التجريبية المستخدمة في التقييم الكمي لظاهرة الحت الريحي. بعد ذلك، سنخصص فصلا عمليا نحاول فيه المساهمة في دراسة ظاهرة الحت الريحي على مستوى منطقة ورقلة، وذلك من خلال حساب متغيرات كل من سرعة الرياح والإشعاع الشمسي الكلي لتحديد البعد الزماني أين تكون هذه الظاهرة أكثر نشاطا.

أخيرا نختتم هذه الدراسة بعرض ومناقشة أهم النتائج المحصل عليها ، بهدف تحديد دالة تعبير عن تغيرات تأثير الرياح والإشعاع الكلي على الحث الريجي ، ومعرفة العلاقة بينهما في خلاصة عامة تتضمن نظرة مستقبلية من أجل دراسة أكثر دقة وأوسع زمانا ومكانا.

الفصل الأول :

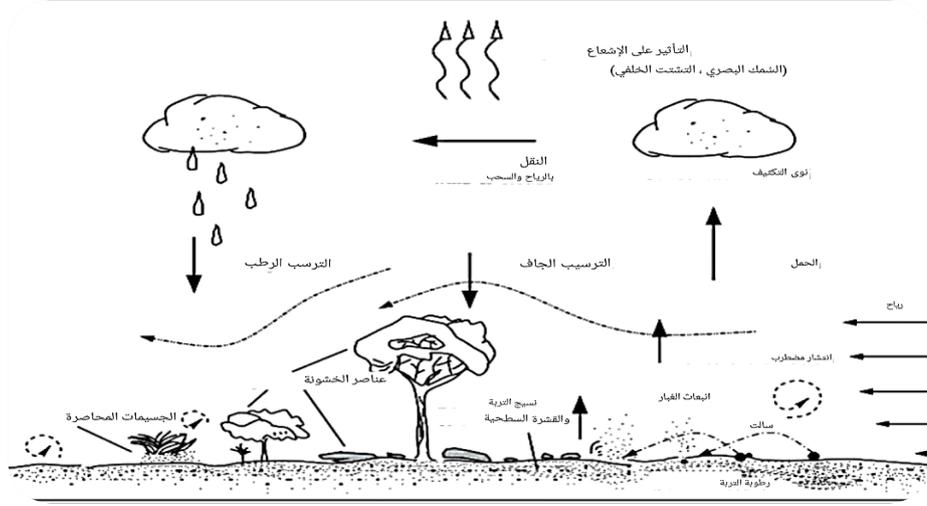
عموميات حول الحت الريحي

1.I مقدمة

تعد الرياح أحد العوامل الهامة والمؤثرة في الكثير من المظاهر الجيولوجية، مثلاً لتضاريس السطحية أين يظهر تأثيرها جلياً في المناطق القاحلة والصحاري عبر عمليات الحت. يمكن اعتبار الحت الريحي كظاهرة جيولوجية ومناخية تحدث على مدى فترات طويلة من الزمن في الصحاري والمناطق القاحلة في معظم الأوقات، حيث تستمر أحداثه دون أن يلاحظها أحد لكنها في بعض الأحيان تكون أكثر وضوحاً. أين تلعب الحبيبات العالقة في الغلاف الجوي، أي الهباء الجوي، دوراً مهماً في النظام المناخي، الذي يؤثر على إشعاع الغلاف الجوي بشكل مباشر، من خلال تشتت وامتصاص مكونات الإشعاعات المختلفة.

2.I مفاهيم عامة حول ظاهرة التآكل والتعرية الريحية

الحت الريحي هو ظاهرة نحت وتحرك حبيبات التربة بفعل الرياح وفق مراحل، من حبس الحبيبات ونقلها إلى ترسيبها كما هو موضح في الشكل (I-1). تتأثر هذه العملية بالعديد من العوامل التي تشمل كل من الظروف الجوية (مثل الأمطار ودرجة الحرارة...)، وخصائص التربة (مثل نوع التربة وتكوينها وتجميعها)، بالإضافة إلى خصائص سطح الأرض (مثل التضاريس والغطاء النباتي...). خلال عملية الحت الريحي تتفاعل كل هذه العوامل مع بعضها البعض، وخلال زمن كافي يمكن لهذه الظاهرة تعديل خصائص السطح المتآكل وبشكل ملاحظ [1].



الشكل (1-I): رسمت وضحى للمراحل الثلاث لتعرية الرياح، السحب، النقل، الترسيب [1]

1.2.I التآكل الريحي

يعرف التآكل بتفتت الصخور الصلبة ثم تحويلها إلى حبيبات صغيرة يمكن أن تحملها الرياح، قد تظهر في أي تربة سطحها جاف وغير محمي بالغطاء النباتي .

تتضمن الآليات الشائعة في هذه العملية التقاط حبيبات الغبار والتربة عند هبوب الرياح وخلخلة أو كشط المادة السطحية بتأثير الحبيبات المحمولة أصلاً في الجو .

2.2.I التعرية الريحية

نسمي ان تقال حبيبات التربة وغيرها من الحبيبات من مكان إلى آخر بالتعرية ، حيث تلتقط وتنقل الرياح الحبيبات أثناء هبوبها بثلاث طرق مختلفة وهي :الدحرجة، القفز، والتعليق، التي تعتبر الآلية الرئيسية لتكوين وتطوير الكثبان ، والانتقال بعيد المدى للرواسب من مكان إلى آخر في العالم .

تشير الدراسات الحديثة إلى انبعاثات الغبار العالمية تصل إلى 3000 مليون طن سنويا (تتراوح التقديرات بين 1000 و10000 مليون طن سنويا)، وتتراكم نسبة كبيرة من هذا الغبار في المحيط، حيث يتم حمل كميات كبيرة من المعادن والمواد العضوية مع حبيبات الغبار وإعادة توزيعها [1].

3.1) النماذج النظرية لدراسة الحت الريحي

1.3.1) تطورات البحث حول الحت الريحي

تجارب نفق الرياح: أجريت تجارب نفق الرياح للتحقيق في فيزياء الحت الريحي سواء في المختبر أو في الميدان، حيث ركزت هذه الدراسات على تقديرات سرعة العتبة للاحتكاك لأحجام من الحبيبات المختلفة، وقياس شدة انجراف الرمال في ظل ظروف الرياح والأسطح المختلفة، بالإضافة إلى دراسة آليات انتشار الغبار وتأثيرات خشونة السطح والغطاء النباتي على تآكل الرياح. ساهمت هذه الدراسات بشكل كبير في المعارف الأساسية حول ظاهرة الحت [1].

القياسات الميدانية: في السنوات الأخيرة تم إنشاء ونشر أبراج خاصة على مستويات مختلفة وفي أجزاء كثيرة في العالم ، تعمل على صيد وترسيب عينات الغبار وحساب تركيزه على مساحات واسعة ، بالإضافة إلى شدة انجراف الرمال والتربة وتحديد جميع المتغيرات المتعلقة بهذه الظاهرة [1].

تقييم تآكل الرياح: في المقياس القاري يتم تقييم الحت من خلال دراسة كل من قابلية التآكل وقدرة التعرية؛ حيث قابلية التآكل (erodibility) هي إمكانية واحتمال مدى استعداد السطح لعملية التآكل؛ قدرة التعرية أما (erosivity) فتصف قدرة الرياح على إحداث عملية التآكل.

اقترح شيلوونودروف (1963م) استخدام مؤشرات لتآكل الرياح وطورا نموذجا لحساب هذه المؤشرات مع بيانات سرعة الرياح والهطول والتبخر.

طبق تاينش وآخرون (1990م) نموذج شيبيلووندرروف لتحديد الحت الريحي في أستراليا. مع تطور نظم المعلومات الجغرافية (GIS) تم إيلاء المزيد من الاهتمام لعوامل التربة وسطح الأرض [1].

الاستشعار عبر الأقمار الصناعية:تكتشف المستشعرات الموجودة في الأقمار الصناعية الاشعاعات لمختلف أنماط سطح الأرض من خلال ترددات طيفية مختلفة، أين يتم تعيين هذه الترددات بالتوافق مع نوافذ الإشعاع الجوي وكمية امتصاص بخار الماء، أين يتم استغلال العديد من إشارات الاستشعار لعدة أهداف [1]:

1. تحديد العواصف الترابية ومراقبتها في الوقت الفعلي (لحظيا).

2. استنتاج متغيرات سطح الأرض والغلاف الجوي لغرض نمذجة الغبار.

3. معرفة متغيرات الهباء الجوي من خلال تعيين السمك والحمولة والسرعة .

4. تسجيل تواريخ الغبار على مدى مكاني وزماني طويل.

النمذجة التجريبية للحت الريحي: تعتبر معادلة تآكل الرياح (WEQ) (ووندروفوسيدواي

1965) وهي النموذج التجريبي الأكثر استخداما حيث يجمع كل المتغيرات التالية (نوع التربة ،الغطاء

النباتي ، الخشونة، المناخ والنطاق المكاني) . كمتوسطات سنوية لتقدير متوسط فقدان التربة السنوي. أما

على فترات أقصر تم تعديل (WEQ) بواسطة (بوندي وآخرون 1983) إلى النموذج (RWEQ)

(معادلة تآكل الرياح المنقحة)،أين تم تطوير نموذج للتوجه أكثر نحو العملية يسمى نظام التنبؤ بتآكل

الرياح (WEPS) حيث.

تجارب ميدانية واسعة النطاق: تم إجراء العديد من التجارب الميدانية واسعة النطاق لدراسة التعرية

الريحية والعواصف الترابية ودورة الغبار، حيث تعد تجارب تأثير الهباء على المناخ (ميكامي وآخرون

2006) وتجربة توصيف الهباء الجوي الإقليمي لآسيا والمحيط الهادي (هيبرت وآخرون 2003، اريموتو

وآخرون (2006) مثالان على ذلك، كما تم إنشاء شبكات استشعار والتقاط ومصادر للحصول على ملاحظات الغبار في مساحات واسعة مثل شبكة (AERONET)، وهي عبارة عن اتحاد لشبكات الهباء الجوي الأرضية للاستشعار عن بعد. تقوم هذه الشبكة بتقييم الخصائص البصرية للهباء الجوي والتحقق من صحة عمليات محاكاة الأقمار الصناعية لهذه العملية وهي قيد الاستعمال منذ 1993 وتقوم بتنفيذ إجراءات استشعار روتينية في حوالي 150 محطة حول العالم [1].

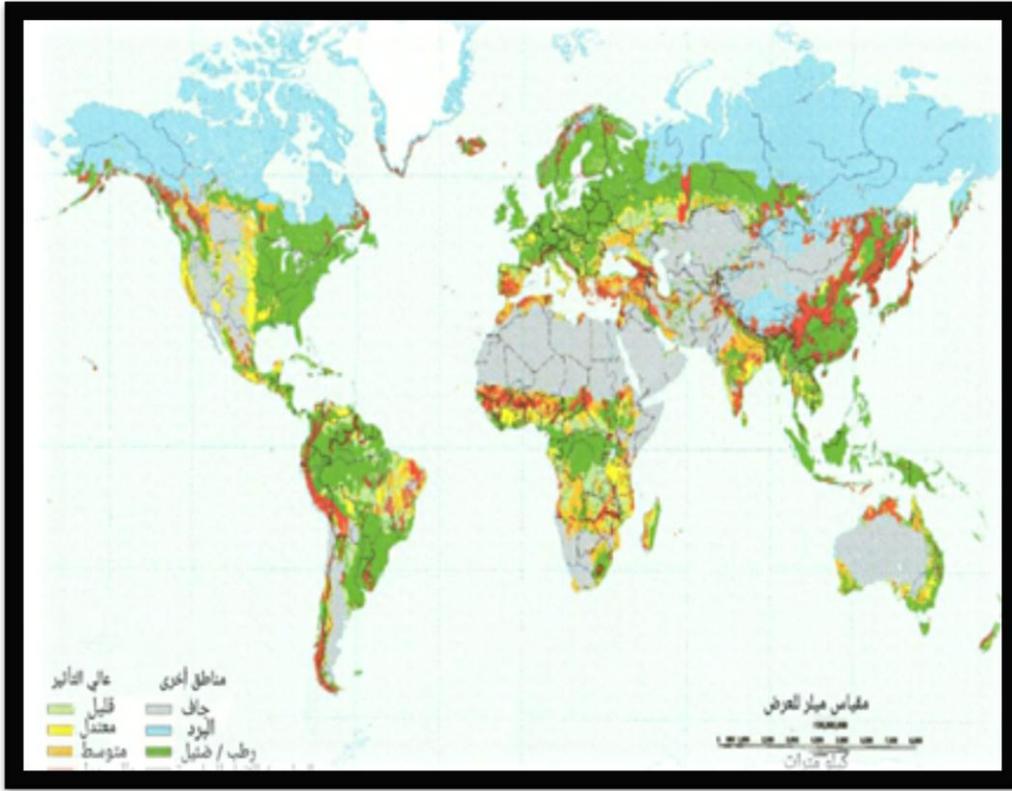
2.3.1 النمذجة المتكاملة لتآكل الرياح

تعتبر محاولة جلبيت وهانسون (1989) الأولى لتطوير نظام متكامل وسيستخدم بيانات الغلاف الجوي وسطح الأرض لتحديد الاختلافات المكانية ولزمانية لإنتاج الغبار في الولايات المتحدة الأمريكية. بعد ذلك طور مارتيكورنا وآخرون (1995-1997) نماذج لتآكل الرياح قائمة على الفيزياء لتحسين محاكاة ظاهرة تآكل الرياح [1].

تعتبر النمذجة المتكاملة للحت الريحي خطوة كبيرة في التنبؤ الكمي لتعرية الرياح والتحليل الشامل لعمليات تآكل الرياح، وتحديد العوامل الطبيعية والبشرية التي تؤثر عليها. حيث أن هذه العملية حساسة للمقادير التي لا يمكن استنتاجها بدرجة كبيرة من الدقة .

أظهرت الدراسات الحديثة أن أنظمة نمذجة تآكل الرياح المتكاملة يمكن أن تعطي نتائج مهمة مثل شدة انجراف الرمال، انبعاث الغبار وتركيزه...، التي يمكن مقارنتها مع البيانات المرصودة [1].

4.I) المناطق الرئيسية لتآكل الرياح

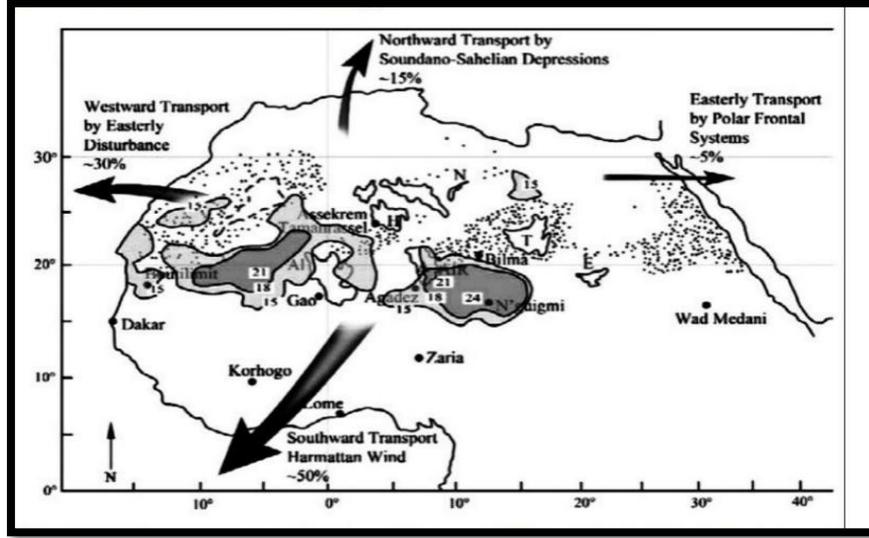


الشكل (I-2): خريطة تمثل المناطق الرئيسية لتآكل الرياح [1]

تنشط ظاهراً في التعرية والتآكل الريحي في مناطق متعددة عبر العالم ، وبما أن هذه العمليات استغرقت وقتاً كافياً ، جعلت هذه المناطق تتسبب بطابع تضاريس خاص ، حيث نجد الصحاري كدليل على هذه الظاهرة والتي تتواجد في معظم القارات عبر العالم والتي أهمها :

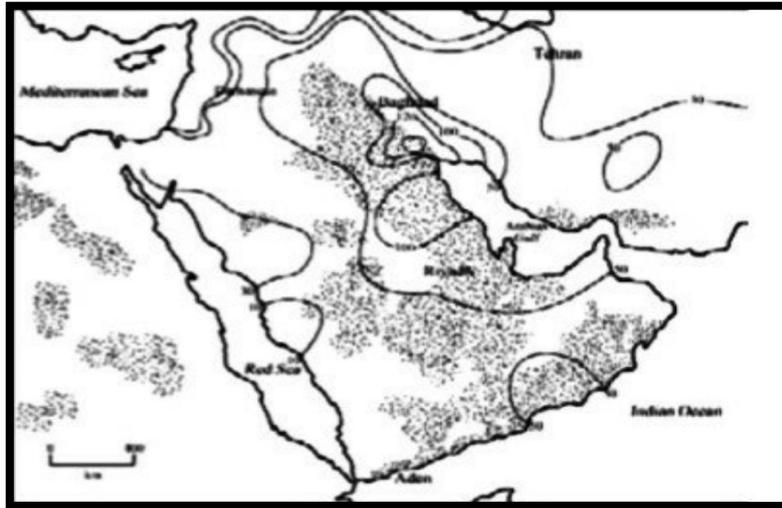
شمال إفريقيا: بمساحة 8.5 مليون كيلومتر مربع، تغطي الصحراء كل شمال إفريقيا تقريباً وتمتد طويلاً

لحوالي 5600 كيلومتر من ساحل المحيط الأطلسي غرباً إلى شواطئ البحر الأحمر شرقاً [1].



الشكل (I-3): التواتر السنوي للعواصف الترابية في شمال إفريقيا [1]

الشرق الأوسط: المكونة إلى حد كبير من الهضبة العربية وحوض دجلة والفرات [1].



الشكل (I-4): التواتر السنوي للعواصف الترابية في الشرق الأوسط [1]

آسيا الوسطى: تنشط التعرية الريحية في بحر قزوين ومنطقة آرال في آسيا الوسطى، بالإضافة إلى

تركمانستان وأوزبكستان وكازاخستان [1].

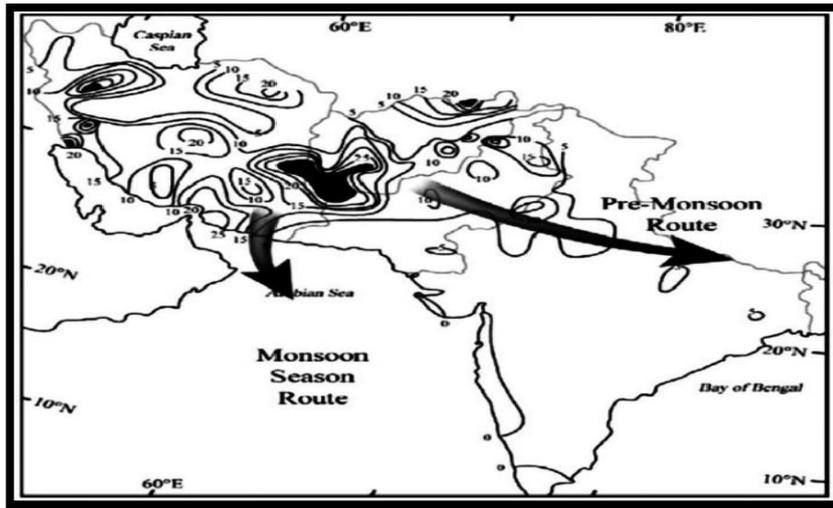


الشكل (I-5): التواتر السنوي للعواصف الرملية فيآسيا الوسطى [1]

جنوب غرب آسيا: يظهر نمط التربة الريحية في هذه المنطقة كما هو موضح في الشكل (I-6). تعد

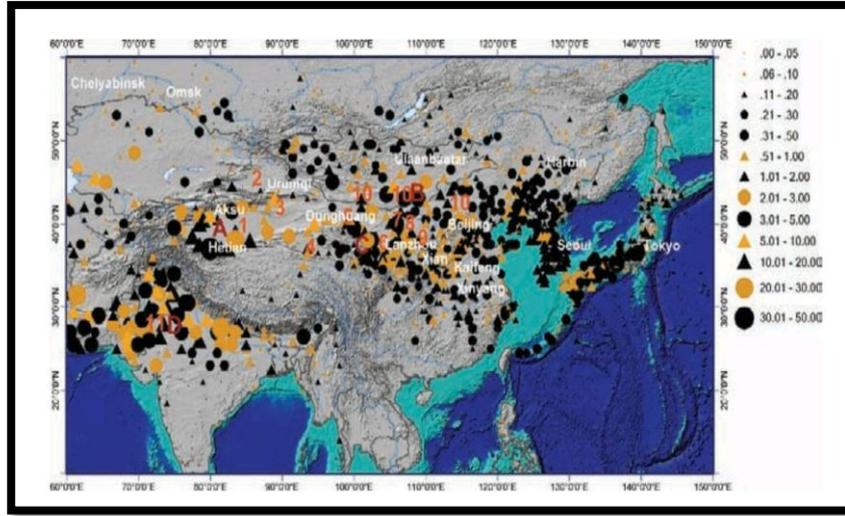
الصحاري الممتدة من إيران عبر أفغانستان وباكستان إلى شمال غرب الهند المصادر الرئيسية للغبار، والتي

تساهم في ارتفاع حمل الغبار فوق بحر العرب في الشتاء والصيف (بيسوأخرون 1998) [1].



الشكل (I-6): التواتر السنوي للعواصف الرملية في جنوب غرب آسيا [1]

شمال شرق آسيا: مصادر الغبار في شمال شرق آسيا هي المناطق الصحراوية في الصين ومنغوليا [1].

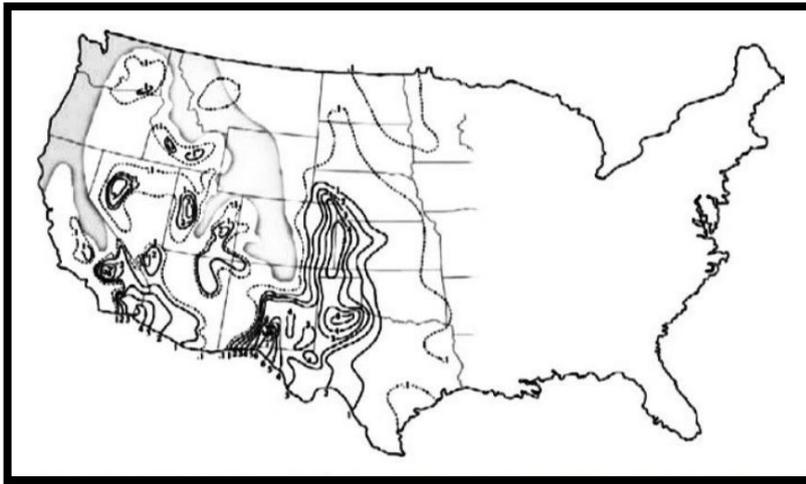


الشكل (I-7): التواتر السنوي للعواصف الرملية في شمال شرق اسيا [1]

الولايات المتحدة: تظهر الدراسات السابقة المستندة إلى سجلات الطقس أن مناطق أحداث الغبار

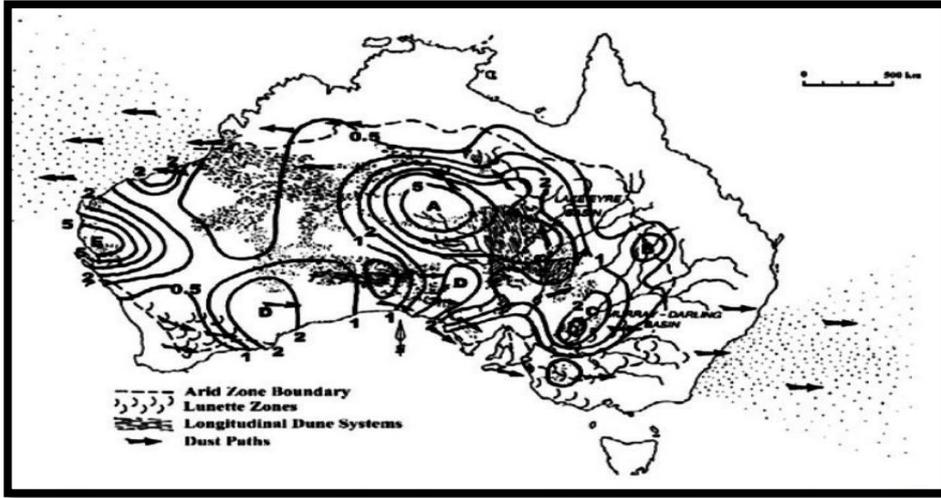
المتكررة هي مناطق مسالات تكساس وأوكلاهوما ونبراسكا وغرب كانساس وشرق كولورادو ووادي النهر

الأحمر في داكوتا الشمالية وشمال مونتانا [1].



الشكل (I-8) التكرار السنوي لأحداث الغبار في الولايات المتحدة [1]

أستراليا: تتعرض قارة أستراليا في معظمها إلى عمليات الحت والتعرية بشكل نشط .



الشكل (I-9): التواتر السنوي للعواصف الترابية في استراليا [1]

5.I تأثير الحركة العامة للغلاف الجوي

1.5.I العوامل المتحكمة في حركة الغلاف الجوي

هناك عدة عوامل تتحكم في الحركة العامة للغلاف الجوي أهمها:

- الطاقة الحرارية الإشعاعية للشمس: يشكل كل من سطح الأرض والغلاف الجوي نظاما متكاملًا يمكن تشبيهه بالمحرك الحراري الضخم، يمثل الغلاف الجوي الجزء المتحرك منه حيث يجعل من اختلاف كمية الشمس أداة لتحركه. فبسبب سقوط الأشعة الشمسية عمودية أو شبه عمودية على المناطق الاستوائية والمدارية تكون زاوية ارتفاع الشمس فوقها كبيرة جدا وبالتالي تتلقى هذه المناطق أكبر قدر من الشمس، بالمقابل يصل المناطق العليا ولقطبية أقل قدر من الشمس بسبب صغر تلك الزاوية. إضافة لذلك فإن الأشعة المائلة تعبر حيزا كبيرا من الغلاف الجوي مما يؤدي إلى ضياع جزء كبير من طاقتها بواسطة الانعكاس والامتصاص والتبعثر. علاوة على ذلك فإن الأشعة المائلة مقارنة بالأشعة

الفصل الأول : عموميات حول الحث الريحي

العمودية التي تتوزع على مساحة أكبر مما يقلل من كمية الطاقة الساقطة على وحدة المساحة في المناطق العليا ولقطبية. بالمقابل فإن ما يتلقاه سطح الأرض من طاقة إشعاعية شمسية ذات موجات قصيرة يشع بدوره طاقة حرارية إشعاعية أرضية ذات موجات طويلة - أشعة تحت الحمراء - تنطلق نحو الفضاء الخارجي.

بينت الدراسات أن ما تكتسبه المناطق المدارية والاستوائية من تشمس يزيد كثير عما تفقده من طاقة إشعاعية، بينما يكون الوضع معكوسا بالنسبة للمناطق العليا والقطبية إذ تفقد من الطاقة أكثر مما تكتسبه من التشمس.

تجري عمليات نقل الطاقة الحرارية وتبادلها بين دوائر العرض المختلفة وفق نظام محكم وثابت يضمن توازن المناخ على سطح الأرض. تتواجد الطاقة في الغلاف الجوي دائما في أشكال مختلفة تتحول باستمرار من شكل لآخر حين انتقالها بواسطة حركة الغلاف الجوي، وتعطى وفق المعادلة التالية:

$$R_n = Q = Lq + C_p \Delta T + mgz + m \frac{V^2}{2} \quad (1 - I)$$

دوران الأرض حول نفسها: ينتج عن دوران الأرض حول محورها قوى تؤثر في اتجاه الرياح وفي سرعة جريانها:

■ تسارع كوريوليس: تعمل على انحراف الرياح في النصف الشمالي للكرة الأرضية نحو يمين خط اتجاهها، ونحو يساره في النصف الجنوبي، حيث تكون عمودية باتجاه الرياح بحيث لا تؤثر في سرعتها لذلك فهي المسؤولة عن هبوب الرياح بشكل نظامي حول سطح الأرض خاصة في طبقات الجو العليا. يتناسب مقدار الانحراف طردا مع السرعة الزاوية للأرض (Ω) وسرعة الرياح الأفقية (V) وجيب درجة عرض المكان ($\sin \Phi$) الهابة فوقه. وتعطى بالعلاقة التالية :

$$C_0 = 2\Omega V \sin \Phi \quad (2 - I)$$

عادة ما يشار إلى القيمة ($2\Omega \sin \Phi$) بثابت كوريوليسوتتراوح قيمته بين الصفر عند خط الاستواء و(1.458×10^{-4}) عند القطب، أين تكون موجبة في النصف الشمالي وسالبة في نصفها الجنوبي.

▪ العزم الزاوي للأرض والغلاف الجوي: حيث ينتج عن كروية الأرض تناقص محيط دوائر العرض، وعليه فإن كلا من السرعة النطاقية للأرض والغلاف الجوي (V_z) ستختلف عند كل دائرة عرض وفقا للمعادلة التالية :

$$V_z = \Omega r \cos \Phi \quad (3 - I)$$

حيث:

$r \cos \Phi$: نصف قطر دائرة العرض في أي مكان على سطح الأرض (المسافة العمودية بين سطح الأرض ومحور دورانها حول نفسها).

حتى يحافظ الغلاف الجوي على سرعته النطاقية فإن وحدة الكتلة فيه بعزم زاوي (M) عند كل دائرة عرض يعادل:

$$M = \Omega r^2 \cos^2 \Phi \quad (4 - I)$$

يلاحظ من هذه العلاقة أن العزم الزاوي كبير عند خط الاستواء ويتناقص تدريجيا مع درجات العرض إلى أن ينعدم عند القطبين. يميل الغلاف الجوي إلى المحافظة على العزم الزاوي، فعندما تنتقل كتل هوائية باتجاه القطب ، أو إلى أي مكان تتناقص فيه المسافة بينه وبين محور دوران الأرض ، فإن سرعته تزداد إلى

حد يسمح بأن يظل عزمه الزاوي ثابتا بالعكس إذا تحركت كتلة هوائية اتجاه خط الاستواء أو أي مكان تزداد فيه المسافة بينه وبين محور الأرض ، فإن سرعته تقل إلى حد يحافظ فيه على عزمه الزاوي أيضا .
استنادا إلى ذلك تظهر أهمية العزم الزاوي باتجاه القطب في استمرار تدفق الرياح الغربية عبر المناطق الوسطى بسرعة أكبر من سرعة الأرض في هذه المناطق. بالمقابل تظهر أهميته باتجاه خط الاستواء بالمحافظة على تدفق الرياح الشرقية عبر المناطق المدارية، التي تمب أبطأ من سرعة الأرض[2].

■ **قوة الاحتكاك :** تعمل باتجاه معاكس للعزم الزاوي، التي تنتج عن احتكاك الرياح بسطح الأرض من جهة وعن لزوجة الهواء من جهة أخرى ، حيث تعمل هذه القوة على كبح جريان الهواء خلال أقل من أسبوع إذ لم يعوض عزمها الزاوي، فبدونها تنطلق الرياح بسرعة هائلة وتدوم لفترات طويلة جدا[2].

2.5.1)آلية دورة الغلاف الجوي

يمكن تقسيم دورة الغلاف الجوي العامة في كل من نصفي الكرة الأرضية إلى ثلاث خلايا رئيسية مترابطة مع بعضها البعض، وهي خلية هادلي ، خلية فريل ، والخلية القطبية ، لكن لكل منها آلية حركية مميزة تسود على نطاق واسع من درجات العرض على سطح الأرض، وذلك كما يلي[2]:

1. خلية هادلي :تقع خليتي هادلي بين درجتي عرض 0 و 30 شمالا وجنوبا، في هذه الخلية تقوم

تيارات الحمل الهوائية المتصاعدة الاستوائية باختراق طبقة التروبوسفير واصلة إلى حد التروبوبوز، من هناك تتجه شمالا وجنوبا باتجاه القطبين حاملة معها عبر الأجواء المدارية مقادارا عظيما من الطاقة على شكل طاقة كامنة وطاقة حرارية محسوسة إلى أجواء المناطق الوسطى والعليا. أثناء ذلك تحدث عمليات تبادل حراري بينها وبين هواء طبقات الجو التي تعبرها. فيتحول جزء من طاقتها الحرارية المحسوسة إلى أشعة تحت الحمراء تعمل على تسخين الجو ومن ثم تضييع إلى الفضاء الخارجي[2].

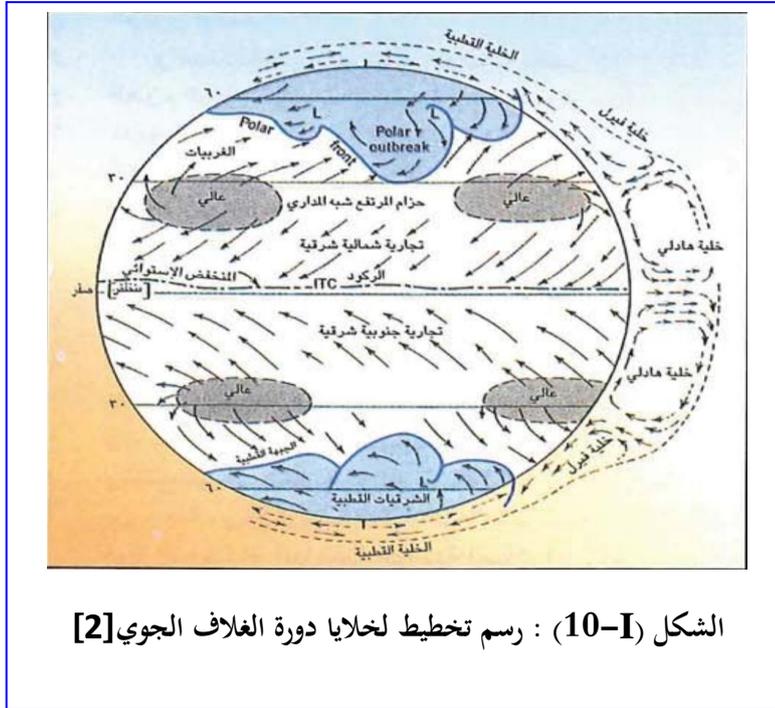
2. خلية فيريل: يطلق على هذه الخلية كذلك خلية المناطق الوسطى، التي تعود تسميتها إلى عالم الأرصاد الجوي الأمريكي فيريل الذي اقترح وجودها بين خلية هادلي والخلية القطبية في كل من نصفي الكرة الأرضية، في هذه الخلية تهب الرياح عبر المناطق الوسطى من أطراف حزامي الضغط المرتفعة شبه المدارية متجهة إلى المناطق العليا والقطبية على كافة المستويات السطحية والعالمية محتفظة بزخمها الزاوي فتزداد سرعتها عندما تعبر دوائر العرض التي تصغر باتجاه القطبين، ما إن تتحرك هذه الرياح مسافة قصيرة حتى تحرفها قوة كوريوليس نحو يمينها في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، ونحو يسارها في النصف الجنوبي.

بسبب انعدام قوة الاحتكاك في طبقات الجو العليا تهب الرياح العلوية مشكلة رياحا نطاقية تتجه من الغرب إلى الشرق تعرف بالغيبيات العلوية متحلقة حول الضغط المنخفض القطبي العلوي، تهب الرياح في النصف الشمالي من الكرة الأرضية من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي ، ومن الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي في نصفها الجنوبي ، مشكلة ما يعرف بالغيبيات السطحية أو العكسيات لأن اتجاهها معاكسا لاتجاه الشريقات المدارية، التي تعرف أحيانا بالغيبيات السائدة[2].

3. الخلية القطبية : تقع هذه الخلية في كل من نصفي الكرة الأرضية في المناطق العليا والقطبية بين درجتي عرض 60 و 90 شمالا وجنوبا، تشبه دورة هادلي، لكنها تجري على مقياس أصغر، يسود فوق كل من القطبين في طبقات الجو العالية ضغط منخفض، تتحلق حوله التيارات الهوائية الغربية العلوية، التي ما تلبث أن تهب خلال إلى سطح الأرض، فتتحول طاقتها الكامنة إلى طاقة حرارية محسوسة تحافظ على التوازن الحراري للمناطق القطبية، تشكل فوقها على ارتفاعات قريبة من سطح الأرض طبقة انقلاب حراري تعزل المناطق القطبية عن التغيرات التي تحصل في الغلاف الجوي الحر فوقها.

الفصل الأول : عموميات حول الحث الريحي

وتتضافر البرودة الشديدة مع الحركات الهوائية الهابطة مشكلة ضغطا مرتفعا على السطح يعرف بالضغط المرتفع القطبي. تنطلق منه رياح سطحية قطبية باردة نحو المناطق الوسطى والدينا، وبسبب قوة كوريوليس تنحرف نحو يمينها في النصف الشمالي من الكرة الأرضية مشكلة رياح شمالية شرقية، ونحو يسارها في النصف الجنوبي مشكلة رياحا جنوبية شرقية تعرف عادة بالشرقيات القطبية. تدفع هذه الرياح في مقدمتها جبهة باردة تعرف بالجبهة القطبية تفصل بينها وبين الرياح المدارية الدافئة المتجهة عبر المناطق الوسطى إلى المناطق العليا والقطبية. يتشكل على طول هذه الجبهة نطاق من الضغط المنخفض يعرف بالضغط المنخفض شبه القطبي عند دائرة 60 شمالا وجنوبا، تتجمع عنده الرياح السطحية وترتفع فوق الجبهة القطبية عائدة من الرياح الغربية العالية إلى القطب حيث تهب ببطء إلى سطح الأرض مكملة الخلية القطبية [2].



الشكل (10-I) : رسم تخطيطي لخلايا دورة الغلاف الجوي [2]

الفصل الثاني :

الأسس الفيزيائية للحت الريحي

1.II مقدمة

تتميز ظاهرة الحت الريحي بفيزياء معقدة لم يتم فهمها بدقة إلى يومنا هذا ، حيث تتطلب دراستها معرفة مجموعة واسعة من المتغيرات في كثير التخصصات مثل : ديناميكية الموائع، فيزياء التربة الهيدرولوجية السطحية... ، ولكن بصفة عامة الحت الريحي هو نتيجة لنوعين من القوى في العمل: القوى الديناميكية الهوائية التي تميل إلى إزالة الحبيبات من السطح والقوى التي تقاوم الإزالة مثلاً للجاذبية والتماسك بين الحبيبات.[1]

2.II تعريف حبيبات الرمل

هي مادة حبيبية طبيعية تتكون من جزيئات الصخور المفتتة الناعمة وفتات المعادن، تُعرّف من حيث الحجم على أنها المادة ذات الحبيبات الأصغر من الحصى، التي يختلف تكوينها تبعاً لمصادر الصخور المكونة لها وظروف تكوينها[5] .

3.II الخصائص الفيزيائية لحبيبات الرمل

تلعب الخصائص الفيزيائية الفردية للحبيبات، كالشكل والحجم والكثافة دوراً مهماً في حركة الحبيبات ونقلها وترسيبها، هذه الخصائص واسعة التمييز حيث يصعب قياسها بدقة من الناحية العملية، وعلى الرغم من هذا يجب وصفها بشكل دقيق ومناسب في أي نموذج للتعرية الريحية.[1]

1.3.II شكل الحبيبات

أثبتت الدراسات وجود فرق شاسع بين الأشكال المختلفة لحبيبات الرمل كما يوضح في الشكل (1-II)، الذي يظهر حبيبات التربة الغير منتظمة، والتي تتراوح من الكرات إلى الصفائح في شكلها العام

على الرغم من هذا فان خصائص الحبيبات الحقيقية متماثلة بالتقريب وذات شكل شبه كروي، أين يمكننا

تقدير قطر الحبيبة من المعادلة التالية: [1]

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{6m}{\pi\rho_p}} \quad (1. II)$$

$$m = \frac{\rho_p \pi^3}{6} \quad (2. II)$$

| 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 | |

الشكل (II-1): الخواص الاصطلاحية لحبيبات الرمل [1].

2.3.II حجم الحبيبات

حجم حبيبات الرمل يختلف من اقل 2 mm إلى اكبر من 0.1 μm وهي مقسمة إلى أربعة

أصناف كالتالي :

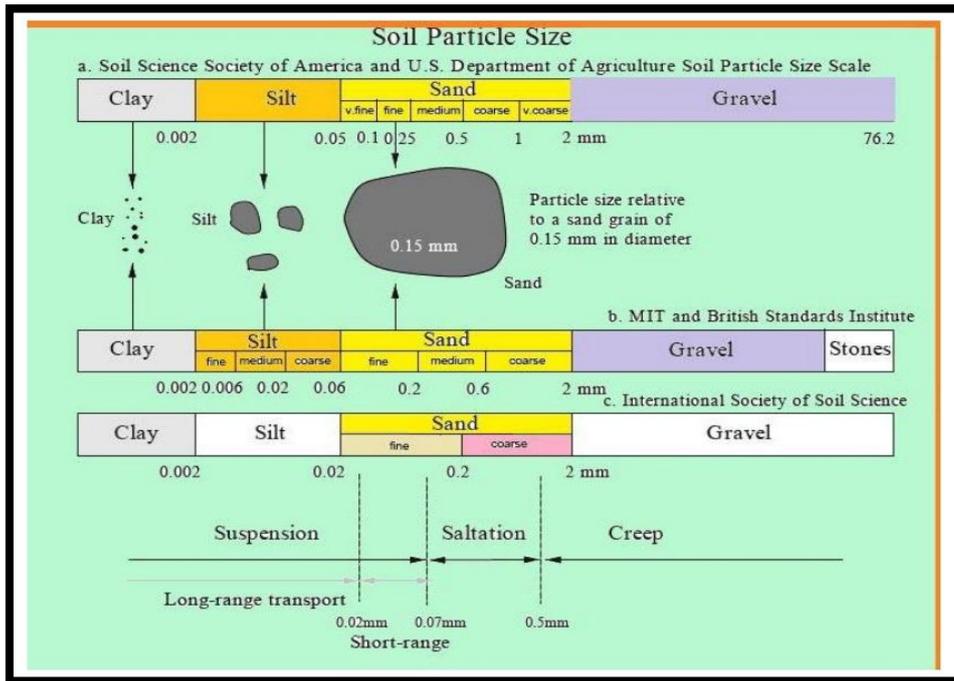
1_ الحصى (2 mm < d ≤ 76.2 mm)

2_ الرمل (0.05mm < d ≤ 2 mm)

3_ الطمي (0.002 mm < d ≤ 0.05 mm)

4 - الطين (d < 0.002 mm)

الشكل (II-2) التالي يوضح جميع أصناف الحبيبات

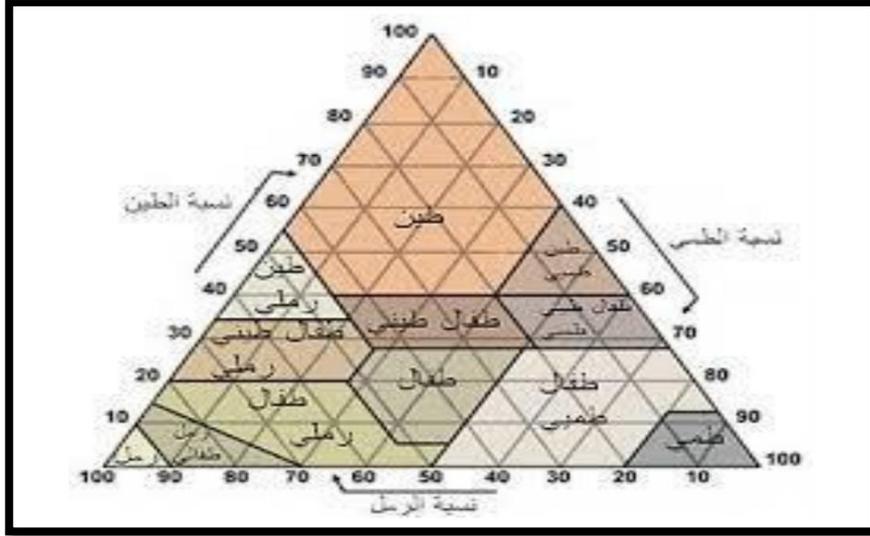


الشكل (II-2):رسم تخطيطي يوضح أصناف حبيبات الرمل.[7]

3.3.II أنواع حبيبات الرمل (نوعية التربة)

تصنف حبيبات الرمل باختلاف أحجامها حسب نوعية التربة المنتجة لها، وذلك من خلال المزج

بين أصناف رئيسية هي الطمي والطين والرمل، كما يبينهم خطط الطور التالي



الشكل (II-3): رسم تخطيطي يمثل حالات امتزاج أصناف حبيبات الرمل. [1]

4.II القوى المؤثرة على الحبيبات

من اجل حبيبات الرمل ذات القطر d ومن خلال معرفة توازن القوى F_i, F_d, F_l, F_g . كما هو

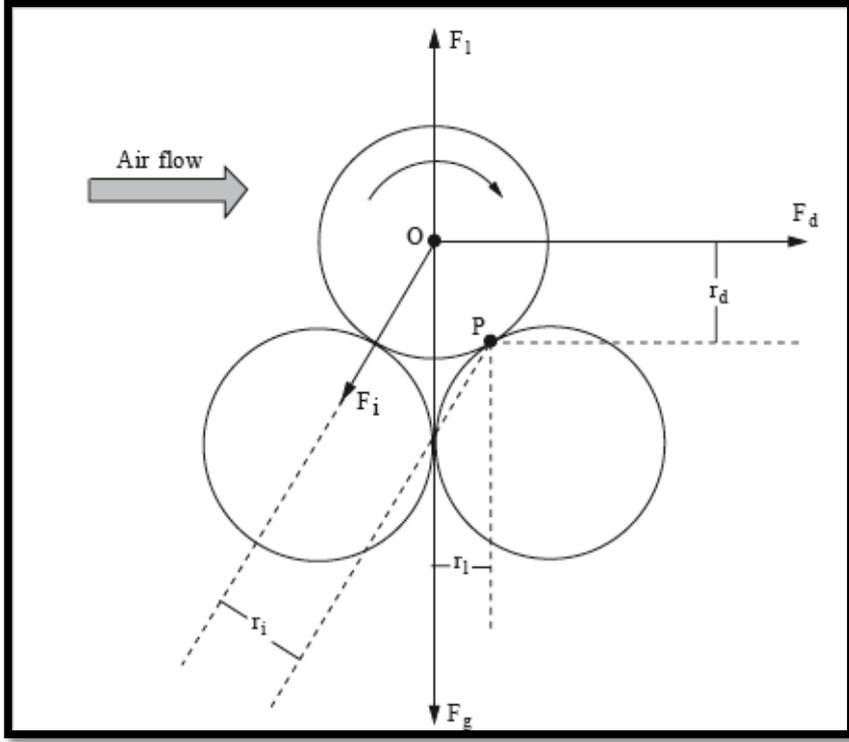
موضح في الشكل (II-4): حيث:

F_g قوة الجاذبية

F_l قوة الدفع الهوائي

F_d قوة السحب الهوائي

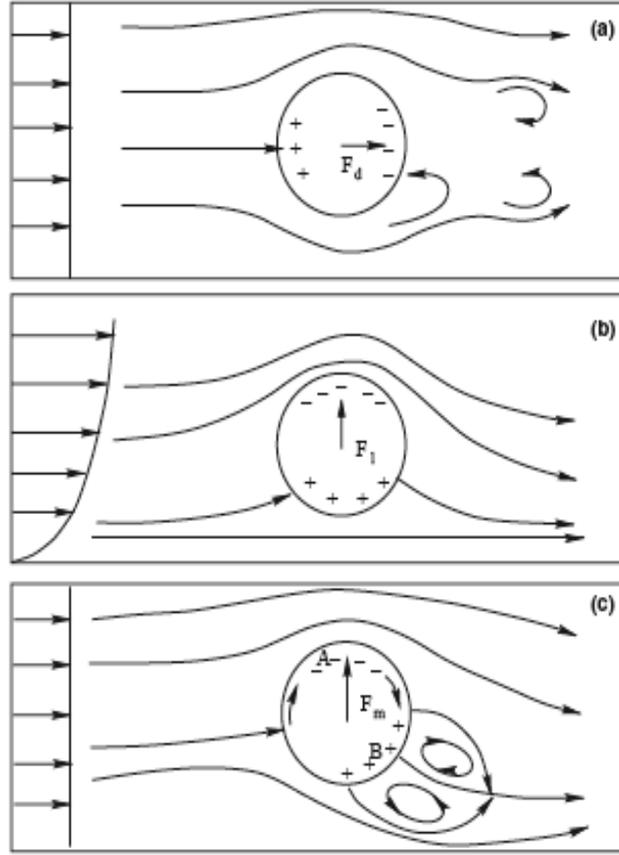
F_i قوة الداخلية.



الشكل (II-4): رسم تخطيطي يوضح توزيع القوى [1].

r_i, r_b, r_1 أطوال ذراع لحظة مرتبطة بالقوى و O هي مركز ثقل الحبيبة و P هي النقطة المحورية لحركة الحبيبات.

المبدأ الفيزيائي في السحب الديناميكي للهواء موضح في الشكل (II-5)



الشكل (II-5): رسم توضيحي لقوى السحب الديناميكي. [1]

حيث أن (a) يمثل السحب الديناميكي الهوائي بسبب التأثير اللزج مع فصل التدفق والاضطراب.

يشار إلى ارتفاع ضغط المائع على الكرة بالموجب والضغط المنخفض بالسالب، ويعطى بالمعادلة التالية

$$F_d = -\frac{1}{2} C_d \rho A u_r U_r \quad (3. II)$$

حيث:

C_d : معامل السحب الديناميكي الهوائي.

A : المقطع العرضي للحيبة في اتجاه u_r يساوي $\pi d^2 / 4$ للحيبات الكروي.

U_r : سرعة المائع

B الرفع الديناميكي الهوائي بسبب تأثير برنولي على حبيبة كروية في تدفق القص.

يكون الضغط أعلى في الجانب السفلي من الحبيبة حيث سرعة المائع أصغر، بينما الضغط أقل في

الجانب العلوي وسرعة المائع أعلى، يعطى حسب معادلة برنولي من معادلات الحركة لحالة ثابتة غير متوازنة

وتدفع باروتوبي كما يلي

$$\frac{1}{2}u^2 + \frac{p}{\rho} + gh = \cos st \quad (4. II)$$

حيث:

U : سرعة التدفق على طول الانسياب.

h : ارتفاع الانسياب فيما يتعلق بالمستوى المرجعي.

بشكل عام ينشأ الرفع الديناميكي الهوائي من القصفي التدفق مما ينتج عنه تدرج ضغط طبيعي

للقصف باتجاه انخفاض السرعة.

بطريقة مشابهة للسحب الديناميكي الهوائي، يمكن إعطاء الرفع الديناميكي الهوائي كما يلي :

$$F_l = \frac{1}{2} C_l \rho A (\nabla U^2) d \quad (5. II)$$

حيث

∇U^2 : هو انحدار $U=U(x,y,z)$.

C_l : هو معامل الرفع الديناميكي الهوائي.

C : قوة ماغنوسب سبب دوران الحبيبات.

يكون الناتجة عن مزيج من تأثير برنولي والتأثير اللزج على حبيبة في الجانب العلوي من الحبيبة،
بذلك تدور الحبيبة في نفس اتجاه حركة الموائع وتكون سرعة المائع أعلى نسبيا ، أما الضغط : فأقل نسبيا
من الجانب السفلي، حيث تدور الحبيبة في الاتجاه المعاكس إلى لزوجة المائع بفعل القوة التالية :

$$F_m = \pi \rho \frac{d^3}{8} (\Omega_p \times u_r) \quad (6. II)$$

حيث :

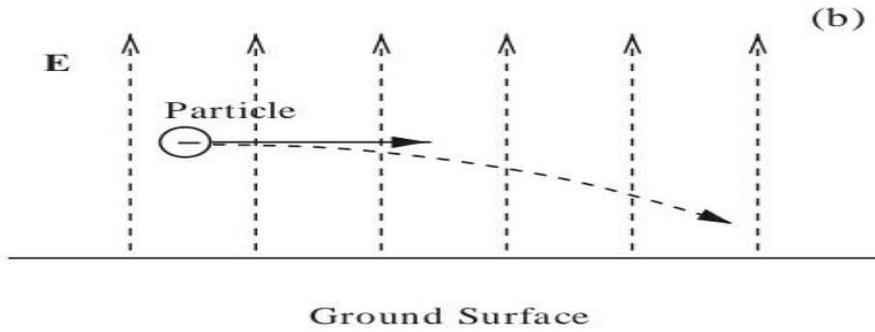
Ω_p : هي السرعة الزاوية للحبيبة.

في حالة حبيبات التربة المشحونة يتم إنشاء مجال كهربائي E بالقرب من السطح بسبب حركة
الرياح. كما تبينه المعادلة التالية :

$$F_e = m C_e E \quad (7. II)$$

حيث :

تكون الشحنة المحددة لحبيبات التي تهب عليها الرياح موجبة أو سالبة لكنها تعتبر سالبة بشكل
عام. كما يوضحه الشكل التالي:



الشكل (6-II): رسم توضيحي لجسيم سالب الشحنة يتحرك في المجال الكهربائي القريب من الصفر

[1].

5.II حركة الحبيبات

تتركز عملية رفع حبيبات الرمل على الديناميكية القريبة من السطح، التي يتم التحكم فيها بواسطة شدة الاضطراب الذي يؤدي إلى نقل حبيبات الرمل، ولكن يمكن حصر أنواع نقل الرياح لحبيبات الرمال في ثلاثة أشكال مختلفة وهي كالتالي:

1. الدحرجة (الزحف) :

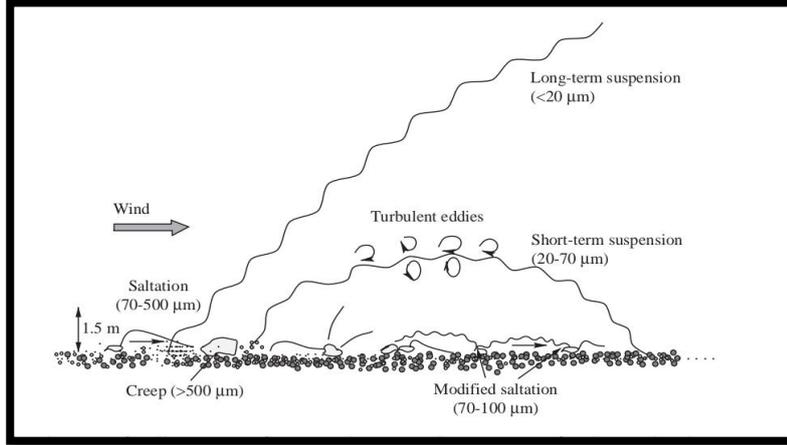
تتم هذه العملية عن طريق نقل الحبيبات التي يزيد قطرها عن 2mm والتي لا يمكن رفعها ولكن نظرا لحجمها الكبير يمكن لحركة الرياح أن تدحرجها أفقيا ، وذلك بإزاحة بطيئة .

2. القفز :

يمكن للرياح أن تحمل الحبيبات التي يصل قطرها إلى 100um إلى ارتفاعات متوسطة حيث تعمل الحادثية على إعادتها إلى السطح في فترات زمنية قصيرة ، هذه العملية تتم عند سرعات مناسبة للرياح .

3. التعليق :

إذا كانت الحبيبات صغيرة بدرجة كافية (أقل من 100um) ، فإن الرياح تعمل على تعليق هذه الحبيبات في الجو لفترات زمنية كبيرة ، حيث يمكن أن تقطع مسافات كبيرة في نطاق الغلاف الجوي.



الشكل (II-7): رسم تخطيطي يوضح طرق نقل حبيبات الرمل. [1]

6.II مفهوم سرعة احتكاك العتبة

هي خاصية لسطح التربة مرتبطة بسرعة القص للرياح بالقرب من السطح ، التي يصف قدرة السطح على مقاومة تآكل الرياح. يمكن التعبير عنها بـ u_{*t} كدالة لحجم الحبيبات فقط. فكان من المهم إنشاء علاقة $u_{*t}(d)$ لسرعة احتكاك العتبة، فتم اشتقاق العديد من النظريات الخاصة بـ $u_{*t}(d)$ للتربة على سطح جاف وغير محمي.

1.6.II مخطط باجنولد

يتم تحديد $u_{*t}(d)$ بواسطة توازن F_d و F_l و F_g ، كما هو موضح في الشكل (II-4) ، في لحظة حركة الحبيبات يمكن الحصول على توازن القوى، في لحظة الانطلاق حبيبة (o) القوتين F_g و F_i تندمجان بفعل القوى F_d و F_l ، الحبيبة (o) تندرج على سطح الحبيبة المجاورة فوق النقطة (p) فتتوازن القوى في هذه اللحظة وتكون عزوم القوى كما يلي :

$$r_d F_d + r_l (F_l - F_g) + r_m F_m - r_i F_i = 0 \quad (8. II)$$

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

المعادلة (8.II) تكتب بدون أبعاد كما يلي :

$$a_d F_d + a_l (F_l - F_g) + a_m F_m - a_i F_i = 0 \quad (9. II)$$

من اجل تبسيط المعادلة يمكن الاعتبار نظريا مساهمة قوتين أساسيتين هما قوة السحب F_d وقوة

الجاذبية F_g .

فنحصل على ما يلي :

$$a_d F_d - a_l F_g = 0 \quad (10. II)$$

قوة السحب F_d تحقق دراسة الحبيبات فيصنف الرمل ،أين تعطى علاقة قوة السحب بالعلاقة :

$$F_d = \frac{1}{2} C_{ds} \rho A_s U_s^2 \quad (11. II)$$

حيث C_{ds} : معامل قوة السحب و A_s السطح العمودي على اتجاه تدفق الهواء و U_s : سرعة تدفق.

لكن يصعب تحديدها بالاقتراب من السطح، ومنه يمكن تقريب العلاقة السابقة كالشكل التالي:

$$F_d = K_D \rho d^2 u_*^2 \quad (12. II)$$

حيث :

K_D معامل دالة بلا أبعاد المتعلقة بالمعامل رينولدز المتعلق بالسرعة الحبيبات الرمل.

حيث معامل رينولدز $Re_{*t} = u_* d / \nu$ ، بفرض $a_d = a_l$ في المعادلات السابقة نحصل على المعادلة

التالية :

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

حيث $A_B = A_B(Re_{*t})$ معامل متعلق بـ $Re_{*t} = u_* d/v$ ويسمى بمعامل رينولدز لسرعة احتكاك الحبيبات.

وجد أن A_B هي عبارة عن حسابات رقمية: المعطيات تجريبية تكون في حدود (0.2_0.1) من

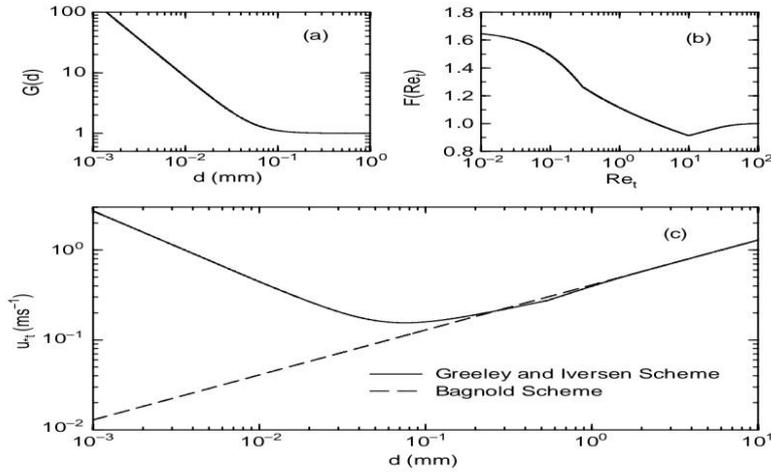
اجل قيم $Re_{pt} > 3.5$ هذا يعني أن $u_{*t}(d)$ تكون متناسبة $d^{1/2}$ ومنه أعطيت قيمة قياسية لـ A_B المعادلة التالية :

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

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

التجارب وأظهرت أن U_t تكون بقيم دنيا عند أقطار الحبيبات ذات القيمة التالية ($75_100 \mu m$)

تكون أعظمية بتغير سريع عند اصغر الحبيبات ($d \ll$) كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل (8-II): منحنيات تمثل قيم U_t عند أقطار الحبيبات ذات القيمة ($75_100 \mu m$) وعند

اصغر الحبيبات $d \ll$ [1]

2.6.II مخطط غريلي وإيفرسون:

عند انخفاض حجم الحبيبات للحبيبات الصغيرة بسبب التماسك بين الحبيبات، تكون الزيادة السريعة لـ u_* ويصبح التماسك بين الحبيبات أكثر أهمية ، وبالتالي F_i لم يعد من الممكن إهمالها من المعادلة (8.2) بدلا من تأثير رقم رينولدز (غريلي وإيفرسن 1985) ثم تحسين نموذج اجنولد في قوة تماسكا الحبيبات والرفع الديناميكي بإضافة إلى السحب الديناميكي الهوائي وقوة الجاذبية. أين يعبر عن قوى السحب والرفع والعزم على النحو التالي:

$$F_d = K_D \rho u_*^2 d^2 \quad (15. II)$$

$$F_l = K_L \rho u_*^2 d^2 \quad (16. II)$$

$$F_m = K_M \rho u_*^2 d^2 \quad (17. II)$$

حيث :

K_D : معاملات تجريبية بلا أبعاد مرتبطة بالسحب الديناميكي

K_L : الرفع الديناميكي

K_M : العزم

ويكون التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية :

$$a_d F_d + a_l F_l + a_m F_m = (a_d K_D + a_l K_L + a_m K_M) \rho u_*^2 d^2 \quad (18. II)$$

نضع :

$$a_t K_T = a_d K_D + a_l K_L + a_m K_M \quad (19. II)$$

بتعويض المعادلة (18.II) في (19.II) ثم في المعادلة (8.II)، المعادلات (14.II) تعطي ما يلي :

$$A^2_B = \frac{\frac{a_l}{6} \left[1 + \frac{6a_i}{\pi a_l} \frac{F_i}{\rho_p d^3 g} \right]}{a_t K_T} \quad (20. II)$$

3.6.II مخطط شاو ولو ونيومان :

قام شاوولو بإدخال تحسينات على مخطط غريلي وإيفرسون من خلال معالجة صريحة لقوة التماسك

نفترض من الناحية النظرية أن قوة التماسك بين الحبيبات تتناسب مع حجم الحبيبات حيث :

$$F_i = \beta_c d \quad (21. II)$$

حيث :

β_c : هي متغير الأبعاد بالنسبة لمجموعة من حبيبات، اقترح فليس أن $\beta_c = N/m 10^{-5}$

ومنه يمكن إعادة كتابة المعادلة (9.II) بالشكل التالي :

$$a_t K_T \rho u^2_{*t} d^2 = a_l \frac{\pi}{6} \rho_p g d^3 + a_i \beta_c d \quad (22. II)$$

حيث يجب أن يكون المعامل بلا أبعاد K_T دالة لـ Re_{*t}

ومنه :

$$u^2_{*t} = f(Re_{*t}) \left(\sigma_p g d + \frac{\gamma}{\rho d} \right) \quad (23. II)$$

$$f(Re_{*t}) = \frac{\pi a_l}{6 a_t} \frac{1}{K_T} \quad (24. II)$$

$$\gamma = \frac{6 a_i}{\pi a_l} \beta_c \quad (25. II)$$

يعتمد التماسك بين الحبيبات أيضا على عدة عوامل أهمها رطوبة التربة . لذلك اعتبر نيومان

(2003) تأثير رطوبة التربة على قوة التماسك بين الحبيبات [1] واقترح أن المعادلة (21.II) على

الشكل التالي :

$$F_i = \beta_c d + |\Delta P| A_c \quad (26. II)$$

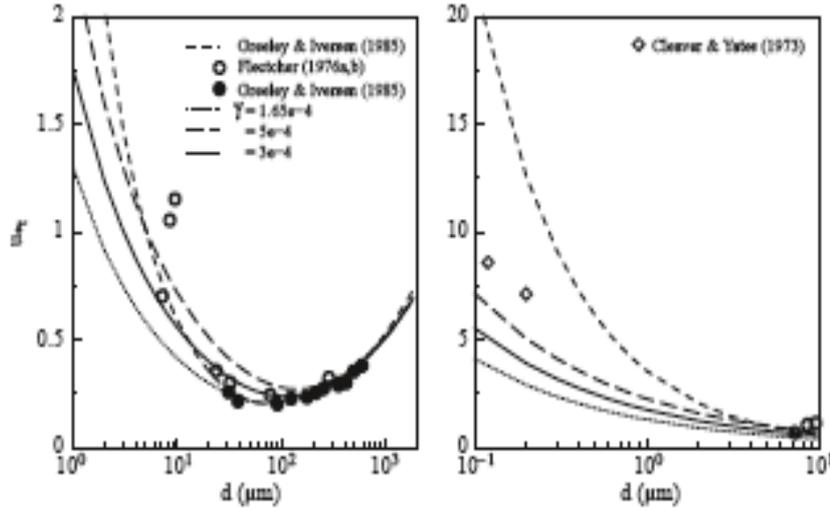
A_c : منطقة بين الحبيبات المجاورة.

ΔP : تغير ضغط الامتصاص الشعري.

بالتالي تصبح معادلة (25.II) على النحو التالي :

$$u^2_{*t} = A^2_2 f(Re_{*t}) (\sigma_p g d + \frac{\gamma'}{\rho d^2}) \quad (27. II)$$

$$\gamma' = \frac{6 a_i}{\pi a_1} (\beta_c d + |\Delta P| A_c) \quad (28. II)$$



الشكل (II-9): منحنيات تغيرات سرعة احتكاك العتبة بدلالة نصف القطر [1].

7.II سرعة الحبيبات

عندما تتحرك الحبيبات في الجو فإنها تتعرض لقوة الجاذبية وقوة الاحتكاك التي تتناسب طرديا مع قطر

الحبيبة وسرعتها إذن :

$$F = 6k\mu RV \quad (29. II)$$

بما أنه قوة (دفع الهواء للحبيبة) هي :

$$F_A = mg \quad (30. II)$$

ومنه نستنتج قانون ستوكس الذي يعبر عن سرعة الحبيبة [11] كما يلي :

$$V_s = \frac{2gR^2(\rho_s - \rho_A)}{g\mu} \quad (31. II)$$

الفصل الثالث :

تقنيات قياس الحث الريحي

1.III مقدمة

تعتبر تقنيات القياس في مجال الحث الريحي ذات أهمية بالغة ، من حيث كمية المعلومات التي يتم تسجيلها وعدد المتغيرات التي يجري قياسها ، في مجال زمني مهم ومكاني واسع النطاق ، لهذا نخصص هذا الفصل في دراسة أهم التقنيات المتاحة والمعروفة للدراسات الروتينية في هذا المجال .

2.III تقنيات قياس التربة

أهم الكميات التي يجب قياسها في أبحاث التعرية الريحية هي تدفق الملوحة في مجرى التيار Q وتدفق الغبار العمودي F .

تختلف تقنيات قياس هذين التدفقين تماما، حيث يمكن قياس Q باستخدام العديد من مصائد الرمل، بينما يتم استنتاج F من خلال قياس المظهر الجانبي لتركيز الغبار ، وذلك بافتراض أن تركيز الغبار متجانس أفقيا، حيث يمكن تقدير تدفق الغبار العمودي لمجموعة من الحبيبات المعنية ذات الحجم d من خلال المعادلة التالية [1]:

$$F(d) = -w_t(d)c(z . d) - K_p(z . d) \frac{\delta c(z . d)}{\delta z} \quad (1. III)$$

1.2.III أجهزة أخذ العينات السلبية

يتم استخدام عدة أنواع من أجهزة أخذ العينات السلبية لقياس انتقال الرمل أهمها :

- مصيدة باجنولد للرمل

عبارة عن مصيدة عمودية تقيس انحراف الرواسب المتدفقة عموديا . تكون بارتفاع 0.76m وعرضه 13mm، ولها شكل يقلل من التداخل مع تدفق الهواء ، كان هناك العديد من التعديلات الأخيرة حيث يتراوح ارتفاع هذه المصيدة ما بين [0.5m_1m] وعرضها 1m.

يتم توجيه الرواسب الموجودة في الجهاز إلى أسفل ظهره ويتم تجميعها في حاوية تقع أسفل السطح. يمكن توصيل هذا النوع من مصائد الرمل بمكنسة كهربائية لتنشيطه [1].



الشكل (III-1): المصيدة العمودية للرواسب [1]

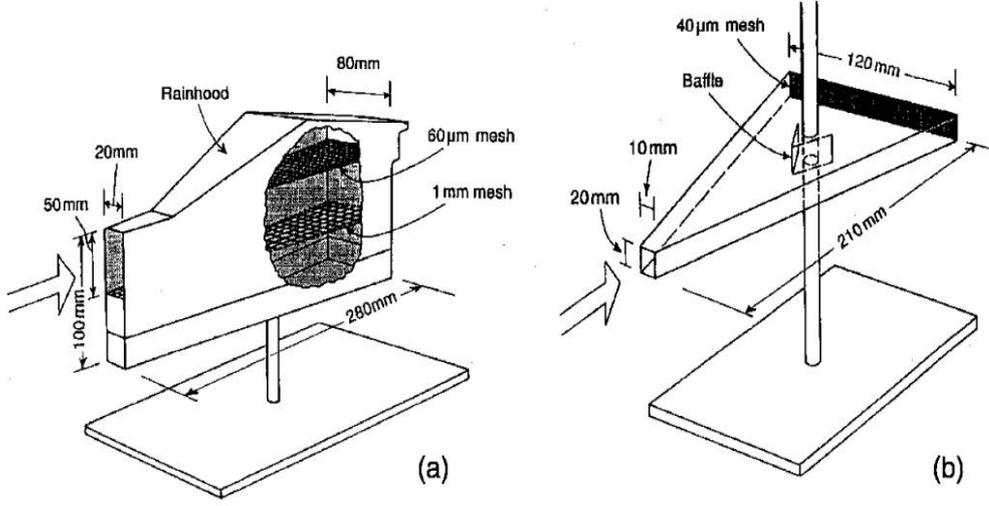
• مصيدة الرمل من فريير (1986)

مصيدة قوية أحادية النقطة للاستخدام الميداني، خاصة للتطبيقات التي تتم في فترات تعرض طويلة حيث تبلغ مساحتها $20 \times 50 \text{mm}^2$ وذات منطقة مخرج كبير مغطاة بشبكة سلكية بثقوب $60 \mu\text{m}$.
اختبرت الخصائص الديناميكية هذه المصيدة في تجارب نفق الرياح، ومن خلال مقارنة سرعة التدفق عند مدخل جهاز أخذ العينات بالرياح غير المضطربة. وجد أن سرعة التدفق خلال المصيدة أقل بحوالي 5% من سرعة التدفق غير المضطرب. لذلك فإن هذه المصيدة تستعمل بكثرة. لقياس تدفق الرمل وتتمتع مصيدة فريير الرملية بكفاءة أخذ عينات شاملة تتراوح ما بين 86% و95% [1].

• مصيدة الرشح (1982)

هي مصيدة صغيرة أحادية النقطة ذات تصميم بسيط يستخدم بشكل رئيسي في تجارب نفق الرياح. هذه المصيدة على شكل إسفين بزاوية 12 درجة ومساحة أمامية $20 \times 10 \text{mm}^2$. يتم تطبيق شبكة سلكية بثقوب $40 \mu\text{m}$ في الجزء الخلفي من المصيدة مما يسمح بسحب الهواء من خلالها. بشكل واضح يسمح هذا التصميم أيضا لبعض الحبيبات التي تقل قطرها عن $40 \mu\text{m}$ بالهروب، ويتم وضع حاجز بزاوية 60 درجة داخل المجمع لتقليل تراكم الضغط ومنع تلف الشبكة السلكية بسبب سرعة الحبيبات الكبيرة.

الكفاءة الإجمالية لهذه المصيدة تعتمد على سرعة الرياح، عند سرعة رياح منخفضة نسبياً (9m/s) تبلغ كفاءة المصيدة حوالي 83% لكنها تزداد إلى حوالي 90% عند سرعة رياح تبلغ (12m/s) [1].



الشكل (III-2): الرسم التخطيطي لتجارب فريير [1]

2.2.III أجهزة أخذ العينات النشطة

● جهاز أخذ العينات متساوي الحركة

يشيع استخدامه لقياس تركيز الغبار له فتحة صغيرة وتواجه الرياح تلقائياً ويتم التحكم في الهواء عبر الفوهة بواسطة صمام إبراء ومقياس تدفق مدمج في خط الفراغ، يتم جمع جزئيات الغبار المعلقة على مرشحات غشائية حوالي $0.1\mu\text{m}$ أو مرشحات الألياف الزجاجية $0.6\mu\text{m}$. بعد فترة زمنية معينة يتم جمع الملفات وتحليلها في المختبر لتحديد الوزن وخصائص حجم الحبيبات في العينة التي يتم جمعها [1].

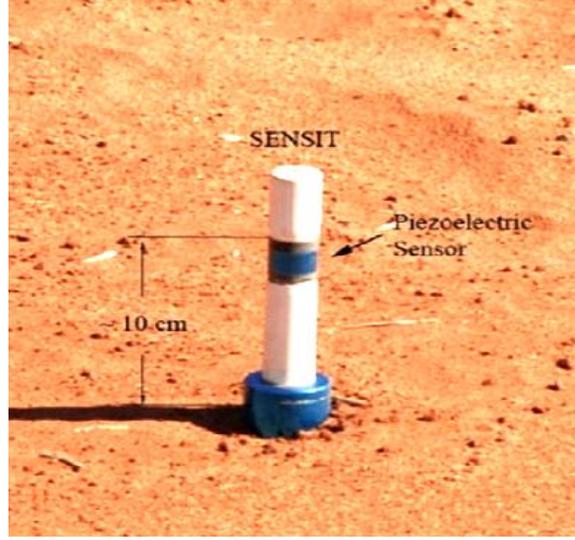


الشكل (3-III): جهاز أخذ العينات متساوي الحركة [1]

3.2.III- مستشعرات التأثير

• مستشعر حساس (sensit)

يحتوي على بلورة كهروضغطية تستجيب لتأثير الطاقة الحركية للحبيبات على سطحها وتخرج إشارة تتناسب مع العدد والكثافة. مثل هذه التأثيرات لا تميز إشارة النبض ما إذا كانت الطاقة الحركية ناتجة عن عدد كبير من إشارة المستشعر لفترة زمنية ويمكن تفسير هذه الإشارة على أنها مقياس لتدفق الكتلة [1].



الشكل (4-III): مستشعر حساس [1]

● مستشعر (Safire) (مستجيب تأثير التدفق)

المكون الرئيسي عنصر كهروضغطي صغيرة موجودة في أنبوب قطره 2 cm وارتفاعه 30cm، يتم تثبيت حلقة محيطية على الأنبوب ويتم توصيلها بالعنصر الكهروضغطي من خلال زوج من الخيوط، يبلغ قطر الحلقة 2 cm وارتفاعها 2 cm وتوفر مساحة أمامية تبلغ 4 cm^2 . تتم حمايته بغمد مطاطي ويتم نقل التأثيرات التي تحدثها الحبيبات على الحلقة الحساسة من خلال الأسلاك إلى العنصر الكهروضغطي داخل الأنبوب، الذي يولد بدوره نبضات كهربائية صغيرة [1].

● مستشعر (saltiphone)

عبارة عن ميكروفون، ينتج عن مرور حبيبة الرمل التي تصطدم بالميكروفون ضوضاء عالية التردد يمكن تمييزها عن الضوضاء الأخرى التي تسببها الرياح والأمطار، يتم تضخيم الضوضاء عند هذا التردد العالي البالغ حوالي 8kHz بينما منع الضوضاء عند الترددات الأخرى باستخدام مرشح ضيق النطاق [1].

4.2.III)عداد جهاز الرمل (SPC)

هو أداة تسمح بقياسات (SPC) تدفقات الملوحة على نطاق حجم الرمل بأكمله: من خلال أخذ عينات بمعدل مرتفع، جهاز SPC يستخدم الليزر لتوليد شعاع ضوئي وجهاز استشعار لاكتشاف إشارة الضوء. عندما تمر حبيبات عبر شعاع الضوء تنخفض شدته بما يتناسب مع حجم الحبيبات، يبلغ قطر شعاع الليزر من [2mm _ 380nm] والفاصل بين مصدر الضوء والكاشف 25mm، بهذا تبلغ مساحة أخذ العينات 50mm^2 . يتراوح حجم حبيبات بين $38.87\mu\text{m}$ و $654.29\mu\text{m}$ تقسم على 32 حاوية بأقطار متوسطة $38.87\mu\text{m}$ و $54.11\mu\text{m}$ و $69.17\mu\text{m}$ معدل التردد لأخذ العينات هو 1Hz. [1]

3.III) تقنيات قياس الغبار

إن الامتداد الشاسع للصحراء، مع صعوبة الوصول إليها وانخفاض الكثافة السكانية، يقلل من إمكانية استكشاف الإنسان لمصادر الغبار بشكل كبير [12]، تحديد مصادر الغبار في هذه المناطق هو شرط ضروري للتقدير الدقيق لتأثير الغبار على متغيرات الأرصاد الجوية والمناخ.

لتحديد مصادر الغبار في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، عادة ما تستعمل: الاستشعار عن بعد، وتحليل بيانات الأرصاد الجوية .

1.3.III) الرصد المكاني بواسطة المصايد

يتم رصد معدلات الغبار المتساقط باستخدام مصيدة للغبار قطرها 20cm ، توضع على ارتفاع قدره 240cm عن مستوى الأرض، تحتوي في داخلها على طبقتين من كرات الرخام لمنع خروج الغبار بعد تساقطه بفعل الرياح. لتخفيف اضطراب التربة الناجمة عن تركيب مصيدة الغبار يتم تسوية الأرض ورشها بالماء، وكذلك يتم وضع قوس معدني حول مصيدة بهدف تجنب تساقط نفايات الطيور داخل المصيدة حيث أنها تستهوي الطيور للوقوف عليها. عند توزيع مصايد الغبار يجب مراعاة معايير الموقع وهي كالتالي :

- الابتعاد عن الطرق الصحراوية والرئيسية والمنشآت مثل الأسوار البيولوجية والحواف الطبوغرافية والمساحات المزروعة بما لا يقل عن 100m لتجنب الغبار الذي يثير عبور المركبات.
- التوزيع الجغرافي المناسب لكي تغطي هذه المصايد الظواهر والأشكال المورفولوجية المتعددة .
- سهولة الوصول للمواقع [13] لأخذ العينات .



الشكل (III-5): مصيدة الغبار [13]

2.3.III جهاز TEOM

جهاز يستعمل لقياس التراكيز الكتلية للغبار على سطح الأرض، يقوم بمعانية ومقارنة معطيات

الأقمار الصناعية ومخرجات النماذج العددية، حيث تتم عملية القياس بالشكل الآتي :

يقوم الجهاز بالتقاط عوالق الغبار على مرشح لاقط للغبار، أين تتم المعالجة لقياس تركيز الغبار

[11].



(ب)

(أ)

الشكل (III-6) : فريق TEOM الواقع في دودوغو (بوركينافاسو) [1]، أ. عملية تكبير الراس / ب. منظر للمأوى

3.3.III الاستشعار عن بعد على الأرض

يتم باستخدام بيانات الأرصاد الجوية في المطارات بالإضافة إلى صور الأقمار الاصطناعية، وذلك

من أجل تحديد العواصف الترابية من حيث مساراتها ومصادرها الإقليمية. ثم تجمع صور العواصف الترابية

من الأقمار الصناعية عبر مواقع معتمدة في شبكة المعلومات مثل ناسا وموقع مركز تنبؤات الغبار في

برشلونة.

من خلال هذه البيانات تم رسم خارطة طريق تحدد المسارات الرئيسة للعواصف الترابية التي تبين اتجاهاتها ومساراتها ومصادرها الإقليمية وأوقاتها. أين صنفت المسارات إلى نوعين وفقا لامتداد العاصفة الترابية التي يتم الكشف عنها باستخدام بيانات الأرصاد الجوية وصور الأقمار الاصطناعية الشاملة. هذان النوعان هما: المسارات الرئيسة حيث تغطي العاصفة مساحة أكبر من أو يساوي 3000km^2 والمتوسطة تغطي مساحة أقل من 3000km^2 [6].

كما يمكن اكتشاف الهباء الجوي من الأرض كذلك عن طريق قياسات الرؤية (التكامل الأفقي) والقياسات الضوئية (التكامل العمودي). تعتمد تقنيات المراقبة هذه على الاستشعار السليبي عن بعد (القياسات التي تجريها الآن قاعدة البيانات لتوصيف الهباء والبيئة القارية). [4]



الشكل (III-7): أدوات قياس سمك الضوئي للهباء الجوي [4]

III.3.4) العمق الضوئي للهباء الجوي

السمك الضوئي لطبقة الغلاف الجوي على مدى شفافية هذه الطبقة ، حيث يعرف بأنه اللوغاريتم الطبيعي الذي يمثل الإشعاع الكهرومغناطيسي الوارد مكونات هذه الطبقة تؤثر على الإشعاع الضوئي للمصدر الضوئي قبل الاحتراق.

ليكن $I_0(\lambda)$ الإشعاع الضوئي لمصدر ضوئي قبل اختراق الوسط، $I(\lambda)$ الإشعاع بعد اختراق الوسط، إذا السمك الضوئي $\tau(\lambda)$ الذي يمثل الجزء الضائع عبر الوسط عن طريق الامتصاص والانتشار [3] يعطي بالعلاقة التالية :

$$\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)} = e^{-\tau(\lambda)} \quad (2. III)$$

بعد التبسيط، نستطيع كتابة هذه العلاقة بالشكل التالي :

$$\tau = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3. III)$$

5.3.III الاستشعار عن بعد من الفضاء

من الخصائص المهمة للغبار المنقول هو التباين المكاني والزمني الكبير لتركيزها في الغلاف الجوي. لذلك فإنه الاستشعار عبر الأقمار يسمح بملاحظات واسعة النطاق وذات دقة عالية، مع إمكانية المراقبة الطويلة (عدة سنوات لقمر معين) بتردد قياس مرتفع.

تعد قياسات الأقمار الصناعية من الفضاء ذات أهمية بشكل خاص في المناطق التي يصعب الوصول إليها مثل الصحاري.

يعتبر Meteosat أول قمر صناعي يلاحظ الأرض من ارتفاع 35850km فوق خليج غينيا، عند نقطة الإحداثيات الجغرافية (0°، 0°). الذي يسمح بتغطية حوالي ربع سطح الأرض من مساحة $\pm 60^\circ$ في خطوط الطول والعرض. يوفر هذا القمر الصناعي البيانات كل 30 دقيقة من ثلاث قنوات طيفية خاصة التصوير المرئي والأشعة تحت الحمراء الموجودة في النطاق المرئي. [9]

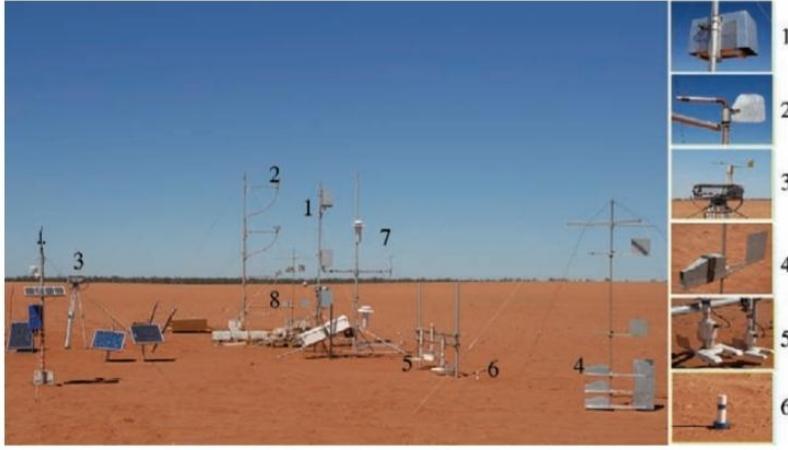
4.III القياسات الميدانية

تعتبر القياسات الميدانية ضرورية لفهم عمليات التعرية الريحية من أجل ضبط النماذج الرياضية الخاصة . كانت هناك مشكلة في الماضي فيما يتعلق بالتدخلات الميدانية، وهي أنها ليست متماسكة وموثوقة بدرجة كافية لاختبار هذه النماذج ، خاصة نماذج الغبار. وبما أنه من الصعب تحديد مجموعة البيانات المتماسكة بشكل عام، فإن القائمة المؤقتة للكميات التي يجب قياسها موضحة في الجدول التالي :

الجدول (1-III) جدول يمثل قائمة المتغيرات ميدانيا

| المتغيرات والقياسات | الهدف من النموذج |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| التدفق وحجم الحبيبات | نماذج انجراف الرمال وانحرافها |
| تركيز الغبار وحجم الحبيبات | تركيز الغبار والانبعاث والترسبات |
| سرعة الرياح | سرعة الاحتكاك وطول الخشونة ونموذج سطح الأرض |
| اتجاه الرياح | الطقس |
| درجة حرارة الهواء و الرطوبة والضغط | الطقس ونموذج سطح الأرض |
| الإشعاع شمسي | الطقس ونموذج سطح الأرض |
| التساقط | الطقس ونموذج سطح الأرض والقشرة |
| رطوبة التربة | سرعة احتكاك العتبة والقشرة |
| مؤشر المنطقة المواجهة | سرعة احتكاك العتبة وطول الخشونة |
| الغطاء السطحي الأرضي | قابلية التآكل ونموذج الغبار |
| توزيع حجم حبيبات التربة | سرعة احتكاك العتبة ونموذج و الغبار |

يمكن إجراء قياسات تدفق الملوحة باستخدام مجموعة من مصائد الملح مثل مصائد الرمل لفرير، عادة ما يتم تركيب المصائد على برج لقياس تدفق جزئيات الرمل على مستويات مختلفة على ارتفاع حوالي 2m. الميزة الرئيسية لمصائد فرير هي أنها قوية وسهلة الصيانة لتأكل الرياح على المدى الطويل، في هذه الحالة من المهم أيضا قياس كميات الغلاف الجوي والسطح التي تؤثر على تأكل الرياح ، لاسيما سرعة الرياح ودرجة الحرارة ورطوبة الهواء والتساقط بالاستعانة محطة أرصاد جوية [1] قريبة من الموقع .



الشكل (III-9): حقل تأكل الرياح [1]

يوضح الشكل (III-9) مثلا لإعداد حقل تأكل الرياح ، في هذا المثال تم تركيب مصائد الرمل لفرير على خمسة مستويات مختلفة هي [2m، 1m، 0.5m، 0.2m، 0.1m]، حيث تكون المصائد متباعدة بشكل غير متساوي عموديا لأن نقل الرمل في يكون بالقرب من السطح في الغالب .

الفصل الرابع :

تقييم تأثير سرعة الرياح والإشعاع
الشمسي على الحث الريحي

1.IV مقدمة

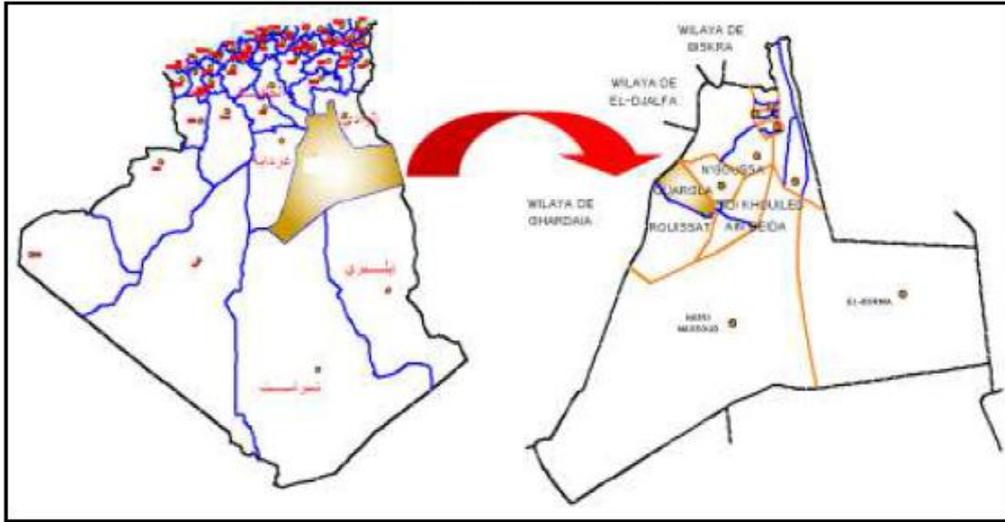
نخصص هذا الفصل لدراسة تطبيقية هدفها معرفة تأثير الرياح والإشعاع الشمسي على الحث الريحي في منطقة ورقلة حيث تعتبر هذه المنطقة صحراوية جافة مما يمكننا من تقريب الإشعاع الشمسي المباشر إلى الإشعاع الكلي مما يبسط أكثر الاعتبارات الحسابية.

2.IV خصائص ومميزات منطقة ورقلة (منطقة الدراسة)

1.2.IV الموقع الجغرافي

ولاية ورقلة هي إحدى أهم ولايات الجنوب الجزائري لما تحتويه من ثروات هامة، تقع في الجنوب الشرقي من الوطن، تغطي مساحة تصل إلى (163.233) كلم مربع أي بنسبة (6.85%) من المساحة العامة للقطر الجزائري كما تبعد ولاية ورقلة عن العاصمة بنحو 900 كلم، يحدها من الشمال ولايتي الجلفة والوادي ومن الشرق جمهورية تونس، من الجنوب ولايتي تمنراست وإيليزي ومن الغرب ولاية

غرداية. [14]



الشكل (1-IV): خريطة تمثل الموقع الجغرافي لمدينة ورقلة [14]

2.2.IV الموقع الفلكي

تقع مدينة ورقلة على شمال خط عرض 32° درجة وشرقا 5° درجات على ارتفاع قدره 135م على سطح البحر [14].

3.2.IV المميزات المناخية

يسود منطقة ورقلة مناخ صحراوي جاف بشكل عام، حيث يتميز بـ:

• درجة الحرارة

درجات الحرارة بمنطقة ورقلة مرتفعة صيفاً حيث تتجاوز 41° في المتوسط، تنخفض شتاء ولاسيما أثناء الليل، وهي تتميز بفوارق حرارية معتبرة، تصل إلى حدود 30° درجة [14].

• الأمطار

يتميز بندرة الأمطار 49مم في المتوسط وهي كغيرها من المناطق الصحراوية، تفتقر للغطاء النباتي الطبيعي [14].

• الرياح الموسمية

تهب على ورقلة عواصف وزوابع رملية موسمية بين شهري (فيفري وأفريل)، تبلغ ذروتها في شهر (مارس)، ويبدأ الجو في التحسن ابتداءً من شهر (سبتمبر) عندما يتغير اتجاه الرياح لتصبح شمالية شرقية، في أغلبية الحال تكون محملة بشيء من الرطوبة فتعمل على تلطيف الجو وخاصة في الليل [14].

3.IV معطيات محطة الأرصاد الجوية

قمنا بأخذ معطيات الرصد الجوي لسنة 2020 كاملة من محطة الرصد بمدينة ورقلة (الملحق أ) أين ركزنا على متغيرين أساسيين وهي سرعة الرياح وشدة الإشعاع الشمسي الكلي.

4.IV طريقة العمل

لأخذ القيم دون أبعاد في حساب العلاقات الخاصة. الإشعاع الشمسي R وشدة الرياح W حسبنا

المتغيرات التالية:

$$w = \frac{I_w}{I_{wmax}} \quad R = \frac{I_R}{I_{Rmax}} \quad (1. IV)$$

بمساعدة البرمجة الآتية رسمنا الدالة $p(i)$ المعرفة كما يلي :

$$P = \frac{I_w}{I_R} \quad (2. IV)$$

انطلاقاً من تغير P بدلالة الزمن يمكن تقييم مدى تأثير سرعة الرياح على نسبة الهباء الجوي ، الذي

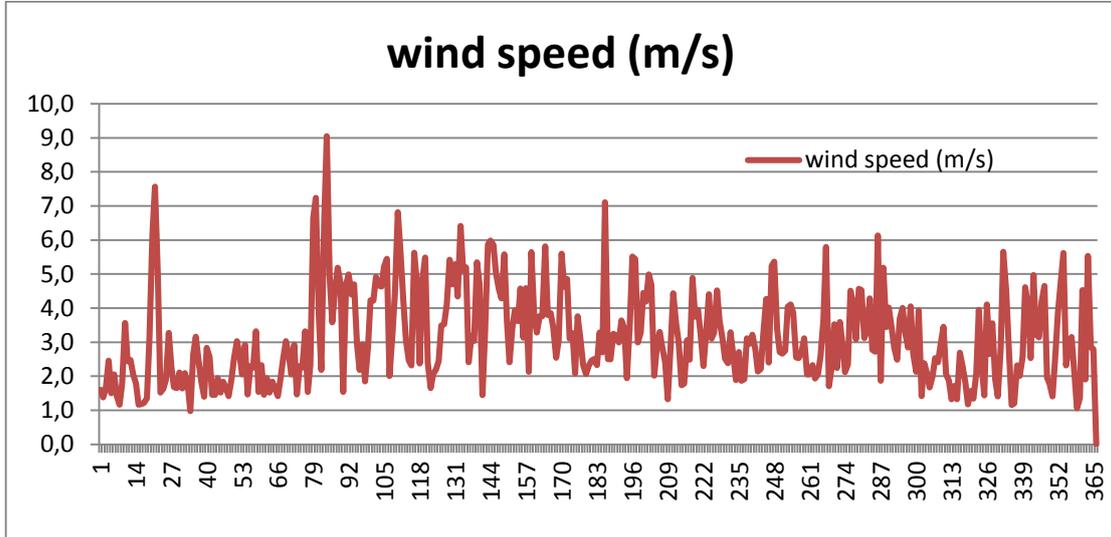
يؤثر بدوره على الإشعاع الشمسي ، ومنه يمكن تعريف نشاط ظاهرة الحث من خلال دراسة دالة $P(t)$.

من خلال الحسابات تحصلنا على مجموعة من النتائج المهمة ، والتي سمحت لنا برسم التغير في تأثير

الرياح والإشعاع الشمسي الكلي.

5.IV) النتائج والمناقشة

من خلال معطيات الأرصاد قمنا برسم المنحنيات في الشكلين (2-IV) و (3-IV)

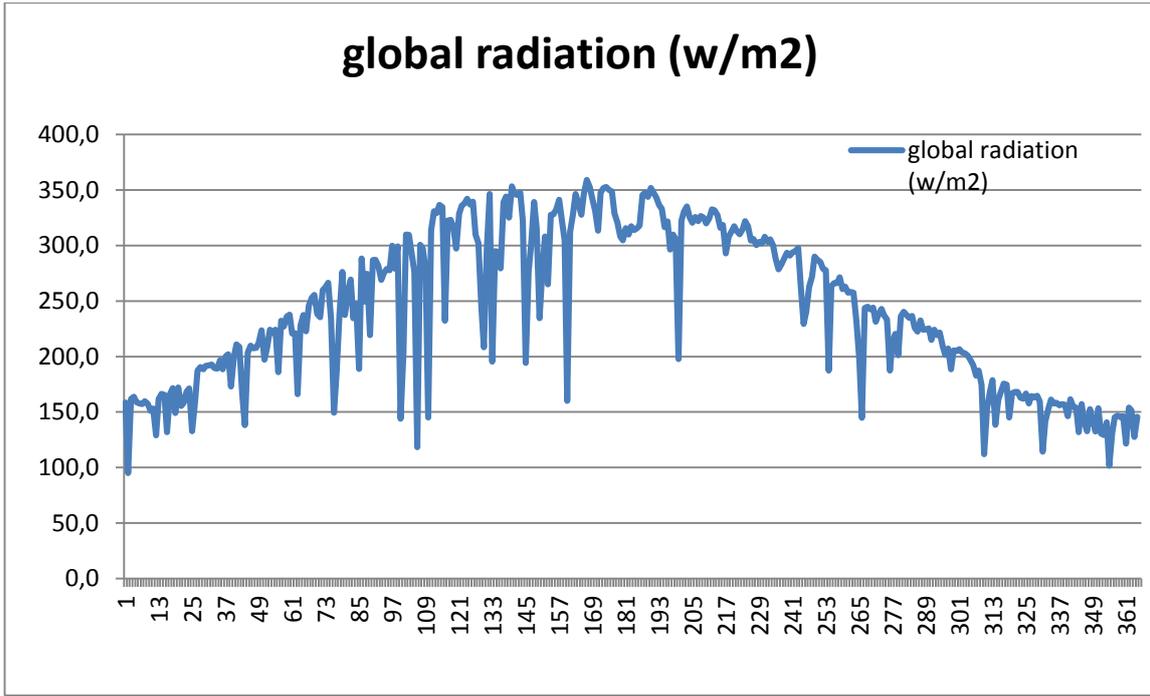


الشكل (2-IV):تغيرات سرعة الرياح خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة.

يمثل المنحنى تغيرات سرعة الرياح خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة ، حيث نسجل الملاحظات

التي أهمها :

- في المجال [0-67] يوم، نلاحظ أن سرعة الرياح متذبذبة حيث تتراوح ما بين [1-3.5] حيث الرياح تكون ضعيف في شتاء.
- في المجال [67-177] يوم سرعة الرياح متذبذبة وتتراوح ما بين [1.5-7] حيث تزداد قوة الرياح بشكل كبير في فصل الربيع .
- في المجال [177-365] يوم نلاحظ أن سرعة الرياح تتراوح ما بين [1-5] أي تكون متوسطة في فصل الصيف وبعض من أيام الخريف .



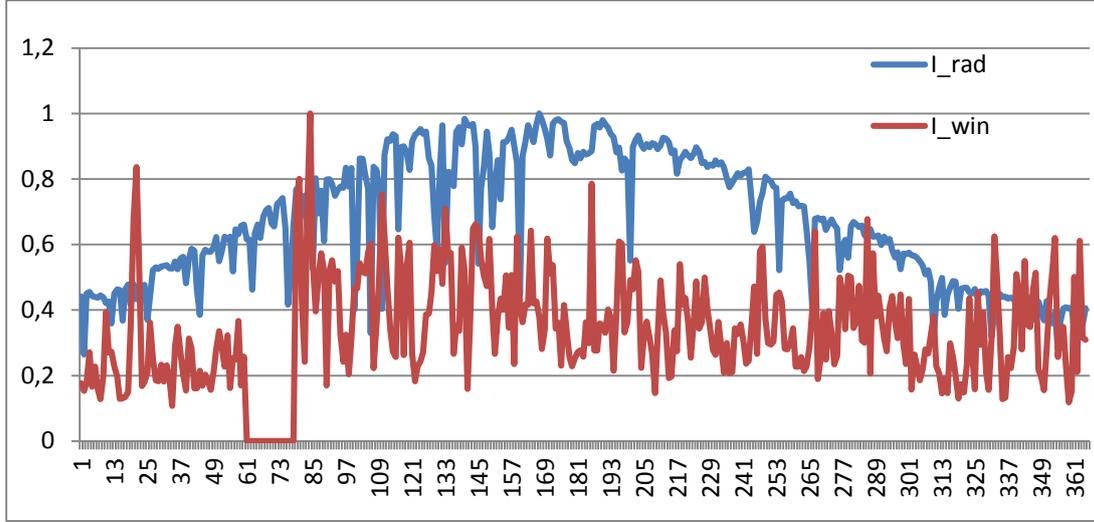
الشكل (3-IV): تغيرات الإشعاع الكلي خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة .

يمثل المنحنى تغيرات الإشعاع الشمسي الكلي خلال سنة 2020 في ورقلة، أين نسجل الملاحظات

التالية :

- في المجال [0-40] يوم نلاحظ أن الإشعاع متذبذب وتتراوح ما بين [1000-2000].
 - في المجال [40-300] يوم نلاحظ أن الإشعاع الشمسي الكلي يتزايد إلى أن يصل أقصى قيمة وهي 3500 .
 - في المجال [300-365] يوم الإشعاع الكلي متذبذب ويتراوح ما بين [1000-2000].
- باستعمال العلاقة (1-IV) لحساب R و W يمكننا رسم متغيرات كل من الدالتين زمنيا ،

حسب ما بينه الشكل الموالي :



الشكل (4-IV): توزيع تغيرات شدة الرياح و شدة الإشعاع الكلي خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة.

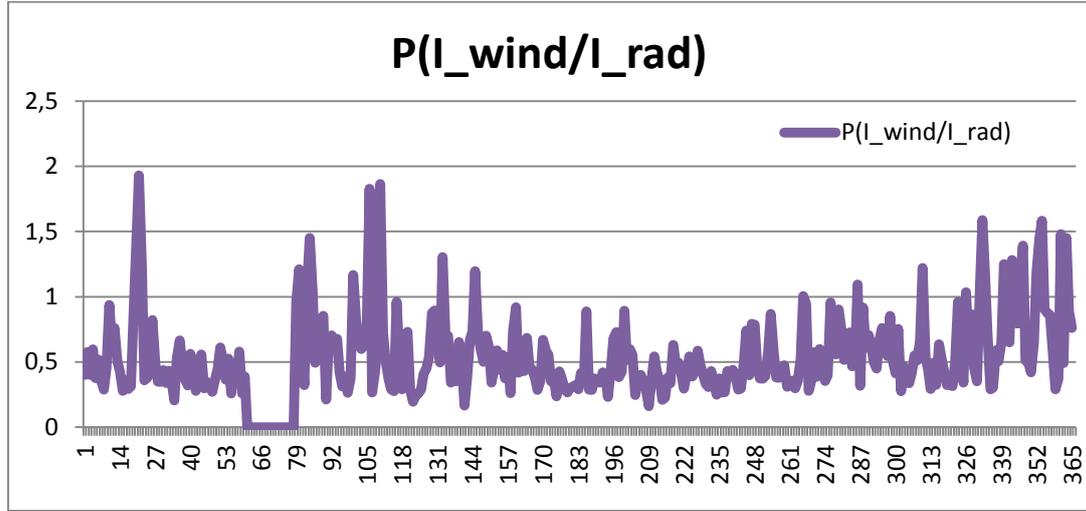
يمثل المنحنى أعلاه تغيرات شدة الرياح وشدة الإشعاع الشمسي الكلي خلال سنة 2020 في

منطقة ورقلة، نسجل عدة نتائج أهمها :

- في المجال [0-61] يوم نلاحظ أن شدة الرياح متذبذبة بوتيرة متناقصة تتراوح ما بين [0.2-0.4] لأن هبوب الرياح يكون ضعيف شتاء ، بالمقابل نلاحظ تناقص شدة الإشعاع الكلي بنسبة [0.2-0.3] لأن الإشعاع الكلي يضعف بسبب الغيوم خلال شهري جانفي وفيفري.
- في المجال [61-121] هذا المجال يوافق شهري مارس وأفريل ، حيث نلاحظ نشاط كبير لسرعة الرياح ، حيث تبلغ 1 مع تناقص شديد للإشعاع الشمسي ، مما يدل على تأثير الرياح على شدة الإشعاع في هذا المجال .
- في المجال [121-301] تعود الرياح تدريجيا إلى مستويات ضعيفة ولكن نلاحظ تأخر في انخفاض شدة الإشعاع عند زيادة سرعة الرياح المفاجئ في بعض الأيام ، هذا المجال يل فصل الصيف وبداية فصل الخريف .

الفصل الرابع : تقييم تأثير سرعة الرياح والإشعاع الشمسي على الحث الريحي

- في باقي المجال الزمني تعود التغيرات إلى النمط الأول في المجال الأول .



الشكل (5-IV):تغيرات دالة P بدلالة الزمن.

يمثل المنحنى تغيرات دالة P بدلالة الزمن خلال سنة 2020 في منطقة ورقلة حيث نسجل ما يلي:

- في المجال [0-61] أيام و [157 - 265] أيام نلاحظ أن الدالة متذبذبة بقيم متناقصة وتتراوح ما بين [0.25 - 0.75] لأن شدة الرياح ضعيفة وشدة الإشعاع متزايد.
- في المجال [61-157] أيام و [265 - 365] أيام نلاحظ أن الدالة متذبذبة بقيم متزايدة تتراوح ما بين [0.25-1.75] لأن شدة الرياح قوية وشدة الإشعاع ضعيف.

الفصل الرابع : تقييم تأثير سرعة الرياح والإشعاع الشمسي على الحت الريحي

من أهم النتائج المتحصل عليها من خلال رسم بيان الدالة $P(i)$ نجد ما يلي :

■ المجالين [61 - 157] و [265 - 365] يوم أي في فصلي الربيع والخريف تأخذ الدالة قيم

عظمى وهذا دال على أن الرياح

■ والإشعاع الشمسي ضعيف في المجالين [0-61] و [156-265] يوم أي في فصلي الشتاء

والصيف تأخذ الدالة P قيم هذا يعود إلى رياح ضعيفة .

ومنه :

■ إذا كانت الرياح قوية فإن الإشعاع يكون متناقص .

■ تعمل الرياح عند هبوبها على نقل حبيبات الرمل التربة الهشة المتفككة، وبذلك تقلل من شدة

الإشعاع الشمسي الكلي.

■ عملية الحت تكون في ذروة نشاطها في فصل الخريف والخريف. أما في فصلي الصيف والشتاء تكون

ضعيفة نوعاً ما.

الخلاصة العامة

من خلال هذه الدراسة، تعرفنا على كل من متغيرات سرعة الرياح والإشعاع الشمسي المباشر في منطقة ورقلة، التي تعتبر واحدة ضمن المناطق الرئيسة لظاهرة الحت الريحي، وذلك خلال عام كامل يقابل سنة 2020 م. أين قيمنا مدى تأثير سرعة الرياح والإشعاع الكلي على الحت الريحي وحددنا زمانيا فترات نشاط هذه الظاهرة في منطقة ورقلة لسنة 2020 م ومن خلال النتائج استخلصنا ما يلي:

يكون لشدة الرياح أهمية كبيرة في حمل حبيبات الرمل في المجالين [61-157] و [265-365]

يوم، الذي يوافق فصلي الربيع والخريف، مما يدل على نشاط ظاهرة الحت الريحي في هذه الفترة.

تناسب الإشعاع الكلي عكسيا مع سرعة الرياح حيث انه كلما زادت الرياح نقص الإشعاع، هذا

راجع إلى حجب الإشعاع بسبب زيادة تركيز حبيبات الرمال المتطايرة في الهباء الجوي بفعل الرياح.

هذه النتيجة تصل صحيحة مادامت كثافة الغيوم ضعيفة خلال هذه الفترة، حيث يمكننا تقدير

نسبة الهباء في الغلاف الجوي في المنطقة من خلال دراسة التناقص في الاشعاع بسبب سرعة الرياح .

على الرغم من أن احتمالية نشاط العواصف الرملية يكون أكبر في فصل الخريف، إلا أننا لاحظنا

نشاطا أكبر في فصل الربيع، وهذا راجع إلى سرعة جفاف التربة وقلة الأمطار في فصل الشتاء مما سهل

عملية حمل حبيبات الرمل بفعل الرياح .

في دراسة مماثلة مستقبلية يمكننا إضافة متغيرات الشمس والرطوبة والاستعانة بقياسات لمصادد

وشواهد لحبيبات الرمل في مجموعة مختلفة من في فترات زمنية أوسع من اجل إعطاء دقة أكبر.

قائمة المراجع

- [1] Shao, Yaping, ed. *"Physics and modelling of wind erosion"*. Dordrecht: Springer Netherlands, (2008).
- [3] Rashidi, Mr, G. Hetsroni, and Sanjoy Banerjee. *"Particle-turbulence interaction in a boundary layer."* *International Journal of Multiphase Flow* 16.6 :935-949.(1990)
- [4] Diop, Oumar. *"Détection de nuages de poussière dans les images Météosat à l'aide des attributs de textures et de la fusion de segmentations: application à la zone sahélienne du continent africain"*. Diss. INSA de Rennes, (2007).
- [5] Delort, Anne-Marie, and Marius Parazols. *"Des microorganismes dans les nuages?."* Les Mercredis de la Science. 2007..
- [6] Shao, Yaping, Andreas H. Fink, and Martina Klose. "Numerical simulation of a continental-scale Saharan dust event." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115.D13 (2010).
- [7] Skidmore, E. L. *"Wind erosion control."* *Climatic change* 9.1: 209-218(1986) .
- [8] Middleton, N., and A. S. Goudie. *"Desert dust in the global system."* Springer. Middleton, NJ (1986). A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology* 6.2 183-196(2006).
- [9] BENAOUA, DOUAIBA. *"Simulation des émissions d'aérosols désertiques à l'échelle Régionale: Analyse climatologique des émissions du Nord de l'Afrique"*. Diss. University of sciences and technology on Oran, (2015)
- [10] A. Afaf and H. Safa, *"Simulation numérique du cycle de vie d'une tempête de sable et de poussière."* [11] colloque de l'association international de climatologie ,Liege, 2015.

المراجع باللغة العربية

- [2] مجلة علمية فصلية تصدرها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية (الرياح) (1999).
- [13] د. محمد جمال الدين الفندي "الطبيعة الجوية" مكتبة الفلاح الكويت الطبعة الثاني . ص 268. (1977).
- [14] مسعودي صبرينة . لحرش أمة الرحمان . "دراسة تأثير سرعة الرياح على حمل العوالق والغبار وأثاره على الإشعاع الشمسي" . مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر اكاديمي . جامعة ورقلة . (2020-2021).

الملحق

جدول معطيات محطة الأرصاد ونتائج حساب الدالة $P(t)$ ، خلال سنة 2020 م في منطقة ورقلة :

| | wind speed (m/s) | global radiation (w/m2) | I_rad | I_win | dif(I_rad-I_wind) | P(I_wind/I_rad) |
|----|------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------------|
| 1 | 1.6 | 158.6 | 0.441535511 | 0.176970562 | 0.264564949 | 0.400807088 |
| 2 | 1.4 | 95.0 | 0.264648192 | 0.152850614 | 0.111797577 | 0.577561529 |
| 3 | 1.6 | 161.7 | 0.450372928 | 0.18003409 | 0.270338838 | 0.399744476 |
| 4 | 2.5 | 163.7 | 0.455825679 | 0.271394788 | 0.184430891 | 0.595391617 |
| 5 | 1.5 | 158.9 | 0.442445206 | 0.166198308 | 0.276246898 | 0.375635911 |
| 6 | 2.1 | 157.9 | 0.439665455 | 0.227353695 | 0.21231176 | 0.517106115 |
| 7 | 1.4 | 157.2 | 0.437668924 | 0.157441377 | 0.280227547 | 0.35972711 |
| 8 | 1.2 | 159.7 | 0.444760633 | 0.128330339 | 0.316430294 | 0.28853799 |
| 9 | 1.8 | 157.5 | 0.438469161 | 0.198323122 | 0.240146039 | 0.452308028 |
| 10 | 3.6 | 151.3 | 0.421230029 | 0.394134665 | 0.027095364 | 0.935675612 |
| 11 | 2.4 | 153.1 | 0.42633971 | 0.269843829 | 0.156495881 | 0.632931492 |
| 12 | 2.5 | 129.0 | 0.359357668 | 0.27362909 | 0.085728577 | 0.76143941 |
| 13 | 2.1 | 161.8 | 0.450456858 | 0.228290413 | 0.222166445 | 0.506797508 |
| 14 | 1.8 | 166.3 | 0.463247113 | 0.197409438 | 0.265837676 | 0.426142834 |
| 15 | 1.2 | 165.5 | 0.461012909 | 0.128660494 | 0.332352415 | 0.279082193 |
| 16 | 1.2 | 131.9 | 0.367288098 | 0.130579997 | 0.2367081 | 0.355524718 |
| 17 | 1.2 | 166.2 | 0.462894182 | 0.135225196 | 0.327668985 | 0.292129825 |
| 18 | 1.4 | 171.5 | 0.477495123 | 0.149498626 | 0.327996497 | 0.313089325 |
| 19 | 3.2 | 149.1 | 0.415212007 | 0.350654935 | 0.064557072 | 0.844520219 |
| 20 | 6.1 | 172.0 | 0.47903468 | 0.678959168 | 0.199924489 | 1.417348674 |
| 21 | 7.6 | 155.5 | 0.433072879 | 0.836281691 | 0.403208812 | 1.931041474 |
| 22 | 5.0 | 158.2 | 0.440571088 | 0.548110441 | 0.107539352 | 1.244090806 |
| 23 | 1.5 | 168.4 | 0.46907813 | 0.168125489 | 0.300952641 | 0.358416815 |
| 24 | 1.6 | 171.4 | 0.477217418 | 0.180533161 | 0.296684257 | 0.378303797 |
| 25 | 1.9 | 132.6 | 0.3692504 | 0.209218225 | 0.160032175 | 0.566602568 |
| 26 | 3.3 | 158.2 | 0.440687314 | 0.362225703 | 0.078461611 | 0.821956274 |
| 27 | 2.3 | 187.4 | 0.521765944 | 0.252491516 | 0.269274428 | 0.483917202 |
| 28 | 1.7 | 190.5 | 0.530404172 | 0.185807957 | 0.344596214 | 0.350313907 |
| 29 | 1.7 | 188.6 | 0.525197603 | 0.182567835 | 0.342629768 | 0.347617419 |
| 30 | 2.1 | 191.7 | 0.533809337 | 0.233427005 | 0.300382332 | 0.437285354 |
| 31 | 1.6 | 192.0 | 0.534793679 | 0.181347031 | 0.353446648 | 0.339097185 |
| 32 | 2.1 | 192.8 | 0.536922681 | 0.231645706 | 0.305276975 | 0.431432149 |
| 33 | 1.8 | 189.6 | 0.528060123 | 0.194000399 | 0.334059724 | 0.367383165 |
| 34 | 1.0 | 189.2 | 0.52684507 | 0.107699513 | 0.419145557 | 0.2044235 |
| 35 | 2.6 | 196.6 | 0.547599598 | 0.290935336 | 0.256664263 | 0.531292091 |
| 36 | 3.2 | 188.5 | 0.524933629 | 0.349380384 | 0.175553245 | 0.665570588 |
| 37 | 2.4 | 200.1 | 0.557338007 | 0.268308226 | 0.289029781 | 0.481410244 |
| 38 | 1.9 | 202.0 | 0.5624152 | 0.204619094 | 0.357796106 | 0.363822126 |
| 39 | 1.4 | 173.1 | 0.481961791 | 0.154504691 | 0.3274571 | 0.320574564 |
| 40 | 2.8 | 199.6 | 0.555815275 | 0.312725542 | 0.243089733 | 0.562642942 |
| 41 | 2.6 | 210.9 | 0.587283851 | 0.28275825 | 0.304525601 | 0.481467777 |

| | | | | | | |
|----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 42 | 1.5 | 208.6 | 0.580867064 | 0.161138496 | 0.419728568 | 0.277410282 |
| 43 | 1.5 | 165.4 | 0.460622073 | 0.161207598 | 0.299414475 | 0.349978014 |
| 44 | 1.9 | 138.2 | 0.384888477 | 0.21426268 | 0.170625797 | 0.556687697 |
| 45 | 1.5 | 203.5 | 0.566605711 | 0.168593848 | 0.398011863 | 0.297550563 |
| 46 | 1.8 | 209.8 | 0.58438188 | 0.203029745 | 0.381352135 | 0.347426489 |
| 47 | 1.6 | 207.6 | 0.578160994 | 0.181876814 | 0.39628418 | 0.314578146 |
| 48 | 1.4 | 207.7 | 0.578495941 | 0.156370449 | 0.422125492 | 0.270305179 |
| 49 | 1.9 | 212.5 | 0.591764443 | 0.211698223 | 0.38006622 | 0.357740695 |
| 50 | 2.5 | 223.7 | 0.622994379 | 0.280608406 | 0.342385973 | 0.45041884 |
| 51 | 3.0 | 197.2 | 0.549187502 | 0.335360329 | 0.213827173 | 0.610648145 |
| 52 | 2.6 | 207.6 | 0.578257881 | 0.290044686 | 0.288213195 | 0.501583628 |
| 53 | 2.1 | 224.2 | 0.624302645 | 0.226908371 | 0.397394275 | 0.363458929 |
| 54 | 2.9 | 221.3 | 0.616138603 | 0.323336558 | 0.292802045 | 0.524778932 |
| 55 | 1.5 | 224.3 | 0.62458383 | 0.162082892 | 0.462500938 | 0.259505424 |
| 56 | 2.3 | 185.9 | 0.517624746 | 0.254133936 | 0.26349081 | 0.490961721 |
| 57 | 2.3 | 232.2 | 0.646758402 | 0.248829103 | 0.397929299 | 0.384732695 |
| 58 | 3.3 | 227.0 | 0.632208515 | 0.366632883 | 0.265575632 | 0.579923988 |
| 59 | 1.5 | 236.1 | 0.657427004 | 0.17029069 | 0.487136314 | 0.259026004 |
| 60 | 2.3 | 237.6 | 0.661558145 | 0.25754365 | 0.404014496 | 0.389298584 |
| 61 | 1.5 | 220.9 | 0.615055515 | 0 | 0.615055515 | 0 |
| 62 | 1.9 | 221.0 | 0.615557338 | 0 | 0.615557338 | 0 |
| 63 | 1.5 | 166.1 | 0.462668322 | 0 | 0.462668322 | 0 |
| 64 | 1.8 | 227.9 | 0.634751753 | 0 | 0.634751753 | 0 |
| 65 | 1.6 | 237.3 | 0.660945619 | 0 | 0.660945619 | 0 |
| 66 | 1.4 | 222.6 | 0.619994254 | 0 | 0.619994254 | 0 |
| 67 | 1.9 | 245.9 | 0.684780927 | 0 | 0.684780927 | 0 |
| 68 | 2.5 | 253.0 | 0.704626205 | 0 | 0.704626205 | 0 |
| 69 | 3.0 | 255.5 | 0.71147994 | 0 | 0.71147994 | 0 |
| 70 | 2.6 | 238.3 | 0.663602355 | 0 | 0.663602355 | 0 |
| 71 | 2.1 | 235.4 | 0.655663628 | 0 | 0.655663628 | 0 |
| 72 | 2.9 | 259.9 | 0.723741547 | 0 | 0.723741547 | 0 |
| 73 | 1.5 | 262.7 | 0.731684706 | 0 | 0.731684706 | 0 |
| 74 | 2.3 | 266.5 | 0.742112502 | 0 | 0.742112502 | 0 |
| 75 | 2.3 | 233.3 | 0.649743913 | 0 | 0.649743913 | 0 |
| 76 | 3.3 | 149.5 | 0.416414456 | 0 | 0.416414456 | 0 |
| 77 | 1.5 | 184.8 | 0.514625115 | 0 | 0.514625115 | 0 |
| 78 | 2.3 | 237.1 | 0.660154927 | 0 | 0.660154927 | 0 |
| 79 | 6.7 | 276.4 | 0.769622585 | 0.735397824 | 0.03422476 | 0.955530463 |
| 80 | 7.2 | 237.3 | 0.660882063 | 0.800532854 | 0.139650791 | 1.211309701 |
| 81 | 3.9 | 256.8 | 0.715062054 | 0.427757559 | 0.287304495 | 0.598210402 |
| 82 | 2.2 | 269.4 | 0.750094373 | 0.241558023 | 0.50853635 | 0.322036842 |
| 83 | 6.5 | 234.4 | 0.652777004 | 0.718838777 | 0.066061773 | 1.101201134 |
| 84 | 9.0 | 247.4 | 0.68906286 | 1 | 0.31093714 | 1.451246407 |
| 85 | 4.9 | 188.8 | 0.525786274 | 0.546620906 | 0.020834631 | 1.039625666 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 86 | 3.6 | 288.2 | 0.802663641 | 0.396331445 | 0.406332196 | 0.493770273 |
| 87 | 4.5 | 249.6 | 0.695127102 | 0.5028639 | 0.192263202 | 0.723412881 |
| 88 | 5.2 | 274.4 | 0.764155377 | 0.57363984 | 0.190515537 | 0.750684818 |
| 89 | 4.7 | 219.2 | 0.610298691 | 0.521137575 | 0.089161116 | 0.853905772 |
| 90 | 1.5 | 286.9 | 0.798899355 | 0.169699483 | 0.629199873 | 0.212416597 |
| 91 | 4.7 | 287.2 | 0.799785263 | 0.518504016 | 0.281281247 | 0.648304038 |
| 92 | 5.0 | 281.8 | 0.784851695 | 0.55198016 | 0.232871535 | 0.703292308 |
| 93 | 4.4 | 269.0 | 0.749091659 | 0.48623332 | 0.26285834 | 0.649097228 |
| 94 | 4.7 | 275.1 | 0.76617028 | 0.518972375 | 0.247197905 | 0.677359052 |
| 95 | 2.9 | 279.0 | 0.776837722 | 0.325363554 | 0.451474168 | 0.418830787 |
| 96 | 2.2 | 277.7 | 0.77336197 | 0.241611769 | 0.531750201 | 0.312417443 |
| 97 | 2.9 | 299.8 | 0.834812167 | 0.324540214 | 0.510271953 | 0.388758366 |
| 98 | 1.8 | 279.0 | 0.777003455 | 0.204212159 | 0.572791296 | 0.262820143 |
| 99 | 2.8 | 299.2 | 0.833291948 | 0.312026842 | 0.521265106 | 0.374450807 |
| 100 | 4.2 | 143.9 | 0.400699444 | 0.467391471 | 0.066692028 | 1.166439033 |
| 101 | 4.2 | 203.1 | 0.565726185 | 0.466539212 | 0.099186973 | 0.824673179 |
| 102 | 4.9 | 309.8 | 0.862687025 | 0.543495954 | 0.319191071 | 0.630003626 |
| 103 | 4.7 | 309.5 | 0.861791448 | 0.516653614 | 0.345137834 | 0.599511187 |
| 104 | 4.6 | 292.1 | 0.813450596 | 0.511908601 | 0.301541995 | 0.629305091 |
| 105 | 5.2 | 276.6 | 0.770347254 | 0.576281077 | 0.194066177 | 0.748079614 |
| 106 | 5.4 | 118.3 | 0.329393452 | 0.60210224 | 0.272708788 | 1.82791199 |
| 107 | 2.0 | 300.8 | 0.837581667 | 0.222255494 | 0.615326174 | 0.265353818 |
| 108 | 3.2 | 297.5 | 0.828562853 | 0.352766389 | 0.475796464 | 0.425756945 |
| 109 | 4.4 | 277.8 | 0.773659207 | 0.489757528 | 0.283901678 | 0.633040393 |
| 110 | 6.8 | 145.1 | 0.404041758 | 0.753174859 | 0.349133101 | 1.864101531 |
| 111 | 5.7 | 313.6 | 0.873427954 | 0.629075106 | 0.244352848 | 0.720236974 |
| 112 | 4.2 | 330.8 | 0.921109549 | 0.469134381 | 0.451975168 | 0.509314426 |
| 113 | 3.1 | 329.3 | 0.916961582 | 0.341333825 | 0.575627758 | 0.372244412 |
| 114 | 2.5 | 336.6 | 0.937480178 | 0.272999493 | 0.664480685 | 0.291205617 |
| 115 | 2.3 | 334.5 | 0.931618993 | 0.256276777 | 0.675342216 | 0.27508754 |
| 116 | 5.6 | 232.3 | 0.646843492 | 0.621581364 | 0.025262128 | 0.960945532 |
| 117 | 4.8 | 322.6 | 0.898360423 | 0.526189708 | 0.372170715 | 0.585722272 |
| 118 | 2.4 | 323.1 | 0.899735601 | 0.262380799 | 0.637354802 | 0.291619892 |
| 119 | 4.8 | 316.5 | 0.881476737 | 0.532616207 | 0.34886053 | 0.604231722 |
| 120 | 5.5 | 297.1 | 0.82747853 | 0.606002672 | 0.221475858 | 0.732348514 |
| 121 | 2.4 | 328.6 | 0.91501978 | 0.265751447 | 0.649268332 | 0.290432462 |
| 122 | 1.6 | 335.6 | 0.934672966 | 0.182222325 | 0.752450642 | 0.194958377 |
| 123 | 2.1 | 338.2 | 0.94174437 | 0.228597534 | 0.713146836 | 0.242738413 |
| 124 | 2.2 | 342.1 | 0.952637688 | 0.243784647 | 0.708853041 | 0.255904895 |
| 125 | 2.5 | 336.9 | 0.938131313 | 0.271149092 | 0.666982221 | 0.289031064 |
| 126 | 3.5 | 339.4 | 0.945226116 | 0.385973803 | 0.559252314 | 0.40834018 |
| 127 | 3.5 | 310.0 | 0.863259065 | 0.389382841 | 0.473876224 | 0.451061399 |
| 128 | 4.1 | 302.0 | 0.841129359 | 0.453478908 | 0.387650451 | 0.539130995 |
| 129 | 5.4 | 245.4 | 0.683415755 | 0.599054069 | 0.084361686 | 0.876558763 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 130 | 4.7 | 208.2 | 0.579873246 | 0.518941662 | 0.060931584 | 0.894922582 |
| 131 | 5.3 | 296.2 | 0.824824095 | 0.584895809 | 0.239928285 | 0.709115814 |
| 132 | 4.3 | 346.4 | 0.964759209 | 0.479875923 | 0.484883286 | 0.497404864 |
| 133 | 6.4 | 195.3 | 0.543879405 | 0.709410175 | 0.16553077 | 1.304351972 |
| 134 | 5.1 | 295.0 | 0.821632236 | 0.565002073 | 0.256630163 | 0.687658113 |
| 135 | 5.2 | 294.5 | 0.819984189 | 0.574361573 | 0.245622616 | 0.700454449 |
| 136 | 2.4 | 279.3 | 0.777758632 | 0.266273552 | 0.51148508 | 0.342360137 |
| 137 | 3.2 | 339.0 | 0.944154944 | 0.352251962 | 0.591902982 | 0.373087028 |
| 138 | 3.0 | 344.0 | 0.958017725 | 0.336082063 | 0.621935662 | 0.350809859 |
| 139 | 5.3 | 325.2 | 0.905675494 | 0.591399088 | 0.314276407 | 0.65299226 |
| 140 | 4.7 | 353.3 | 0.983877874 | 0.520715284 | 0.46316259 | 0.529247885 |
| 141 | 1.4 | 346.5 | 0.964839659 | 0.159395587 | 0.805444072 | 0.165204224 |
| 142 | 3.3 | 345.7 | 0.962602553 | 0.360175673 | 0.60242688 | 0.374168624 |
| 143 | 5.9 | 347.5 | 0.967836583 | 0.649214539 | 0.318622044 | 0.670789419 |
| 144 | 6.0 | 322.4 | 0.89774255 | 0.661652923 | 0.236089627 | 0.737018561 |
| 145 | 5.9 | 194.4 | 0.541373878 | 0.647939989 | 0.10656611 | 1.196843835 |
| 146 | 5.0 | 276.5 | 0.769925863 | 0.555596505 | 0.214329358 | 0.721623382 |
| 147 | 4.6 | 301.1 | 0.838547444 | 0.504197756 | 0.334349688 | 0.601275169 |
| 148 | 4.3 | 339.2 | 0.944640926 | 0.473480137 | 0.471160789 | 0.501227635 |
| 149 | 5.6 | 315.6 | 0.878771828 | 0.617105081 | 0.261666746 | 0.70223585 |
| 150 | 3.6 | 234.5 | 0.65305877 | 0.401045746 | 0.252013024 | 0.614103606 |
| 151 | 2.4 | 279.0 | 0.776930161 | 0.266158382 | 0.510771779 | 0.342576972 |
| 152 | 3.4 | 308.2 | 0.858261935 | 0.379585694 | 0.47867624 | 0.44227255 |
| 153 | 3.9 | 264.9 | 0.737806152 | 0.435366472 | 0.30243968 | 0.590082464 |
| 154 | 3.6 | 327.7 | 0.912586773 | 0.400538997 | 0.512047776 | 0.438905109 |
| 155 | 4.6 | 327.9 | 0.913186467 | 0.506142412 | 0.407044055 | 0.55425965 |
| 156 | 3.1 | 332.6 | 0.926303547 | 0.345894566 | 0.580408982 | 0.373413841 |
| 157 | 4.6 | 341.3 | 0.950560321 | 0.507263402 | 0.443296919 | 0.533646725 |
| 158 | 2.1 | 323.8 | 0.901741995 | 0.235116168 | 0.666625827 | 0.26073552 |
| 159 | 5.6 | 304.7 | 0.848482887 | 0.62380031 | 0.224682577 | 0.735194922 |
| 160 | 3.7 | 160.0 | 0.445702043 | 0.410105803 | 0.03559624 | 0.920134448 |
| 161 | 3.3 | 312.3 | 0.869679139 | 0.362540502 | 0.507138638 | 0.416866963 |
| 162 | 3.8 | 328.3 | 0.914317397 | 0.417346171 | 0.496971226 | 0.456456557 |
| 163 | 3.8 | 346.4 | 0.964693651 | 0.415603262 | 0.54909039 | 0.430813721 |
| 164 | 5.8 | 337.8 | 0.940762155 | 0.643003025 | 0.29775913 | 0.683491594 |
| 165 | 3.8 | 327.7 | 0.912508064 | 0.41994134 | 0.492566724 | 0.460205621 |
| 166 | 3.9 | 347.1 | 0.966581112 | 0.426613535 | 0.539967577 | 0.441363409 |
| 167 | 3.4 | 359.1 | 1 | 0.379393744 | 0.620606256 | 0.379393744 |
| 168 | 2.5 | 352.8 | 0.982350307 | 0.28082339 | 0.701526916 | 0.285868889 |
| 169 | 3.1 | 342.4 | 0.953595536 | 0.339544847 | 0.614050688 | 0.356067992 |
| 170 | 5.6 | 331.2 | 0.922390933 | 0.618517836 | 0.303873097 | 0.670559319 |
| 171 | 4.6 | 313.2 | 0.872194723 | 0.512269468 | 0.359925255 | 0.587333831 |
| 172 | 4.9 | 347.9 | 0.968824019 | 0.537461034 | 0.431362985 | 0.5547561 |
| 173 | 3.1 | 351.8 | 0.979727587 | 0.343714009 | 0.636013577 | 0.350826101 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 174 | 3.3 | 352.9 | 0.982688734 | 0.360620998 | 0.622067737 | 0.366973778 |
| 175 | 2.1 | 350.3 | 0.975474418 | 0.229948864 | 0.745525554 | 0.235730287 |
| 176 | 3.8 | 348.8 | 0.97141541 | 0.415971806 | 0.555443604 | 0.428212073 |
| 177 | 3.1 | 328.8 | 0.915719068 | 0.338477603 | 0.577241465 | 0.369630397 |
| 178 | 2.3 | 320.9 | 0.893709456 | 0.257067613 | 0.636641844 | 0.287641146 |
| 179 | 2.1 | 308.2 | 0.858252072 | 0.227952581 | 0.630299491 | 0.265600967 |
| 180 | 2.3 | 304.6 | 0.848219521 | 0.253958017 | 0.594261504 | 0.299401287 |
| 181 | 2.5 | 315.7 | 0.879243886 | 0.271794045 | 0.607449841 | 0.309122474 |
| 182 | 2.5 | 309.8 | 0.862640612 | 0.277207045 | 0.585433567 | 0.321347084 |
| 183 | 2.3 | 317.3 | 0.883662788 | 0.257743278 | 0.62591951 | 0.291676057 |
| 184 | 3.3 | 314.0 | 0.874436469 | 0.363093319 | 0.511343151 | 0.415231216 |
| 185 | 2.7 | 315.5 | 0.878482713 | 0.298874403 | 0.57960831 | 0.340216601 |
| 186 | 7.1 | 317.9 | 0.885353961 | 0.786274781 | 0.09907918 | 0.888090883 |
| 187 | 2.5 | 345.6 | 0.962400077 | 0.277160977 | 0.685239099 | 0.287989355 |
| 188 | 2.5 | 347.6 | 0.96793173 | 0.275801969 | 0.692129761 | 0.284939485 |
| 189 | 3.2 | 343.7 | 0.957136846 | 0.358977903 | 0.598158943 | 0.375053896 |
| 190 | 3.2 | 351.9 | 0.980034106 | 0.353488122 | 0.626545984 | 0.360689613 |
| 191 | 3.0 | 347.7 | 0.968403788 | 0.331014573 | 0.637389215 | 0.34181462 |
| 192 | 3.6 | 343.4 | 0.956204138 | 0.402212804 | 0.553991334 | 0.420634871 |
| 193 | 3.4 | 336.4 | 0.936707402 | 0.375930959 | 0.560776442 | 0.401332325 |
| 194 | 1.9 | 333.2 | 0.927940378 | 0.215099584 | 0.712840794 | 0.231803238 |
| 195 | 3.5 | 316.5 | 0.881422202 | 0.389283027 | 0.492139175 | 0.441653303 |
| 196 | 5.5 | 321.7 | 0.895810224 | 0.609590311 | 0.286219913 | 0.68049046 |
| 197 | 5.4 | 296.4 | 0.825455311 | 0.601280693 | 0.224174618 | 0.728423071 |
| 198 | 3.0 | 309.9 | 0.862911548 | 0.331198845 | 0.531712702 | 0.383815521 |
| 199 | 3.3 | 305.8 | 0.851557581 | 0.363108675 | 0.488448906 | 0.426405311 |
| 200 | 4.4 | 197.8 | 0.550863784 | 0.49153115 | 0.059332634 | 0.892291641 |
| 201 | 4.2 | 322.3 | 0.897583393 | 0.463076427 | 0.434506966 | 0.515914656 |
| 202 | 5.0 | 330.5 | 0.920457059 | 0.552072296 | 0.368384763 | 0.59978061 |
| 203 | 4.7 | 335.1 | 0.933231844 | 0.518043335 | 0.415188509 | 0.555106792 |
| 204 | 2.0 | 325.1 | 0.90520595 | 0.223023295 | 0.682182655 | 0.246378512 |
| 205 | 2.8 | 320.5 | 0.892598059 | 0.314637367 | 0.577960692 | 0.352496137 |
| 206 | 3.3 | 325.7 | 0.90699691 | 0.364605888 | 0.542391023 | 0.401992425 |
| 207 | 2.8 | 322.1 | 0.89685819 | 0.314015448 | 0.582842742 | 0.350128317 |
| 208 | 2.4 | 326.7 | 0.909722899 | 0.26612767 | 0.643595229 | 0.292537068 |
| 209 | 1.3 | 325.3 | 0.905784758 | 0.146074231 | 0.759710527 | 0.161268149 |
| 210 | 2.9 | 319.9 | 0.890805165 | 0.32027303 | 0.570532134 | 0.359532076 |
| 211 | 4.4 | 324.2 | 0.902862481 | 0.490318023 | 0.412544458 | 0.543070549 |
| 212 | 3.5 | 332.5 | 0.926073416 | 0.391578753 | 0.534494663 | 0.4228377 |
| 213 | 3.0 | 331.7 | 0.923580266 | 0.330745842 | 0.592834423 | 0.358112721 |
| 214 | 1.7 | 327.5 | 0.912003903 | 0.192042505 | 0.719961398 | 0.210572021 |
| 215 | 1.8 | 316.0 | 0.879987074 | 0.196810553 | 0.683176521 | 0.22365164 |
| 216 | 3.1 | 318.5 | 0.886871278 | 0.338208873 | 0.548662406 | 0.381350576 |
| 217 | 2.5 | 293.1 | 0.816093815 | 0.274343146 | 0.541750669 | 0.336166187 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 218 | 4.9 | 308.2 | 0.858248398 | 0.540555274 | 0.317693124 | 0.62983546 |
| 219 | 3.8 | 312.3 | 0.869754174 | 0.415027411 | 0.454726763 | 0.477177831 |
| 220 | 4.0 | 317.3 | 0.883711908 | 0.436856007 | 0.446855902 | 0.494342107 |
| 221 | 3.2 | 313.1 | 0.871879694 | 0.358901123 | 0.512978572 | 0.411640648 |
| 222 | 2.3 | 310.3 | 0.864087923 | 0.254403341 | 0.609684582 | 0.294418351 |
| 223 | 3.3 | 314.6 | 0.876160324 | 0.360528862 | 0.515631463 | 0.411487318 |
| 224 | 4.4 | 322.0 | 0.896699612 | 0.487177715 | 0.409521897 | 0.54330091 |
| 225 | 3.1 | 317.4 | 0.883770311 | 0.343153514 | 0.540616797 | 0.388283596 |
| 226 | 3.3 | 304.5 | 0.848091305 | 0.363423473 | 0.484667832 | 0.428519277 |
| 227 | 4.5 | 305.9 | 0.851786165 | 0.499447183 | 0.352338982 | 0.586352777 |
| 228 | 3.6 | 300.4 | 0.836570251 | 0.400454538 | 0.436115713 | 0.478686085 |
| 229 | 3.1 | 303.3 | 0.844703158 | 0.344504845 | 0.500198313 | 0.407841313 |
| 230 | 2.5 | 301.8 | 0.840364125 | 0.278374104 | 0.561990022 | 0.33125415 |
| 231 | 2.4 | 307.9 | 0.857434817 | 0.263701417 | 0.593733399 | 0.307546897 |
| 232 | 3.3 | 303.3 | 0.844628897 | 0.363600068 | 0.48102883 | 0.430484996 |
| 233 | 2.6 | 305.6 | 0.850915148 | 0.283741036 | 0.567174112 | 0.333453972 |
| 234 | 1.9 | 300.0 | 0.835343402 | 0.208412033 | 0.626931369 | 0.249492643 |
| 235 | 2.7 | 287.9 | 0.80169477 | 0.299672917 | 0.502021853 | 0.373799266 |
| 236 | 1.9 | 278.5 | 0.775464478 | 0.206815006 | 0.568649472 | 0.266698233 |
| 237 | 1.9 | 283.1 | 0.788497821 | 0.21113005 | 0.577367771 | 0.267762376 |
| 238 | 3.1 | 288.1 | 0.802211694 | 0.344197724 | 0.45801397 | 0.429060966 |
| 239 | 3.0 | 293.6 | 0.817680365 | 0.326952903 | 0.490727462 | 0.399854169 |
| 240 | 3.2 | 291.0 | 0.810492736 | 0.355975799 | 0.454516937 | 0.439209117 |
| 241 | 2.8 | 293.8 | 0.818123222 | 0.30967737 | 0.508445852 | 0.378521672 |
| 242 | 2.1 | 294.8 | 0.820995605 | 0.236175734 | 0.58481987 | 0.287669913 |
| 243 | 2.2 | 297.9 | 0.829722791 | 0.244439779 | 0.585283012 | 0.294604152 |
| 244 | 3.2 | 263.6 | 0.734034034 | 0.358338039 | 0.375695995 | 0.488176327 |
| 245 | 4.3 | 229.2 | 0.638345277 | 0.472236299 | 0.166108978 | 0.739781926 |
| 246 | 2.4 | 240.2 | 0.668976486 | 0.2660125 | 0.402963986 | 0.397641032 |
| 247 | 5.2 | 262.6 | 0.731336763 | 0.579951168 | 0.151385595 | 0.793001524 |
| 248 | 5.4 | 271.8 | 0.756929844 | 0.593487508 | 0.163442336 | 0.784072015 |
| 249 | 3.4 | 290.0 | 0.807569492 | 0.373573809 | 0.433995683 | 0.462590294 |
| 250 | 2.7 | 287.1 | 0.79947797 | 0.299695951 | 0.499782019 | 0.374864551 |
| 251 | 2.7 | 285.2 | 0.794188051 | 0.294352052 | 0.499835999 | 0.370632688 |
| 252 | 2.7 | 279.0 | 0.776947952 | 0.303711552 | 0.4732364 | 0.390903343 |
| 253 | 4.0 | 277.7 | 0.7733026 | 0.44701402 | 0.32628858 | 0.578058343 |
| 254 | 4.1 | 187.5 | 0.522117136 | 0.453663181 | 0.068453955 | 0.868891576 |
| 255 | 3.9 | 263.6 | 0.733958709 | 0.427081894 | 0.306876816 | 0.581888175 |
| 256 | 2.5 | 266.2 | 0.741258503 | 0.281706362 | 0.459552141 | 0.38003795 |
| 257 | 2.5 | 266.2 | 0.741182695 | 0.279986487 | 0.461196209 | 0.377756373 |
| 258 | 2.7 | 271.2 | 0.755350642 | 0.299296694 | 0.456053948 | 0.39623544 |
| 259 | 3.1 | 260.7 | 0.72603002 | 0.343998096 | 0.382031924 | 0.473806987 |
| 260 | 2.1 | 263.0 | 0.732263476 | 0.226954439 | 0.505309037 | 0.309935489 |
| 261 | 2.1 | 257.4 | 0.716830195 | 0.227468866 | 0.489361329 | 0.31732601 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 262 | 2.3 | 258.0 | 0.718397987 | 0.256837272 | 0.461560714 | 0.357513909 |
| 263 | 1.9 | 257.4 | 0.71680022 | 0.213548625 | 0.503251595 | 0.297919307 |
| 264 | 2.1 | 231.6 | 0.645062975 | 0.228336481 | 0.416726493 | 0.353975488 |
| 265 | 2.6 | 197.5 | 0.549903229 | 0.287318991 | 0.262584238 | 0.522490096 |
| 266 | 3.7 | 144.9 | 0.403555388 | 0.405506672 | 0.001951284 | 1.004835231 |
| 267 | 5.8 | 243.8 | 0.678979642 | 0.640361788 | 0.038617854 | 0.943123694 |
| 268 | 1.7 | 244.9 | 0.68201447 | 0.189255386 | 0.492759084 | 0.277494679 |
| 269 | 2.2 | 242.6 | 0.675662274 | 0.245542912 | 0.430119362 | 0.363410718 |
| 270 | 3.5 | 244.0 | 0.679369124 | 0.390158321 | 0.289210803 | 0.574295044 |
| 271 | 2.2 | 231.4 | 0.644371035 | 0.248391456 | 0.395979579 | 0.385478928 |
| 272 | 3.6 | 238.2 | 0.663439031 | 0.397060856 | 0.266378175 | 0.59848884 |
| 273 | 3.0 | 242.9 | 0.67650088 | 0.326530612 | 0.349970268 | 0.482675813 |
| 274 | 2.1 | 237.2 | 0.660658314 | 0.2339875 | 0.426670814 | 0.354173247 |
| 275 | 2.3 | 233.4 | 0.649850473 | 0.259255847 | 0.390594626 | 0.398946923 |
| 276 | 4.5 | 187.2 | 0.521422101 | 0.499093994 | 0.022328107 | 0.957178442 |
| 277 | 4.1 | 212.6 | 0.591947775 | 0.453686215 | 0.13826156 | 0.766429463 |
| 278 | 3.1 | 220.5 | 0.613935147 | 0.341640945 | 0.272294202 | 0.556477255 |
| 279 | 4.6 | 201.1 | 0.560157402 | 0.505174982 | 0.05498242 | 0.901844696 |
| 280 | 4.5 | 236.2 | 0.657673573 | 0.500772297 | 0.156901276 | 0.761429861 |
| 281 | 3.1 | 240.3 | 0.669278557 | 0.34502695 | 0.324251607 | 0.5155207 |
| 282 | 3.3 | 237.5 | 0.661504384 | 0.366487001 | 0.295017383 | 0.554020518 |
| 283 | 4.3 | 234.7 | 0.653724989 | 0.4740867 | 0.179638289 | 0.725208165 |
| 284 | 2.8 | 236.5 | 0.658527765 | 0.30720779 | 0.351319975 | 0.466506967 |
| 285 | 2.7 | 226.0 | 0.629360112 | 0.30037677 | 0.328983342 | 0.477273288 |
| 286 | 6.1 | 222.5 | 0.619682814 | 0.67790728 | 0.058224467 | 1.093958498 |
| 287 | 1.9 | 232.4 | 0.647137828 | 0.205993458 | 0.44114437 | 0.318314661 |
| 288 | 5.2 | 224.2 | 0.624348284 | 0.573326037 | 0.051022248 | 0.91827919 |
| 289 | 3.4 | 224.4 | 0.625002514 | 0.38041492 | 0.244587594 | 0.608661424 |
| 290 | 4.0 | 225.4 | 0.627759445 | 0.444042628 | 0.183716816 | 0.707345197 |
| 291 | 3.4 | 214.9 | 0.598563557 | 0.377888853 | 0.220674704 | 0.631326195 |
| 292 | 2.8 | 224.1 | 0.624114479 | 0.31292517 | 0.311189309 | 0.501390659 |
| 293 | 2.5 | 219.2 | 0.610288828 | 0.274619554 | 0.335669274 | 0.449982929 |
| 294 | 3.7 | 221.6 | 0.617192564 | 0.407845886 | 0.209346678 | 0.660808165 |
| 295 | 4.0 | 209.4 | 0.583207825 | 0.442929316 | 0.140278509 | 0.759470805 |
| 296 | 3.3 | 201.4 | 0.560773727 | 0.362540502 | 0.198233226 | 0.646500511 |
| 297 | 2.8 | 207.1 | 0.576800514 | 0.31404616 | 0.262754354 | 0.544462345 |
| 298 | 4.0 | 188.6 | 0.525109612 | 0.447700809 | 0.077408803 | 0.852585438 |
| 299 | 2.7 | 205.5 | 0.572223421 | 0.293891371 | 0.27833205 | 0.513595495 |
| 300 | 2.1 | 204.8 | 0.570264987 | 0.2350701 | 0.335194887 | 0.412212052 |
| 301 | 3.9 | 206.7 | 0.575729148 | 0.434122633 | 0.141606515 | 0.754039699 |
| 302 | 1.4 | 203.8 | 0.56752082 | 0.156956989 | 0.410563831 | 0.276566046 |
| 303 | 2.4 | 203.0 | 0.565257027 | 0.263931758 | 0.30132527 | 0.466923444 |
| 304 | 2.1 | 200.8 | 0.559305337 | 0.230409545 | 0.328895792 | 0.411956636 |
| 305 | 1.7 | 197.2 | 0.549297346 | 0.1850248 | 0.364272546 | 0.336839057 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 306 | 2.0 | 192.3 | 0.535421994 | 0.220834655 | 0.314587339 | 0.412449726 |
| 307 | 2.5 | 182.7 | 0.508853081 | 0.280055589 | 0.228797492 | 0.550366302 |
| 308 | 2.4 | 187.3 | 0.521636374 | 0.266880115 | 0.254756259 | 0.511620985 |
| 309 | 2.9 | 174.3 | 0.485516638 | 0.323505474 | 0.162011164 | 0.666311819 |
| 310 | 3.4 | 112.0 | 0.31193908 | 0.381101389 | 0.069162309 | 1.221717359 |
| 311 | 2.1 | 153.0 | 0.42606336 | 0.228528432 | 0.197534928 | 0.536371942 |
| 312 | 1.9 | 168.0 | 0.467806995 | 0.206944852 | 0.260862143 | 0.442372291 |
| 313 | 1.3 | 178.8 | 0.497906195 | 0.145936027 | 0.351970168 | 0.29309944 |
| 314 | 1.7 | 138.5 | 0.385640174 | 0.1902029 | 0.195437274 | 0.493213397 |
| 315 | 1.3 | 160.9 | 0.447974925 | 0.145957564 | 0.302017361 | 0.32581637 |
| 316 | 2.7 | 168.2 | 0.468502609 | 0.298042183 | 0.170460426 | 0.636159069 |
| 317 | 2.3 | 175.5 | 0.488598846 | 0.256417535 | 0.232181311 | 0.524801761 |
| 318 | 1.8 | 174.6 | 0.486303338 | 0.201237765 | 0.285065574 | 0.413811193 |
| 319 | 1.2 | 145.0 | 0.403911801 | 0.129964456 | 0.273947346 | 0.321764443 |
| 320 | 1.6 | 167.0 | 0.465116396 | 0.173381419 | 0.291734977 | 0.372769957 |
| 321 | 1.3 | 168.2 | 0.468274799 | 0.148093549 | 0.32018125 | 0.31625351 |
| 322 | 2.1 | 168.2 | 0.468372459 | 0.230778691 | 0.237593768 | 0.492724725 |
| 323 | 3.9 | 162.9 | 0.453532491 | 0.43605188 | 0.017480612 | 0.96145676 |
| 324 | 2.4 | 161.9 | 0.450948642 | 0.26313938 | 0.187809262 | 0.583524055 |
| 325 | 1.4 | 166.6 | 0.463827469 | 0.158356085 | 0.305471384 | 0.341411615 |
| 326 | 4.1 | 157.8 | 0.439355069 | 0.454148643 | 0.014793574 | 1.033671114 |
| 327 | 2.7 | 164.4 | 0.457874618 | 0.293722455 | 0.164152163 | 0.641491018 |
| 328 | 3.6 | 163.2 | 0.454497688 | 0.393171254 | 0.061326433 | 0.865067667 |
| 329 | 1.9 | 164.8 | 0.458800751 | 0.209877191 | 0.248923559 | 0.457447359 |
| 330 | 1.4 | 159.4 | 0.444031369 | 0.155888261 | 0.288143108 | 0.351074883 |
| 331 | 2.8 | 114.4 | 0.318441151 | 0.312003808 | 0.006437342 | 0.979784829 |
| 332 | 5.7 | 141.4 | 0.393827423 | 0.625207571 | 0.231380149 | 1.587516601 |
| 333 | 4.5 | 152.2 | 0.423721052 | 0.498622487 | 0.074901435 | 1.176770625 |
| 334 | 2.9 | 161.1 | 0.448525499 | 0.317459533 | 0.131065966 | 0.707784805 |
| 335 | 1.2 | 157.8 | 0.439563153 | 0.12790037 | 0.311662783 | 0.290971546 |
| 336 | 1.2 | 158.2 | 0.440540533 | 0.133064733 | 0.3074758 | 0.302048785 |
| 337 | 2.3 | 156.1 | 0.434800022 | 0.256361235 | 0.178438787 | 0.589607227 |
| 338 | 2.0 | 157.3 | 0.437999423 | 0.22215156 | 0.215847863 | 0.50719601 |
| 339 | 2.6 | 156.5 | 0.435736984 | 0.283533143 | 0.152203841 | 0.650697906 |
| 340 | 4.6 | 146.3 | 0.407445376 | 0.509661667 | 0.102216291 | 1.250871153 |
| 341 | 4.1 | 161.6 | 0.45006931 | 0.44822901 | 0.0018403 | 0.995911073 |
| 342 | 2.5 | 154.4 | 0.430067514 | 0.280217793 | 0.149849721 | 0.651566985 |
| 343 | 5.0 | 154.0 | 0.428780981 | 0.549636581 | 0.1208556 | 1.281858584 |
| 344 | 3.2 | 131.8 | 0.36692743 | 0.355376914 | 0.011550516 | 0.968520978 |
| 345 | 3.1 | 157.3 | 0.438022243 | 0.347835884 | 0.090186358 | 0.794105528 |
| 346 | 4.2 | 141.6 | 0.394444135 | 0.463382181 | 0.068938046 | 1.174772647 |
| 347 | 4.7 | 132.7 | 0.369530038 | 0.514324903 | 0.144794865 | 1.39183517 |
| 348 | 2.0 | 152.6 | 0.424932624 | 0.21720783 | 0.207724794 | 0.511158282 |
| 349 | 1.8 | 142.4 | 0.396436605 | 0.195667234 | 0.200769372 | 0.493565002 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 350 | 1.4 | 132.4 | 0.368638909 | 0.155226425 | 0.213412484 | 0.421079873 |
| 351 | 2.5 | 153.4 | 0.427129505 | 0.27728933 | 0.149840174 | 0.64919264 |
| 352 | 3.9 | 130.7 | 0.363916389 | 0.429853657 | 0.065937268 | 1.181187961 |
| 353 | 4.7 | 129.2 | 0.359738641 | 0.520017869 | 0.160279228 | 1.445543541 |
| 354 | 5.6 | 140.7 | 0.39186048 | 0.620646718 | 0.228786238 | 1.583846165 |
| 355 | 2.3 | 101.7 | 0.283336118 | 0.256384269 | 0.026951849 | 0.904876763 |
| 356 | 2.9 | 131.3 | 0.365656875 | 0.319084159 | 0.046572716 | 0.872632734 |
| 357 | 3.2 | 145.4 | 0.404782238 | 0.348382242 | 0.056399996 | 0.860665833 |
| 358 | 2.1 | 146.9 | 0.409050685 | 0.231814109 | 0.177236575 | 0.566712435 |
| 359 | 1.1 | 145.3 | 0.404617472 | 0.117775407 | 0.286842065 | 0.291078402 |
| 360 | 1.4 | 146.3 | 0.40734438 | 0.150848363 | 0.256496017 | 0.370321453 |
| 361 | 4.5 | 121.5 | 0.338275928 | 0.500950384 | 0.162674455 | 1.480892792 |
| 362 | 1.9 | 154.0 | 0.428992599 | 0.210648745 | 0.218343854 | 0.491031186 |
| 363 | 5.5 | 151.4 | 0.42171253 | 0.6112942 | 0.189581669 | 1.4495519 |
| 364 | 2.9 | 127.6 | 0.355287057 | 0.315717403 | 0.039569654 | 0.888626245 |
| 365 | 2.8 | 145.8 | 0.405936567 | 0.309037092 | 0.096899475 | 0.761294047 |

الملخص

الحت الريحي هو ظاهرة جيولوجية ومناخية تحدث على مدى فترات طويلة من الزمن في الصحاري والمناطق القاحلة في معظم الأوقات، تستمر أحداثه دون أن يلاحظها احد لكنها في بعض الأحيان تكون أكثر وضوحا. يهدف هذا العمل إلى التعرف على أهم المفاهيم العامة حول الحت الريحي وأسس الفيزيائية والتقنيات الخاصة بتقديره، حيث قمنا في هذه الدراسة بتقييم تأثير سرعة الرياح والإشعاع الشمسي على الحت الريحي في منطقة ورقلة ، أين بينت النتائج ان الرياح احد العوامل الأساسية التي تؤدي للحت الريحي.

الكلمات المفتاحية: الحت الريحي، التآكل، التعرية، الإشعاع الشمسي، حبيبات الرمل.

Résumé :

L'érosion éolienne est un phénomène géologique et climatique qui se produit sur de longues périodes dans les déserts et les zones arides la plupart du temps, et ses événements passent inaperçus, mais parfois ils sont plus perceptibles. Ce travail vise à identifier les notions générales les plus importantes sur l'érosion éolienne, ses fondements physiques et les techniques d'estimation, ainsi qu'à évaluer l'effet de la vitesse du vent et du rayonnement solaire sur l'érosion éolienne dans la région de Ouargla.

Mots clés : érosion éolienne, érosion, grains de sable , rayement solaire

Summary:

Wind erosion is a geological and climatic phenomenon that occurs over long periods of time in deserts and arid areas most of the time, and its events continue unnoticed, but sometimes they are more noticeable. This work aims to identify the most important general concepts about wind erosion, its physical foundations, and techniques for its estimation. We also evaluated the effect of wind speed and solar radiation on wind erosion in the Ouargla region.

Key words: wind erosion, erosion, sand grains , solairradiation .