الخواص الكيميائية والفيزيائية للكثبان الرملية في الشرق الأوسط

علي الدوسري [1*]، صالح عوض[2]، مثنى الراوي[3]، عبداللطيف الياقوت[4]، نور الدوسري[1]، عبير الصالح[1]، تينا وليم[1]

[1] مركز أبحاث البيئة وعلوم الحياة، معهد الكويت للأبحاث العلمية، الكويت.

[2] قسم الجيولوجيا، جامعة بغداد، كلية العلوم، بغداد، العراق.

[3] قسم الجغرافيا، كلية الزراعة، جامعة الأنبار، الرمادي، العراق.

[4] قسم الجغرافيا، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة الكويت، الكويت.

المستخلص

تم تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية لرمال الكثبان الرملية في العراق والكويت والمملكة العربية السعودية وقطر والإمارات. تتواجد الكثبان الرملية في منطقة الدراسة بثلاثة أنواع: الكثبان المعزولة والمجموعات والأحزمة. إقليميا، تم التعرف على 4 مناطق من ممرات الكثبان المتحركة مع خصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة. تعتبر حبيبات الكثبان الرملية في السهل الفيضي لبلاد ما بين النهرين (العراق) هي الأدق حجمًا، ذات انحراف معياري رديء، مع نسبة سيليكا هي الأقل نقاوة (أقل من 75٪)، وتحتوي على 6–19٪ من الكربونات والفلدسبار وبأعلى مساحة للحبيبات (10–50 جم م$^{-2}$) بالمقارنة مع الكثبان الرملية في منطقة الدراسة. تحتوي الكثبان في العراق على النسبة الأعلى بين الكثبان الرملية من المعادن الثقيلة والطينية والفلدسبار والكربونات مما يجعلها الأفضل للزراعة ويمكن تثبيتها بكفاءة من خلال مواد صديقة للبيئة أو نباتات محلية. الكثبان الرملية في شمال غرب شبه الجزيرة العربية وشمال شرق الكويت لها هيمنة لجزء الرمل خشن، ذات انحراف معياري جيد، مع كربونات والفلدسبار أقل من 1٪، ومساحة سطح للحبيبات منخفضة (<1 جم/م^2) وتحتوي على نسبة عالية من السيليكا (فوق 98٪) مما يجعلها أعلى الكثبان الرملية نقاوة في الشرق الأوسط وأجودها لصناعة الزجاج وإنتاج ألواح الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية: الكثبان الهلالية، حركة الرمال، السيلكا، الكربونات، الشرق الأوسط.

The Chemical and Physical Characteristics of Barchan Dunes in the Middle East

Ali Al-Dousari[1*], Salih Awadh[2], Muthana Alrawi[3], Abdullatif Alyaqout[4], Noor Al-Dousari[1], Abeer Alsaleh[1], Teena William[1]

[1] Environment & Life Sciences Research Center, Kuwait Institute for Scientific Research (KISR), Kuwait.

[2] Geology Department, College of Sciences, University of Baghdad, Baghdad, Iraq.

[3] Department of Soil Sciences, College of Agriculture, University of Anbar, Ramadi, Iraq.

[4] Department of Geography, College of Social Sciences, Kuwait University, Kuwait.

Abstract

Sand physical and chemical properties of dune sand in Iraq, Kuwait, Saudi Arabia, Qatar, and the United Arab Emirates were analyzed. There are three types of sand dunes in the study area: isolated dunes, groups, and belts. Four regional zones of mobile dune corridors with different chemical and physical properties have been identified. The sand dune grains of the Mesopotamian flood plain (Iraq) are the finest in size, with poor standard deviation, with a purity of silica (<75%), containing 6-19% carbonates and feldspar, and with the highest grain area (10 -50 g/m^2) when compared to sand dunes in the study area. The dunes in Iraq contain the highest ratio of heavy metals, clay, feldspar, and carbonate among sand dunes, which makes them the best for agriculture and can be fixed and stabilized efficiently by environmentally friendly materials or native plants. The dominant sand dunes in Northwest Arabia and Northeast Kuwait are coarse sands of good standard deviation, with less than 1% carbonate and feldspar, low grain surface area (<1 g/m^2), and high silica content (above 98%) Which makes it the highest purity sand dunes in the Middle East and the best for manufacturing glass and PV panels.

Keywords: Barchan, sand movement, silica, carbonates, The Middle East.

المقدمة

تعتبر منطقة الشرق الأوسط منطقة صحراوية يغلب عليها المناخ الجاف والحار والعاصف. يتجلى جفافه المناخي من خلال الاختلافات اليومية والشهرية في درجة حرارة الهواء. يشير الملخص الإحصائي لبيانات الأرصاد الجوية في الكويت ومحيطها لمدة 50 عامًا إلى أن متوسط درجة الحرارة في الصيف (يونيو – أكتوبر) هو 37.40 °م (Tang وآخرون 2006 و Subramanian وآخرون، 2015). هطول الأمطار متفاوت ومنخفض بمعدل 115 مم كمتوسط سنوي لسقوط الأمطار في الكويت (Al-Dousari وآخرون، 2022) 157 ملم في بغداد (Al-Ghadban وآخرون، 1999) و111 ملم في الرياض (Bamousa وآخرون، 2014 و Abdullatif و Benaafi، 2015) و72 مم في العين (الإمارات العربية المتحدة و Ahmed وآخرون 2009) و100 مم في الدوحة. (Al-Shemmari وآخرون 2013). تهب الرياح في الغالب من الشمال الغربي حوالي 60٪ من إجمالي اتجاهات الرياح في شمال شبه الجزيرة العربية والعراق (Khalaf وآخرون، 1995) في حين تهب الرياح من اتجاهات أخرى بمدى أقصر وأقل تواترا (Al-Hazza وآخرون، 2019).

*Corresponding author.
Email: adousari@kisr.edu.kw
https:// 10.36531/ijds.2023.145007.1055
Received 5 July 2023; Received in revised form 15 August 2023; Accepted 15 August 2023

تصنف الكثبان حسب نمط حركتها طبقاً لدراسات Pye و Tsoar (1990) و Ahmed وآخرون (2009) Al–Awadhi وآخرون (2013). إلى ثلاثة أنواع، وهي: الكثبان الرملية المتحركة أو حرة الحركة، والكثبان الثابتة والمقيدة. تنتشر في شمال شرق شبه الجزيرة العربية والعراق، الكثبان الهلالية حرة الحركة بنسبة تصل الى 80٪ من مجمل الكثبان الرملية (Al–Dousari وآخرون، 2023 2009, 2005). غالبًا ما تظهر الكثبان الهلالية بالقرب من مصدرها في المناطق المحيطية لبحر الرمال في النجف في العراق، وخاصة في اتجاه الرياح بعد الأذرع المتقدمة للكثبان الخطية (Skocek و Saadallah 1972) استخدم (Al Dabi وآخرون، 1997) جهاز رسم الخرائط الحراري في القمر الاصطناعي لاندسات (TM) مع دقة تصل إلى 30 مترًا في حساب الكثبان الرملية في الكويت. وفقًا لتحقيقاتهم تم تحديد 444 و567 و1530 و2121 الكثبان الرملية في 1985 و1989 و1992 و1994 على التوالي. على الرغم من الزيادة الكبيرة في عدد الكثبان الرملية من عام 1989 إلى عام 1992 في الكويت والعراق والتي تعزى إلى الأنشطة المصاحبة لحرب الخليج (1990–1991) إلا أنه لا يمكن استبعاد عوامل أخرى مثل التأثير البشري و/أو التغيرات في الظروف المناخية خلال الفترة من 1980 إلى 2018 كما أشار (Al–Dousari وآخرون 2018 , 2020). إن زيادة فترات الجفاف هو عامل مهم في نشاط الكثبان الرملية والتي يتوقع ارتفاع حدتها في المناطق المتدهورة التي تتواجد فيها الكثبان النشطة المصحوبة بمناطق النباك أو الكثبان المقيدة بفعل النباتية (Al–Dousari وآخرون 2019). لاحظ (Wolfe وآخرون 1997) في المروج الكندية أنه خلال الهولوسين، يختلف نشاط الكثبان الرملية في الاستجابة لتغير الجفاف والغطاء النباتي المصاحب. كما أشار (Wolfe وآخرون 1997) إلى أن نشاط الكثبان تغير بشكل سريع استجابة للتغيرات في درجة الحرارة وهطول الأمطار حتى بعد فترات الجفاف القصيرة. انعكس التغير في النشاط في السمات الدقيقة لجسيمات الرمل(Al–Dousari وآخرون [a&b]2020) وتدفق الملوثات (Halos وآخرون 2021) والنويدات المشعة ضمن رواسب الرياح من الغبار والرمال السافية في المنطقة (Aba وآخرون 2016,2018).

ويقدر المتوسط السنوي لانجراف الرمال في الكويت بـ 99.596 كجم/متر. يبلغ أعلى متوسط لصافي تدفق الرمال 18.620 كجم/متر في شهر يونيو، بينما في ديسمبر هو أدنى صافي تدفق يبلغ 0.592 كجم/متر، مما يشير إلى أن أقصى انجراف رملي خلال فصل الصيف مقارنة بغيره المواسم (Al–Awadhi وآخرون 2000).

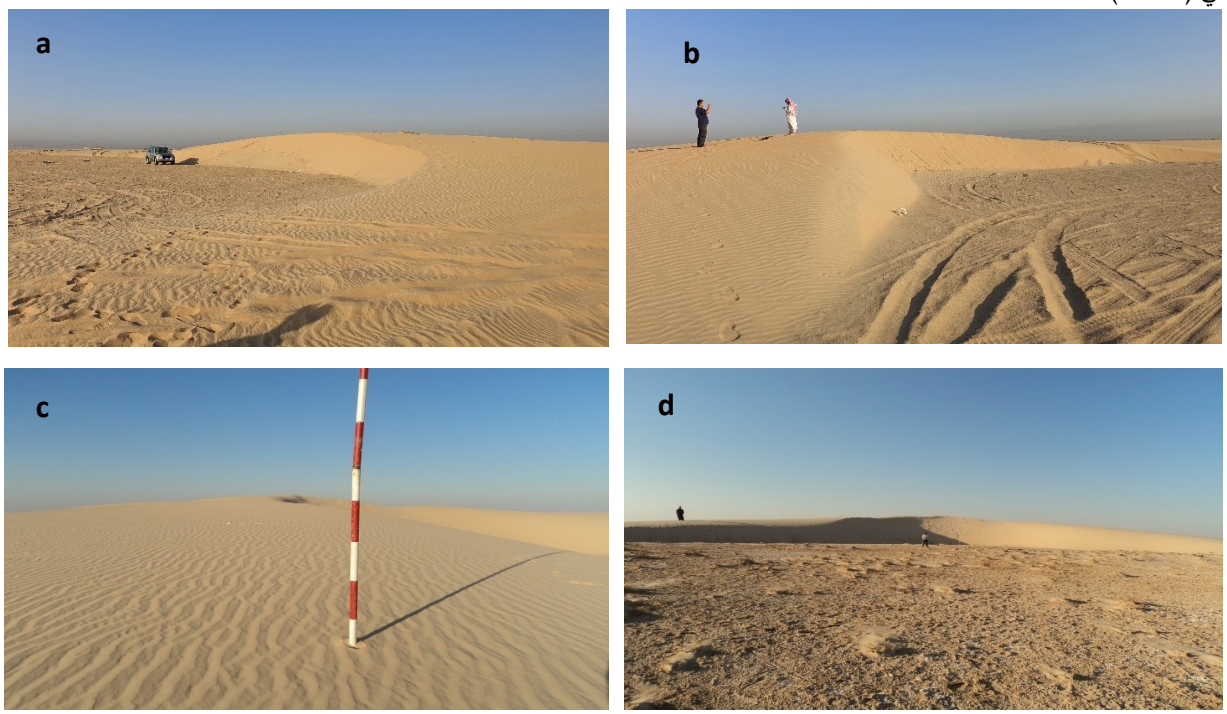
لا يزال بدء وتحرك الكثبان الرملية والعمليات المصاحبة لنشاط الرياح من بين الجوانب الأقل فهمًا في منطقة الشرق الأوسط (Doronzo و Al–Dousari 2019 ; Doronzo وآخرون 2016). أدى التباين في معدلات إمدادات الرمال، والسرعة العالية، وهيمنة الرياح أحادية الاتجاه إلى مجموعة متنوعة من تكوينات الكثبان المعقدة والمركبة والبسيطة (Ahmed وآخرون 2016). تتقدم الكثبان الهلالية من خلال عمليات التآكل من على سطح الانزلاق والترسيب في منصرف الرياح السائدة (Lancaster 2004) من ناحية أخرى. ذكر Al–Ajmi وآخرون (1994) أن تكوين الكثبان الرملية يبدأ من تراكم بقع رملية مسطحة بمساحة حوالي 80 إلى 100 م^2 بارتفاع 30 سم من مستوى الأرض وعليه يصبح النمو المستمر للتلال يشكل بقع رملية وفي النهاية يشكل الكثبان الرملية. لاحظ (Al–Dousari 1998) أن صورة القمر الاصطناعي لاندسات ، باستخدام النطاقات 2 و 5 و 7 ، لا تفرق بين ألواح الرمل المتحركة السميكة والرقيقة. وذكر أيضًا تكون فرشات الرمال المتحركة السميكة والمتواجدة حول الكثبان الرملية، في حين تظهر فرشات الرمل الرقيقة في نهاية اتجاه الكثبان الرملية المتحركة في ممر الكثبان الرملية مما يشير إلى أن الكثبان الرملية هي أحد المصادر الرئيسة للفرشات الرمال والرمال السافية والتي تسبب التراكمات الرملية في المنطقة.

تمت دراسة الاختلافات في الخصائص الحجمية لنوع الكثبان الرملية في منطقة الشرق الأوسط ومقارنتها مع مثيلاتها في العالم من قبل (Pye و Al–Dousari 2005). وجد Saadallah و Skocek (1972) تشابهًا وثيقًا في التركيب المعدني والكيميائي بين الكثبان الرملية في العراق وترسبات السهول الفيضية المحيطة ببلاد ما بين النهرين. ذكر (Al–Dousari وآخرون 1998) أن التركيب المعدني للكثبان الرملية الهلالية في شمال غرب الكويت يماثل نظيره في الكثبان المعاكسة في الجانب العراقي. وأشار (Al–Dousari وآخرون 1998) إلى أوجه التشابه الوثيقة في الخواص الكيميائية والفيزيائية بين الكثبان الرملية في شمال غرب الكويت مع رواسب تكوين الدبدبة، وخلص إلى أن تكوين الدبدبة يعمل كمصدر رئيسي للرواسب للكثبان الرملية في شمال غرب الكويت حيث يمتد تكوين الدبدبة من السماوة والنجف شمالا حتى طريق السالمي في الكويت جنوبا وتكون من رواسب رملية فيضيه قديمة (البليستوسين) تحوي على الصلبوخ وراسب الكلس والطين.

يعد وجود الكثبان الرملية مع حركتها من أهم المعوقات التي تعترض مشاريع التنمية الاقتصادية، حيث تهاجم الرمال مساحات كبيرة من الأراضي الزراعية مما يؤدي إلى تدهور الأراضي وخسائر كبيرة للمزارعين وهجرة السكان من أماكنهم. تقدر مساحة الكثبان الرملية في العراق بـ 4 ملايين فدان (Al–Kaabi وآخرون 2008) إن زحف الرمال على المستوطنات البشرية الناتج عن حركة الكثبان الرملية له عواقب اجتماعية واقتصادية ضخمة (Al–Dousari وآخرون 2020 ; Al–Dousari وآخرون [a]2019 ; Al–Dousari و Ahmed 2013). دراسة الكثبان أمر في غاية الأهمية من الناحية البيئية والاقتصادية للبيئات الأرضية والبحرية (Al–Enezi وآخرون 2014 ; Khan وآخرون 1999).

من ناحية أخرى، يمكن أن تسبب حركة جزيئات الغبار والرمل المتحرك في إلحاق الضرر بالمزارع (Al–Dousari وآخرون 2000 –Al 2005 Dousari;) والبنى التحتية الرئيسية (Neelamani وآخرون 2015) والطرق (Neelamani وآخرون 2016) والألواح الكهروضوئية (Al–Dousari وآخرون [b]2009).

لكثبان التي تحتوي على المزيد من الفلدسبار والكربونات والمعادن الثقيلة والطينية هي الأجود للزراعة والتثبيت البيولوجي، وبالتالي يمكن تثبيتها بمواد صديقة للبيئة أو نباتات فطرية بشكل أسرع وأسهل من الكثبان التي تحوي على نسب أقل (Al–Dousari وآخرون 2009 ; Al–Dousari وآخرون [a]2008 ; Al–Dousari و Ahmed 2015; Misak وآخرون 2007).وتعتبر النباتات الفطرية والأحزمة الخضراء أكثر وسائل التحكم كفاءة في تثبيت الكثبان الرملية المتنقلة في الدول الصحراوية (Al–Dousari وآخرون [c]2019). اذ تهدف الدراسة إلى توفير فهم أفضل لتوزيع الكثبان، وخصائصها الكيميائية والفيزيائية في المنطقة من خلال رصد شامل للدراسات التي قامت حول الكثبان الهلالية في المنطقة. كما في (الشكل 1).



شكل 1. كثبان هلالية في (b, a) شمال شرق الكويت و (c, d) جنوب العراق (النجف).

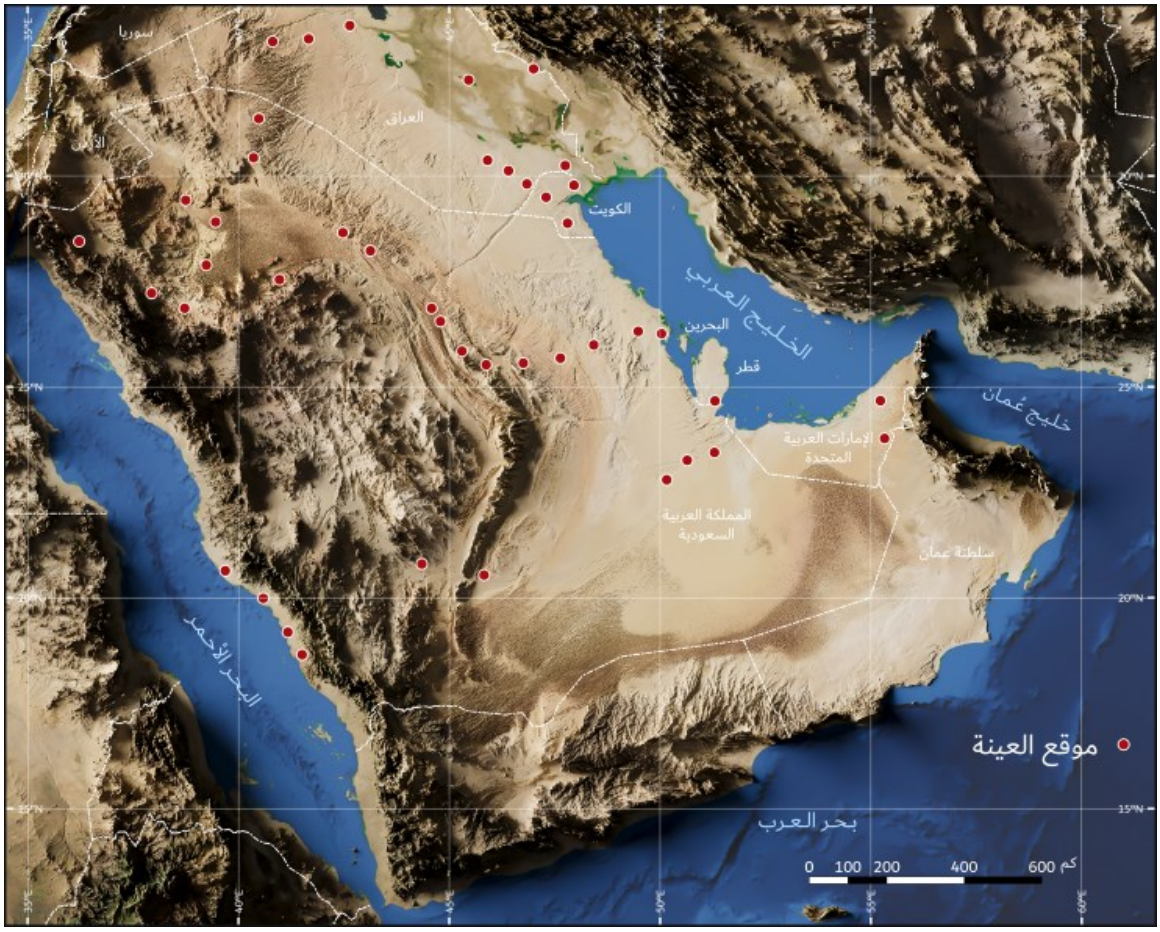
*The figure above shows, (a, b) Crescent dunes in northeast Kuwait, and (c, d) southern Iraq (Najf).

المواد وطرائق العمل

تم جمع ما يقرب من 1000 عينة رملية من أنواع تمثيلية للكثبان الحرة في الكويت والعراق والجزيرة العربية (الشكل 2). تم اختيار كل نوع من الكثبان الرملية التجريبية من حقول الكثبان الرملية الموجودة بناءً على الخبرة الشخصية والعمل الميداني المكثف وتحليل صور الأقمار الصناعية. تم إجراءات الفرز الحجمي للرمال لجميع العينات باستخدام النخل القياسي على فترات زمنية بحجم ربع فاي لمدة 15 دقيقة باستخدام جهاز هز ميكانيكي. تم حساب معلمات الحجم الإحصائي باستخدام طريقة Folk and Ward (1957). تم استخدام برنامج GRADISTAT لحساب النسب المئوية للكسور ذات الأحجام المختلفة والمعلمات الإحصائية من خلال الطرق اللحظية والرسومية ولجميع العينات. تم دعم البيانات من التحليل الذي أجراها باحثون عديدون في الشرق الأوسط بما في ذلك (Abdullatif و Benaafi 2015; Awadh 2012 ;. Al–Ghadban وآخرون 2000 ; Al–Ghadban وآخرون 1999) وتم وضع خريطة لتوزيع اخذ العينات من الكثبان الرملية الحرة الممثلة في الكويت والعراق والجزيرة العربية (الشكل 2).

تم إجراء تحليل العناصر الرئيسية والنادرة باستخدام جهاز ومضان الأشعة السينية (XRF). يعد التحليل الجيوكيميائي باستخدام XRF أداة قيمة لأخذ بصمات الرواسب ذات المصدر المحتمل ومقارنتها بالرواسب المنقولة عبر الرياح من مناطق مختلفة. وتم استخدام جهاز Hitachi 3000 ذو الضغط المتغير SEM المجهز بعواكس للتعريف المعدني ولتحليل العينات من خلال دراسة العناصر الرئيسية الموجودة ضمن الشوائب

المكتشفة في الكوارتز والفلسبار والجسيمات الأخرى بعناية. تم قياس مساحة سطح العينات باستخدام أداة قياس مساحة سطح كولتر (SA 3100) يتم تحويل قيمة قياس مساحة السطح بالمتر المربع لكل جرام تلقائيًا من سعة الطبقة الأحادية بواسطة الجهاز.



شكل 2. مواقع أخذ العينات للكثبان الرملية في الشرق الأوسط.

*The figure above shows Sampling sites for sand dunes in the Middle East.

النتائج والمناقشة

توزيع الكثبان

تنتشر الكثبان الرملية في العراق والجزيرة العربية. تتشكل في ثلاثة أشكال، وهي الأحزمة والمجموعات والفرادى المنعزلة. تغطي الكثبان الرملية المنفردة أو المنعزلة ومجموعات الكثبان الهلالية أكثر من 80٪ من بعض مناطق حزام الكثبان الرملية. التصنيف التقليدي متعدد الأطياف عبر صور الأقمار الاصطناعية لا يوفر نتائج دقيقة لتصنيف الكثبان الرملية، لأنه لا يمكن تمييز الكثبان بناءً على خصائصها الطيفية وحدها حيث تلعب الخصائص النسيجية للكثبان وشكلها وحجمها دورًا هامًا في تحديد النوع. إن المساحة الأصغر للكثبان الرملية والبصمة الطيفية المماثلة لفرشات الرمل تجعل من الضروري دمج التصنيف الحجمي في مخطط التصنيف للكثبان. تتميز الكثبان بأشكال وأحجام متعددة بناءً على سرعة الرياح واتجاهها نتيجة لتدهور الأراضي والنباتات الطبيعية. تنتشر الكثبان الرملية في العراق على شكل حزام على جانبي نهر الفرات، يمتد من شمال بيجي في الشمال الغربي إلى الحدود الجنوبية للعراق بعرض يتراوح من 5 إلى 25 كم. وبطبيعة الحال، فإن نشاط الرياح لعدة مرات على مدار العام، ترتفع كميات كبيرة من الحبيبات السطحية في شكل رمل وكميات أخرى من الغرين والطين، وعندما تضعف سرعة الرياح أو تعوقها العوائق، يتم ترسيب الجسيمات لتشكيل الكثبان من مختلف الأشكال والأحجام. تقع الكثبان الرملية على يمين نهر الفرات وتسمى كثبان السماوة بحوالي 181000 فدان، بينما تغطي تلك الموجودة على يسار النهر 90800 فدان فقط.

خصائص حبيبات الكثبان

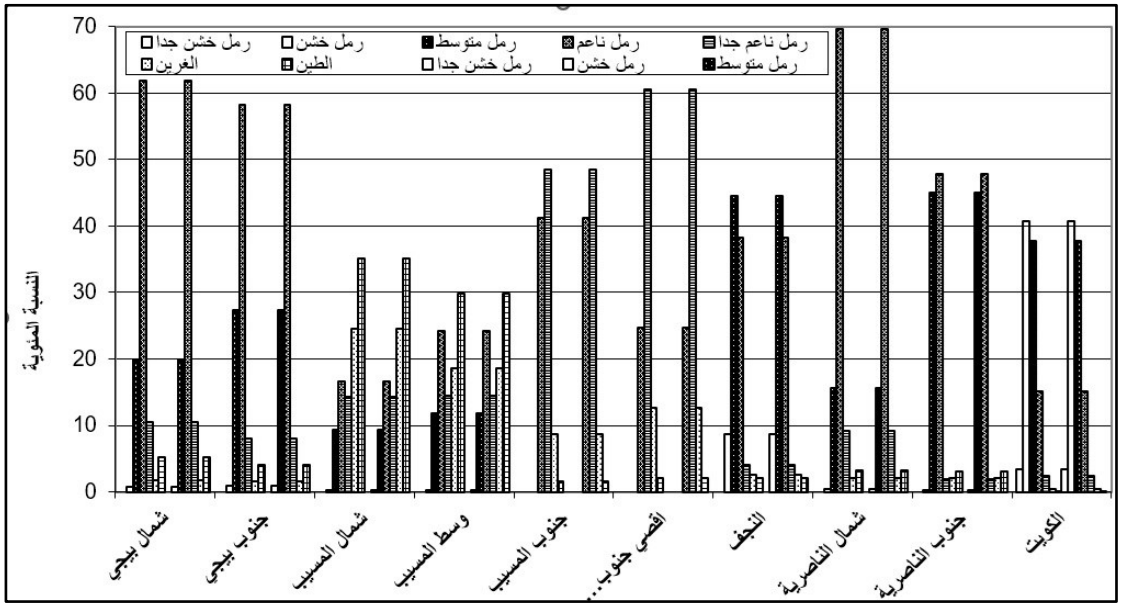
البيانات الإحصائية للكثبان المدروسة متغيرة إقليميا. القطر المتوسط لحجم الرواسب في سهل الفيضان في بلاد ما بين النهرين هو أدق من الكثبان الرملية الأخرى على المستوى الإقليمي. رواسب الكثبان في الكويت أكثر خشونة من الكثبان المحيطة في العراق والسعودية وقطر والإمارات. يظهر متوسط حجم حبيبات رمال الكثبان الرملية مع اختلافات واسعة تتحول بين 1.3 فاي و3.1 فاي حيث تظهر الكثبان الهلالية في الكويت حجما متوسطًا أكبر، وفرزًا محسّنًا، وانحرافًا معياري أكثر تناسقا مقارنة بتلك الكثبان القريبة التي تقع عكس حركة الكثبان في العراق ومنصرف حركة الكثبان في المملكة العربية السعودية (الجدول 1). قد تُعزى النسب المرتفعة من الرواسب الدقيقة داخل الكثبان الرملية في العراق إلى موقعها بالقرب من السهل الفيضي للرافدين والذي يعمل كمصدر رئيسي للرواسب الدقيقة (الشكل 3). حيث تحوي الكثبان والسبخات على رواسب أكثر خشونة من غيرها من الرواسب. ومع ذلك، كانت الدراسات حول الكثبان المنطقة محدودة، وبالتالي، كان المحتوى المتاح مرتبطًا بكثبان كبيرة (الكثبان الخطية) تظهر أن الكثبان المنطقة المدروسة تُظهر متوسط حجم حبوب أكبر، وفرزًا أفضل و`ذات انحراف معياري متناسق.

جدول 1. المعلمات الإحصائية المقارنة لنوع الكثبان الهلالية في البحار الرملية المختلفة.

الموقع	المتوسط	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	التفرطح
بحيرة الحمار (العراق)[1]	2.6	0.93	-0.19	1.04
الزبير (العراق)[2]	1.95	0.93	0.25	0.92
كثبان بيجي (العراق)[3]	1.85	0.82	0.27	1.39
المسيب (العراق)[3]	3.08	0.99	0.02	0.9
النجف (العراق)[3]	2.04	0.52	0.32	0.94
السماوة (العراق)[4]	2.05	0.73	0.04	1.11
الناصرية (العراق)[4]	2.42	0.35	0.04	1.32
نفود رمحات (السعودية)[5]	1.88	0.57	0.32	1.53
البحر الأحمر (السعودية)[5]	2.6	0.46	0.04	0.99
بحر الرمال، الجافورة (السعودية)[5]	2.02	0.95	0.35	1.12
قطر	1.93	0.48	0.09	0.72
شمال شرق الكويت	1.67	0.65	0.04	1.26
شمال غرب الكويت	1.28	0.72	0.23	1.1
المتوسط	2.09	0.7	0.15	1.13

(Skocek و SaadAllah[1] 1972 ;. Al–Dousari وآخرون[b] 2008 ; Dougrameji[3] 1984 ; Skocek و SaadAllah[4] 1972 ; Abdullatif و Benaafi 2015)

*The table above shows Comparative statistical parameters of barchan type in different sand seas.



شكل 3. الرسم البياني توزيع حجم الجسيمات من اتجاه الريح في العراق إلى اتجاه الريح في الكويت.

*The figure above shows Graph of particle size distribution from the wind direction in Iraq to the wind direction in Kuwait.

المعادن والعناصر الرئيسية والتقليدية

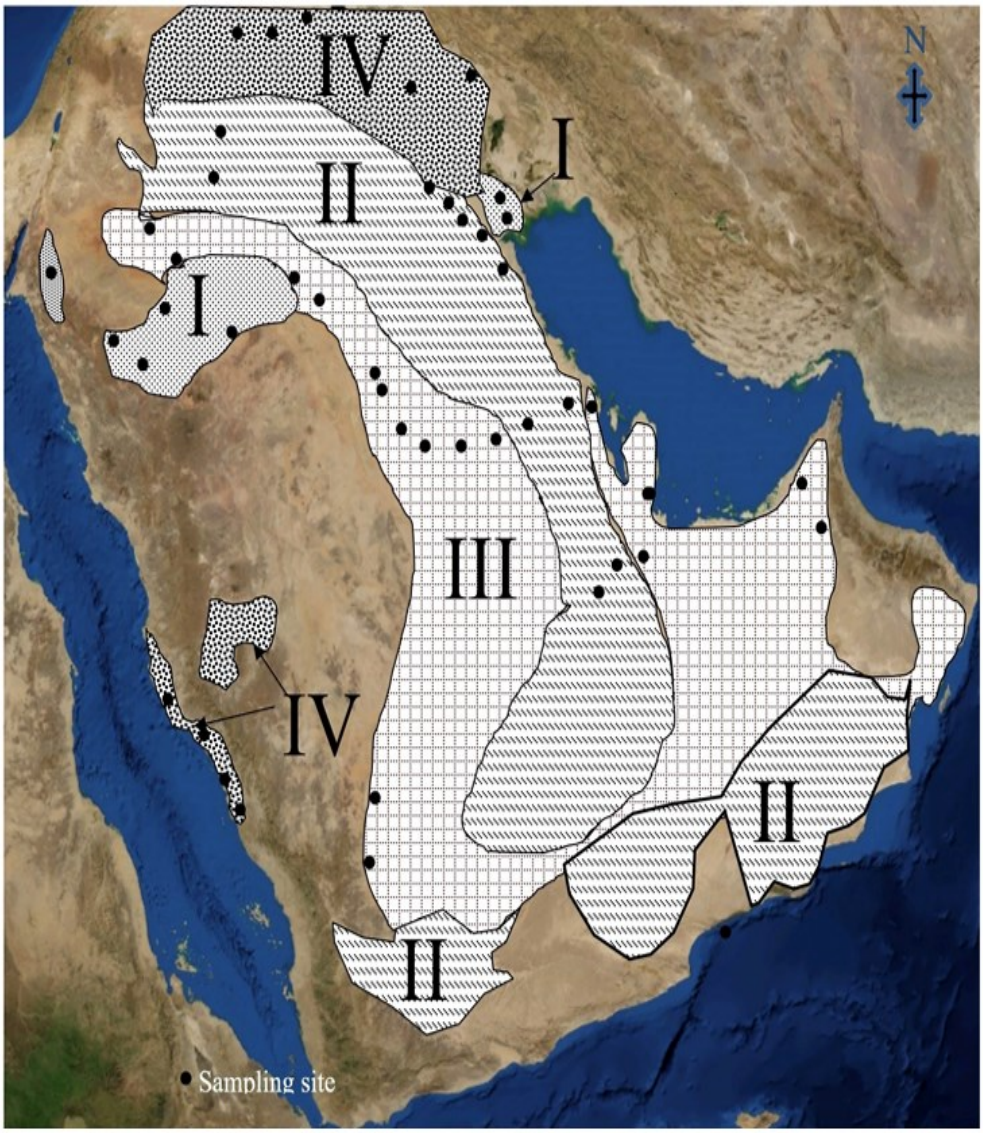
تظهر النسب المعدنية شبه الكمية انخفاضاً في نسب الكوارتز في العراق وسهل الفيضانات في بلاد الرافدين بالمقارنة مع مثيلاتها في الكويت والسعودية وتشابها مع النسب المتواجدة في كثبان الامارات وقطر. يوجد أعلى درجة نقاء من الكوارتز في مجالين رئيسين؛ شمال غرب شبه الجزيرة العربية والكويت (الجدول 2) حيث يتميز كل قطاع من القطاعات بمميزات معدنية وفيزيائية خاصة (الشكل 4).

جدول 2. متوسط النسب المعدنية لكثبان هلالية في الشرق الأوسط.

الموقع	القطاع	الكوارتز	الفلدسبار	الكالسايت	الدولومايت	الجبس	أخرى
شمال العراق	IV	75	12	10	2	0.5	0.5
شرق العراق	IV	68.9	10	15.1	3.5	1.3	1.2
غرب العراق	IV	64.4	22.5	5	1	0.5	6.6
جنوب غرب العراق	IV	49.6	11.1	19.2	2.3	4.6	13.3
شمال غرب الكويت	II	92.9	2.8	2.9	0.6	0.4	0.4
شرق السعودية	II	87.7	5.8	6	0.5	0	0
جنوب شرق السعودية	III	91.4	3.8	4.8	0	0	0
شمال غرب السعودية	I	100	0	0	0	0	0
جنوب غرب السعودية	III	78.5	2.6	18.1	1.8	0	0
قطر	III	75	13	9	2	0.5	0.5
الإمارات (العين)	III	68.1	0.58	29.9	1.3	0	0.1
المتوسط		77.4	7.7	10.9	1.4	0.7	2

(Skocek و SaadAllah[1] 1972 ; Dougrameji[2] 1984 ; Abdullatif و Benaafi[3] 2015)

*The table above shows the Average mineral levels of crescent dunes in the Middle East.



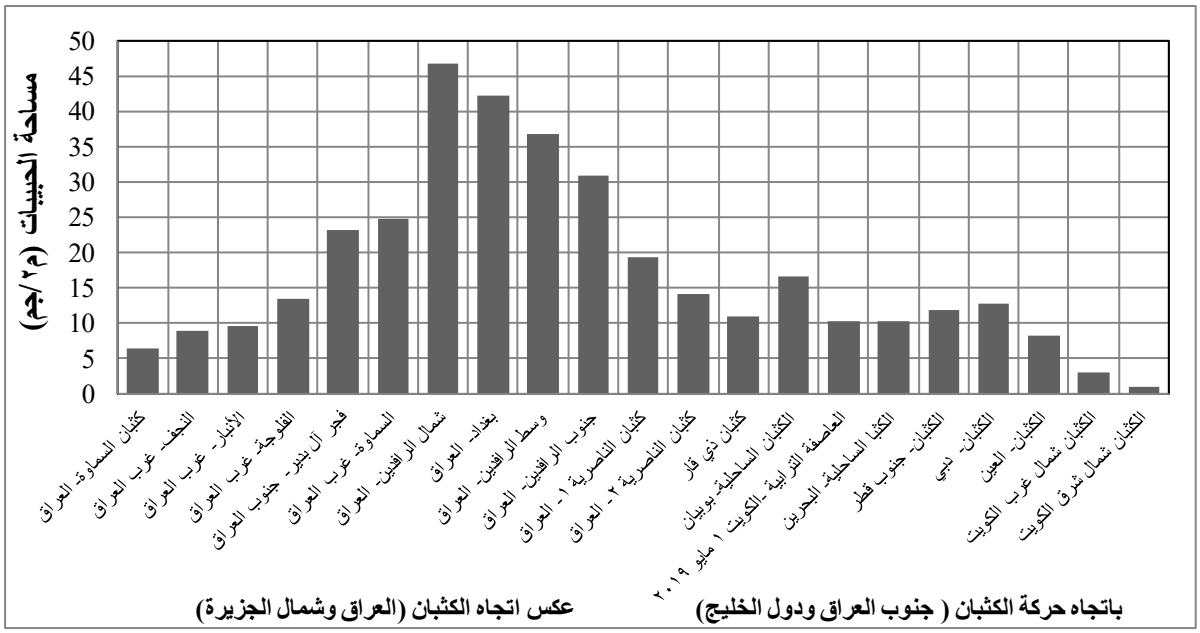
I : نسبة السيلكا أكثر من 98% والكربونات والفلدسبار اقل من 1% وذات انحراف معياري جيد جدا والأقل في مساحة الحبيبات أقل من 1 جم/م^2	
II : نسبة السيلكا بين 90-98% والكربونات والفلدسبار بين 2-5% وذات انحراف معياري متوسط إلى جيد ومساحة حبيبات تتفاوت بين 2-5 جم/م^2	
III : نسبة السيلكا بين 76-89% والكربونات والفلدسبار بين 20-30% وذات انحراف معياري متوسط ومساحة حبيبات تتفاوت بين 5-12 جم/م^2	
IV : نسبة السيلكا أقل من 76% والكربونات والفلدسبار بين 6-19% وذات انحراف معياري سيء ومساحة حبيبات تتفاوت بين 10-50 جم/م^2	

شكل 4. شكل موجز عن القطاعات الأربعة الرئيسية للكثبان الرملية المصنفة حسب الخصائص الفيزيائية والكيميائية.

*The figure above shows the four main areas of sand dunes classified according to physical and chemical properties.

المساحة السطحية لحبيبات الكثبان الرملية

تراوحت مساحة سطح الحبيبات لرمال الكثبان الرملية بين 1متر مربع/جرام و47 متر مربع/جرام. كلما اقتربت العينات من سهل فيضان بلاد ما بين النهرين، زادت مساحة السطحية (الشكل 5). يمكن أن يعزى ذلك إلى المحتوى العالي من معادن الطين والكربونات والمعادن الثقيلة مقارنة بالعينات في شبه الجزيرة العربية والكويت التي تمتاز بنسب أقل.



شكل 5. التفاوت في المساحة السطحية لحبيبات رمال للكثبان ورواسب الرياح من المصدر اتجاه حركة الكثبان إلى منصرفها تظهر مساحة السطح العالية في الكثبان داخل سهل الرافدين بالمقارنة بما قبلها وبعدها.

*The figure above shows the variation in the BET–surface area of dune sand particles and wind deposits from upward to downward, showing the high surface area of the dunes within the Mesopotamian Flood Plain compared to before and after them.

الاستنتاج

إقليميا، هناك 4 مناطق لممرات الكثبان المتحركة مع قسمت حسب خصائصها الكيميائية والفيزيائية (الشكل 4)، وهي:

- المنطقة الأولى: الكثبان الرملية في شمال غرب شبه الجزيرة العربية وشمال شرق الكويت مع هيمنة حجم الرمال الخشنة، مفروزة جيدًا، مع الكربونات والفلدسبار <1٪، ومساحة سطح الحبيبات منخفضة (<1 جم / م 2) وتحتوي على نسبة نقاوة عالية من السيليكا (أعلى من 98٪) مما يجعلها أعلى رمال كثبان نقاوة في الشرق الأوسط. هذه هي أكثر الكثبان الرملية لتصنيع الزجاج والخلايا الكهروضوئية.
- المنطقة الثانية: الكثبان الرملية في شرق شبه الجزيرة العربية التي تمر عبر الكويت باتجاه صحراء الربع الخالي، مع هيمنة حجم الرمال المتوسطة، مفروزة بشكل معتدل، مع سيليكا نقية معتدلة (90–98٪)، تحتوي على 2–5٪ من الكربونات والفلدسبار ومساحة حبيبات تتفاوت بين 2–5 جم / م ^{2}.
- المنطقة الثالثة: الكثبان الرملية في شمال ووسط شبه الجزيرة العربية المارة على حدود صحراء الربع الخالي بما في ذلك قطر والإمارات مع هيمنة حجم الرمال المتوسطة، مفروزة بشكل معتدل، مع السيليكا النقية باعتدال (76–89٪)، تحتوي على أعلى النسب من الكربونات والفلدسبار (20–30٪) ومساحة حبيبات تتفاوت بين 12–5 جم / م ^{2}.
- المنطقة الرابعة: الكثبان الرملية في العراق وساحل البحر الأحمر هي أفضل الكسور ذات الحجم، مفروزة بشكل رديء، مع السيليكا النقية باعتدال (90–98 ٪)، وتحتوي على 6–19٪ من الكربونات والفلدسبار وأعلى ومساحة حبيبات تتفاوت بين 10–50 جم/م^2.

في هذه الدراسة استنتجنا إن وجود كثبان هلالية عرض أقل من 40 م في أي منطقة ذات حركة سنوية سريعة 40–60 م وقرون ضيقة يشير إلى سرعة الرياح العالية وإمكانية أكبر لإنشاء مزارع الرياح لمحطات الطاقة المستقبلية. كثبان القطاع الأول (الشكل 4) هي رمال الكثبان الفضل من بين جميع القطاعات لتصنيع الزجاج والخلايا الكهروضوئية في المستقبل. أيضًا، تحتوي الكثبان في المنطقة الثالثة والرابعة على المزيد من الفلسبار والكربونات والمعادن الثقيلة والطينية مما يجعلها جيدة للزراعة ويمكن تثبيتها بواسطة مواد صديقة للبيئة أو نباتات محلية. هذا القطاع تحديدا يسهل تثبيت الكثبان الرملية بوسائل التثبيت الميكانيكية (التكسية بالطين أو المخلفات الزراعية كجريد النخل) والبيولوجية (التثبيت الزراعي) بالمقارنة مع القطاعات الأخرى. تراوحت معدلات هجرة الكثبان الرملية في منطقة الدراسة من 4 م سنة −1 إلى 60 م سنة −1 بمتوسط قيمة 24 متر في السنة، وتبين أن المعدل يعتمد بشدة على حجم الكثبان الرملية، أي الكثبان الرملية الصغيرة. كانت معدلات الهجرة أسرع. على الرغم من أن هذه العلاقة تم الإبلاغ عنها في دراسات

أخرى تتعلق بهجرات الكثبان الرملية في جزء مختلف من العالم، فإن التحليل الحالي يؤكد صحة هذه العلاقة للكثبان الرملية الكبيرة (> 40 م عرض). هذا يشير إلى وجود عوامل وليس حجم الكثبان الرملية التي تتحكم في هجرة الكثبان الرملية.

References

Aba, A., Al-Dousari, A. M., & Ismaeel, A. (2018). Atmospheric deposition fluxes of 137Cs associated with dust fallout in the northeastern Arabian Gulf. *Journal of environmental radioactivity*, 192: 565-572.

Aba, A., Al-Dousari, A. M., & Ismaeel, A. (2016). Depositional characteristics of 7 Be and 210 Pb in kuwaiti dust. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307(1), 15-23.

Ahmed, M., Al-Dousari, N., & Al-Dousari, A. (2016). The role of dominant perennial native plant species in controlling the mobile sand encroachment and fallen dust problem in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, *9*(2), 134.

Ahmed, M., & Al-Dousari, A. M. (2013). Geomorphological characteristics of the Um-Rimam depression in northern Kuwait. *Kuwait Journal of Science*, 40(1): 165-178.

Ahmed, M. M., Al-Dousari, A. M., & Baby, S. (2009). Chemical and morphological characteristics of phytogenic mounds (Nabkhas) in Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 27(3), 114-126.

Ahmed, M., & Al-Dousari, A. (2015). Rehabilitation of artificially degraded playa using palm mat water conservation techniques. *Journal of Agricultural Science and Technology A*, *5*(2), 90-8.

Al-Ajmi, D., Misak, R., Khalaf, F. I., Al-Sudairawi, M., & Al-Dousari, A. M. (1994). Damage assessment of the desert and coastal environment of Kuwait by remote sensing (VT001C). Report no. KISR 4405. *Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait*.

Al-Awadhi, J. M., & Al-Dousari, A. M. (2013). Morphological characteristics and development of coastal nabkhas, north-east Kuwait. *International Journal of Earth Sciences*, 102(3), 949-958.

Al-Awadhi, J. M., Al-Dousari, A., & Al-Enezi, A. (2000). Barchan dunes in northern Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, *18*(1), 32-40.

Al-Dabi, H., Koch, M, Al-Sarawi, M & El-Baz, F. (1997). Evolution of sand dune patterns in space and time in north-western Kuwait using Landsat images. *Journal of Arid Environments*, 36, 15-24.

Al-Dousari, A. M. (1998). *Textural characteristics and mineralogy of free dunes of the Al-Huwamiliyah–Al-Atraf zone in Kuwait*. Doctoral dissertation, MS thesis, Kuwait University, Kuwait.

Al-Dousari, A. M., Misak, R., & Shahid, S. (2000). Soil compaction and sealing in Al-Salmi area, western Kuwait. *Land Degradation & Development*, *11*(5), 401-418.

Al-Dousari, A. M., & Pye, K. (2005). Mapping and monitoring of dunes in northwestern Kuwait. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, *32*(2), 119.

Al-Dousari, A. M., Al-Enezi, A. K., & Al-Awadhi, J. (2008a). Textural variations within different representative types of dune sediments in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 1(1), 17-31.

Al-Dousari, A. M., Ahmed, M. O. D. I., Al-Senafy, M., & Al-Mutairi, M. (2008b). Characteristics of nabkhas in relation to dominant perennial plant species in Kuwait. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 35(1A), 129.

Al-Dousari, A. M., Al-Elaj, M., Al-Enezi, E., & Al-Shareeda, A. (2009). Origin and characteristics of yardangs in the Um Al-Rimam depressions (N Kuwait). *Geomorphology*, 104(3-4), 93-104.

Al-Dousari, A., Al-Nassar, W., Al-Hemoud, A., Alsaleh, A., Ramadan, A., Al-Dousari, N., & Ahmed, M. (2019a). Solar and wind energy: Challenges and solutions in desert regions. *Energy*, 176, 184-194.

Al-Dousari, A. M., Ahmed, M., Al-Dousari, N., & Al-Awadhi, S. (2019b). Environmental and economic importance of native plants and green belts in controlling mobile sand and dust hazards. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(5), 2415-2426.

Al-Dousari, A., Al Saleh, A., Ahmed, M., Misak, R., Al Dousari, N., Al-Shatti, F., Elrawi, M., & William T. (2019c). Off-Road vehicle tracks and grazing points in relation to soil compaction and land degradation. *Earth system and environment*, 3(3), 471-482.

Al-Dousari, A. M. (2005). Causes and indicators of land degradation in northwestern part of Kuwait. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, 23(2), 69-79.

Al-Dousari, A. M., Ibrahim, M. I., Al-Dousari, N., Ahmed, M., & Al-Awadhi, S. (2018). Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait. *Aerobiologia*, 34(3), 325-336.

Al-Ghadban, Sayeed, T., Al-Dousari, A. M. Al-Shammari, H., & Al-Mutairi, M. (1999). Preliminary assessment of the impact of draining of Iraqi Marches on Kuwait's northern marine environment. Part I. Physical manipulation. *Water Science and Technology*, 40(7): 75-87.

Alhazza, A., Ahmad, S., & Al-Dousari A. M. (2019). Characterization of sand particles in arid areas In *Exploring the Nexus of Geoecology, Geography, Geoarcheology and Geotourism: Advances and Applications for Sustainable Development in Environmental Sciences and Agroforestry Research*. Springer, Cham.pp.335.

Al-Dousari, A., Pye, K., Al-Hazza, A., Al-Shatti, F., Ahmed, M., Al-Dousari, N., & Rajab, M. (2020a). Nanosize inclusions as a fingerprint for Aeolian sediments. *Journal of Nanoparticle Research*, 22(5), 94.

Al-Dousari A., Al-Nassar W., & Ahmed, M. (2020b). Photovoltaic and wind energy: Challenges and solutions in desert regions. The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020), E3S Web of Conferences 166, 04003.

Al-Dousari, A., Ramadan, A., Al-Qattan, A., Al-Ateeqi, S., Dashti, H., Ahmed, M., Al-Dousari, N., Al-Hashash, N., & Othman, A. (2020c). Cost and effect of native vegetation change on aeolian sand, dust, microclimate and sustainable energy in Kuwait, Journal of Taibah University for Science, 14(1), 628-639.

Al-Dousari, A., Omar, A., Al-Hemoud, A., Aba, A., Alrashedi, M., Alrawi, M., & William, T. (2022). A success story in controlling sand and dust storms hotspots in the middle east. *Atmosphere,* 13(8) .

Al-Dousari, A. M. (2009). Recent studies on dust fallout within preserved and open areas in Kuwait. *Bhat NR Al-Nasser A, Omar S (eds) Desertification in arid lands. Institute for Scientific Research, Kuwait*, 137-147. KISR. Kuwait.

Al-Enezi, E., Al-Dousari, A, & Al-Shammeri, F. (2014). Modeling Adsorption of inorganic phosphorous on dust fallout in Kuwait. J Eng Res. 2(2):1-14.

Al-Ghadban, A. N., Saeed, T., Al-Refaiy, I., Al-Shemmari, H., Al-Mutairi, M., & Al-Dousari, A. M. (2000). The potential impact of draining the Iraqi marshes on the sediment budget and associated pollutants in the Northern Gulf. *Final Report, Kuwait Foundation for the Advancement of Sciences KISR*, *5782*.

Al-Kaabi, M. H. R. (2008). The desertification problem in Al-Muthana Governorate and some environmental effects. M Sc, (In Arabic) College of Education, University of Basrah, 164-168.

Al-Shemmari, H., Al-Dousari., A. M., Talebi., L., & A. N. Al-Ghadban, A. (2013). Mineralogical Characteristics of Surface Sediments along Sulaibikhat Bay, Kuwait. Kuwait Journal of Science and Engineering.40(2), 159-176.

Awadh, S., M. (2012). Geochemistry and mineralogical composition of the airborne particles of sand dunes and dust storms settled in Iraq and their environmental impacts. Environ Earth Sci., 66:2247–2256.

Bamousa, A. O., Memesh, A., & Dini, S. (2014). Morphostructural evolution of Ath Thumamah depression, north Riyadh, Saudi Arabia. *Carbonates Evaporites*, *29*, 65-72.

Benaafi, M., & Abdullatif, O. (2015). Sedimentological, mineralogical, and geochemical characterization of sand dunes in Saudi Arabia. *Arab J Geosci* **8,** 11073–11092.

Doronzo, D. M., Al-Dousari, A. M., Folch, A., & Waldhauserova, P. D. (2016). Preface to the Dust Topical Collection. Arab J Geosci, 9:468.

Doronzo, D.M., & Al-Dousari, A. (2019). Preface to Dust Events in the Environment. Sustainability ,11(3), 628.

Dougrameji, J. (1984). The physical and mineralogical characteristics of some sand dunes in Iraq. Presented in the first Arabian Conference for dunes stabilization and desertification control, 14-22 October 1984, University of Baghdad: Iraq (in Arabic).

Folk, R. L., & Ward, W. T. (1957). Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27**,** 3-26.

Halos, S.H., Al-Dousari, A., Anwer, G.R. et al. (2021). Impact of PM2.5 concentration, weather and population on COVID-19 morbidity and mortality in Baghdad and Kuwait cities. Model. Earth Syst. Environ.

Khan, N. Y., Saeed, T., Al-Ghadban, A. N., Beg, M. U., Jacob, P. G., Al-Dousari, A. M., Al-Shemmari, H, Al-Mutari, M, Al-Obaid, T., & Al-Matrouk, K. (1999). Assessment of sediment quality in Kuwait's territorial waters. Phase 1: Kuwait Bay. *Kuwait Institute for Scientific Research*.

Khalaf, F. I., Misak, R., & Al-Dousari, A. (1995). Sedimentological and morphological characteristics of some nabkha deposits in the northern coastal plain of Kuwait, Arabia. *Journal of Arid Environments*, *29*(3), 267-292.

Lancaster, N., Singhvi, A. K., Teller, J. T., & Pandey, V. (2004). Age and paleowind regime of linear dunes in the northern Rub al Khali. Geological Society of America Abstracts with Programs. 36:5 p. 122

Misak, R., Al-Dousari, A., & Al-Hagraf, S. (2007). Combating land degradation using eco-friendly materials. In *International conference on desertification control in the arid region, May* (pp. 12-15).

Neelamani, S., & Al-Dousari, A. M. (2016). A study on the annual fallout of the dust and the associated elements into the Kuwait Bay. *Arabian Journal of Geosciences*, KISR: 12706. 9(3).

Pye, K. & Tsoar, H. (1990). Aeolian sand and sand dunes. Unwin Hyman, London.

Skocek. V., & Saadallah A. A. (1972). Grain-size distribution, carbonate content and heavy minerals in eolian sands, southern desert, Iraq. Sedimentary Geology. 8:29-46.

Subramaniam, N., Al-Sudairawi, M., Al-Dousari, A., & Al-Dousari, N. 2015. Probability distribution and extreme value analysis of total suspended particulate matter in Kuwait. *Arabian Journal of Geosciences*, 16, 12650.

Tang, H. & Al-Dousari, A. M. (2006). Air pollution background study in bubiyan island of kuwait. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 1(3), 326-341.

Wolfe, A.S. (1997). Impact of increased aridity on sand dune activity in the Canadian Prairies. Journal of Arid Environments 36, 421-432.