

النمذجة المكانية للتعرية الريحية للتربة في محافظة تعز باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

ابراهيم عبدالله درويش

أستاذ مساعد، قسم الجغرافية، كلية الآداب، جامعة آب، اليمن.

المستخلص

تتباين التعرية الريحية للتربة من مكان إلى آخر، بسبب تباين المتغيرات المؤثرة فيها، وبذلك يهدف البحث إلى تكميم متغيرات التعرية الريحية للتربة في محافظة تعز، لكشف تأثير كل منها في التعرية الريحية، وأعبه كشف تأثير كل هذه المتغيرات المكانية مجتمعة في التعرية الريحية، وذلك من خلال بناء نموذج تم بواسطته دمج جميع هذه المتغيرات حسب أوزانها. وتمثلت منهجية البحث بجمع البيانات الخاصة بكل متغير مكاني له علاقة بالتعرية الريحية للتربة، ومعالجة هذه البيانات، واشتقاق الطبقات المعلوماتية لكل متغير مكاني باستخدام عدد من الخوارزميات الرياضية في الحاسبة الخلوية لبرنامج Arc Map 10.5، تمهيداً لدمج جميع هذه المتغيرات المكانية مجتمعة بواسطة نموذج يبين مدى ملاءمة التربة للتعرية الريحية في المحافظة طبقاً لتأثير جميع هذه المتغيرات المكانية. وتوصلت نتائج البحث إلى أن مساحة المنطقة التي اتصفت بملاءمة عالية للتعرية الريحية 4129.2 كم²، بنسبة 41.22%، ومساحة المنطقة التي اتصفت بملاءمة معتدلة للتعرية الريحية 2267.4 كم²، بنسبة 22.63%، ومساحة المنطقة التي اتصفت بملاءمة قليلة للتعرية الريحية 2267.4 كم²، بنسبة 22.63%، ومساحة المنطقة التي اتصفت بملاءمة شديدة للتعرية الريحية 461.9 كم²، بنسبة 4.61%، ومساحة المنطقة التي اتصفت بضعف ملاءمتها للتعرية الريحية 275.2 كم²، بنسبة 2.74% من إجمالي مساحة المحافظة.

الكلمات المفتاحية: التعرية الريحية، النمذجة المكانية، حساسية التربة للتعرية، نظم المعلومات الجغرافية، محافظة تعز.

SPATIAL MODELING OF WIND SOIL EROSION IN TAIZ GOVERNORATE USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Ibrahim Abdullah Darwish

Assist. Prof., Department of Geography, Arts College, Ibb University, Yamen.

ABSTRACT

The variation Wind erosion of soil from place to another, cause the variation of variables affecting its activity, and the research aims to quantify the variables of wind erosion soil in governorate of Taiz, to reveal effect of each of them on wind erosion in governorate, was followed by revealing effect of all these spatial variables combined on wind erosion. , By building model by which all these variables were Merge according their weights. The research methodology was to collect data on each spatial variable related to wind erosion of soil, And processing this data, and deriving the informational layers for each spatial variable using a number of mathematical algorithms in the raster calculator for Arc Map 10.5, Highlighting effect of each spatial variable separately on wind erosion activity in governorate, In preparation for integrating all these spatial variables together by means of a model that shows suitability of soil for wind erosion in governorate according to the impact of all these spatial variables. The results of research found that area of district that was Described a high suitability for wind erosion is 4129.2 km², or 41.22%, and the area of district that was Described moderate suitability for wind erosion is 2267.4 km², or 22.63%, and area

Corresponding author.

Email: ibradr@hotmail.com

<https://doi.org/10.36531/ijds/20100206>

Received 7 October 2020; Accepted 3 Desember 2020

of district that was Described low suitability for wind erosion 2267.4 km², or 22.63%, and the area of district that was Described by strong suitability for wind erosion is 461.9 km², or 4.61%, and the area of district that was Described poorly suitability for wind erosion 275.2 km², or 2.74% of total area governorate.

Keywords: Wind Erosion, spatial modeling, sensitivity of soil erosion, geographic information systems, taiz governorate.

المقدمة

والتبخّر، والرطوبة النسبية Laura وآخرون (2009). وتكمن أهمية تحديد المناطق التي تعاني من التعرية الريحية بمحافظة تعز في إيجاد استراتيجية فعالة للسيطرة على مشكلات التعرية فيها.

تفتقر منطقة البحث لأي دراسات سابقة للتعرية الريحية، وسيخرج البحث بشكل مختصر لأهم دراسات التعرية، حيث رسم Chavez وآخرون (2002) خرائط مناطق التعرية الريحية باستخدام الصور الجوية والمرئيات الفضائية. وتطرق Shi و Yan (2004) للتعرية الريحية في الصين، وكيفية التعامل والتحكم فيها. ودرس Reynold وآخرون (2007) انبعاث الغبار في صحراء موهافي، وأكد أن الأسطح الغنية بالرواسب الأكثر تأثر بالتعرية بفعل تغير الرياح، وعمق المياه الجوفية، والأمطار، والتبخّر. وحدد Laura وآخرون (2009) عتبة سرعة الرياح كمؤشر لحساسية التربة للتعرية الريحية تحت ظروف مناخية متغيرة.

ونموذج Mezosi وآخرون (2012) حساسية التعرية الريحية للتربة بالمجر باستخدام عدة متغيرات، وتم تقدير أثر كل متغير بشكل منفصل عن طريق خرائط حساسية كل متغير، ودمجت لإنتاج خريطة حساسية التربة للتعرية الريحية. وحدد Taramelli وآخرون (2012) مصادر الغبار مكانياً وزمانياً شمال الصين باستخدام الاستشعار عن بعد، وتمثلت المنهجية بتحديد مدى قدرة مرئيات لاندسات على التمييز بين أنواع الترب من أجل فهم سلوك انعكاس التربة في فترات زمنية مختلفة. وبنى Raissouni وآخرون (2012) نموذج لرسم خرائط حساسية التربة للتعرية الريحية شمال المغرب باستخدام نظم المعلومات

التربة الطبقة العليا من قشرة الأرض تتكون من حبيبات معدنية ومواد عضوية وماء وهواء. وتُعرف حساسية التربة للتعرية الريحية بمدى مقاومة حبيباتها لهبوب الرياح. ويتحكم بحساسية التربة للتعرية الريحية عدة متغيرات مكانية كحجم وتوفر الرسوبيات وتماسكها، وسرعة الرياح، وحرارة، ورطوبة التربة، والتبخّر، وكثافة الغطاء النباتي. وتعد التعرية الريحية ظاهرة جيومورفولوجية طبيعية تعني حت حبيبات التربة ونقلها وترسيبها بالرياح، ومشكلة بيئية بالمناطق الجافة وشبه الجافة، حيث تتطاير المواد العضوية والمعدنية من التربة في الغلاف الجوي. وتعد التعرية الريحية عملية مهمة لإزالة وإعادة توزيع مكونات التربة السطحية، حيث يحتوي الغبار على كمية كبيرة من الكربون العضوي والعناصر المغذية Behbahani (2015). وتعد التعرية الريحية بثلاث مراحل انبعاث الغبار من التربة، وحركته في الجو، وترسيبه، وتخضع لعوامل معقدة تبدأ بخصائص التربة، وتنتهي بالظروف الجوية المتشابهة.

تظهر التعرية الريحية في محافظة تعز بمناطق انتشار الغبار في الغرب والوسط، مما يعني تدهور التربة على المدى الطويل، بسبب نقل وإعادة توزيع المواد العضوية والمعدنية على مسافات طويلة قبل ترسيبها خاصة بموسم الجفاف حيث تتصافر عدة متغيرات بيئية. وتعد التعرية الريحية للتربة بهذه المناطق من أكثر عمليات تدهور التربة. وتبدأ عندما تصل سرعة الرياح إلى قيمة تبدأ بحركة جزيئات التربة، وتتأثر بظروف سطح التربة، كالغطاء النباتي، وخشونة السطح، والأمطار، والحرارة،

وتضاريس الأرض، وحساسية الغطاء الأرضي. ودمج Heidarian وآخرون (2018) بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لتحديد مصادر العواصف الترابية في خوزستان (إيران). وتطرق Haghghi وآخرون (2018) لتأثير الجفاف كمصدر للغبار، واستخدم مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)، ومؤشر هطول الأمطار لتقييم الجفاف. وتناول Katra (2020) تأثير الأنشطة الزراعية في التعرية الريحية للتربة في المناطق شبة الجافة.

مشكلة البحث:

أدى تدهور الموارد الأرضية لاسيما تدهور الموارد المائية والنبات والتربة في بعض مناطق المحافظة إلى زيادة تحسس التربة للتعرية الريحية. وأصبحت التعرية الريحية للتربة في هذه المناطق مشكلة بيئية أدت إلى أشكال مختلفة من مظاهر تدهور التربة، بسبب استفاد وتجريف ونقل العناصر المغذية للنبات من مواد عضوية ومعدنية من التربة، مما أدى إلى تدهور الإنتاج الزراعي، ورفع تكاليف صيانة المزارع، واتساع الفجوة الغذائية، وتزايد المخاطر الصحية.

أهمية البحث:

تفتقر محافظة تعز لدراسات سابقة للتعرية الريحية، وتحديد المناطق التي تواجه مخاطرها، والمناطق التي تعاني من تدهور الموارد الطبيعية كالتربة والمياه والنبات، لفهم مسار ظاهرة التصحر المرتبطة بعلاقات معقدة بين متغيرات البيئة وتعرية الرياح، وتكمن الأهمية من استخدام بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في كشف عدة حقائق مكانية تؤثر في التعرية الريحية كتباين قوام وسمك وتقسيم ورطوبة التربة، وتدهور مكوناتها بفعل الضغط البشري، وتفكك حبيباتها بممارسة الحراثة، وتباين الأمطار، ودرجات الحرارة، والتبخر، وجفاف التربة

الجغرافية. وكشف Cho وآخرون (2013) انتشار الغبار باستخدام مرئيات موديس.

أختبر Ciren و Kondragunta (2014) فاعلية خوارزمية مؤشر الغبار من مرئيات موديس. وقارن Shahrivand و Akhoondzadeh (2014) بين الطرق التجريبية والذكية للكشف عن الغبار باستخدام بيانات الأقمار الصناعية. واستخدم Samadi وآخرون (2014) مؤشر (GDDI) لاكتشاف العواصف الترابية من بيانات الاستشعار عن بعد. ورصد Prachi و Pravin (2014) حدثين للعواصف الترابية بواسطة مرئيات موديس متعددة الأطياف. وقيم Behbahani (2015) مخاطر التعرية الريحية وانبعثات الغبار في الدنمارك بنمذجة المحاكاة. وقاس Yue وآخرون (2015) التعرية الريحية بالمسح الميداني والاستشعار عن بعد في صحراء الصين، واستخدم Rezaei وآخرون (2016) الاستشعار عن بعد لكشف أثر تغير استخدام الأرض في التعرية الريحية جنوب إيران.

راقب Webb وآخرون (2017) التعرية الريحية في المراعي الأمريكية لغرض تحسين التنبؤ وإدارة التعرية الريحية. وحدد Taghavi وآخرون (2017) أحداث الغبار جنوب غرب إيران باستخدام المرئيات الفضائية. كما حدد Jones و Sinclair (2017) مصادر انبعثات الغبار وتكرار العواصف الغبارية جنوب غرب آسيا وجنوب غرب الولايات المتحدة. وحدد Holdt وآخرون (2017) ديناميكيات انبعثات الغبار بفعل التأثير البشري على النظم الهيدرولوجية. وقدر Guo وآخرون (2017) التعرية الريحية للتربة في منطقة شينجيانغ. وصمم Borrelli وآخرون (2017) نموذج للتنبؤ بفقدان التربة بالتعرية الريحية في كاليفورنيا.

رسم Saadoud وآخرون (2018) خرائط مخاطر التعرية الريحية للتربة بمنطقة الأعواط (الجزائر) باستخدام متغيرات التربة، والغطاء النباتي، والرياح، وجفاف التربة،

ساحلها البالغ 168.8 كم على واحد من أهم الممرات المائية العالمية متمثل بمضيق باب المندب، وتبلغ مساحة المحافظة 10019.3 كم²، بنسبة 2.2% من إجمالي مساحة اليمن، ويبلغ عدد سكانها 2.885.000 نسمة، بنسبة 12.2% من إجمالي سكان اليمن.

ثانياً: جمع البيانات:

أ. خريطة التربة من وزارة الزراعة والري، وتم الاستفادة منها في اشتقاق طبقة قوام التربة.

ب. خريطة سمك التربة والرواسب تم الحصول عليها من موقع وكالة ناسا (Earth data) (جدول 1).

ج. نظراً لنقص وتقطع وقدم البيانات الجوية المتاحة من المصادر الحكومية، إذ لا يوجد في محافظة تعز سوء محطة رصد مناخية واحدة تقع في مدينة تعز شمال المحافظة، وبما أن بيانات هذه المحطة لا تحقق هدف البحث، قام الباحث بجمع طبقات معلوماتية (Raster) لحرارة الجو والتربة السطحية، وكمية الامطار السنوية، وسرعة الرياح السطحية، ورطوبة الغلاف الجوي والتربة السطحية، والتبخر المباشر من سطح التربة (جدول 2) من موقع وكالة ناسا لعدة نماذج مناخية.

د. نموذج ارتفاع رقمي (DEM) تم الحصول عليه من موقع الماسح الجيولوجي الأمريكي.

هـ. مرئيات القمر الصناعي لاندسات (8) جدول (3) تم الحصول عليها من موقع الماسح الجيولوجي الأمريكي.

و. مرئيات (Modis Teraa) تم الحصول عليها على المستوى الشهري من موقع وكالة ناسا (جدول 4).

والنبات، وسرعة الرياح التي تؤدي إلى جفاف التربة، وتفكك حبيباتها، وتطايرها ونقلها من مكان إلى آخر، وبما يساعد على تطوير خطط إدارة ومواجهة مخاطر التعرية الريحية للتربة.

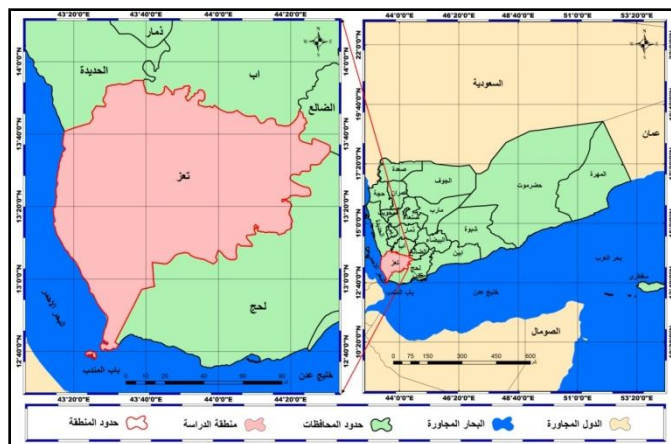
هدف البحث: يهدف البحث إلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية في نمذجة عدة متغيرات مكانية لتحديد مدى ملاءمة التربة للتعرية الريحية للتربة في محافظة تعز، ولتحقيق هذا الهدف اتبع البحث منهجية تدرجت كما يأتي:

المواد والطرائق

من الطرق الحديثة التي تستخدم في تحديد مدى حساسية التربة للتعرية الريحية، تقنيتي الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، والنماذج الجيومناخية التي يمكن من خلالها تحليل بيانات الأرصاد الجوية، وبدأ استخدام الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة التعرية الريحية نهاية التسعينات، حيث توفر بيانات الاستشعار عن بعد معلومات مهمة في بناء نماذج تقدير التعرية الريحية للتربة، ورسم خرائط مخاطرها. ولبناء نموذج يبين مدى ملاءمة التربة للتعرية الريحية، وما قد يترتب على ذلك من مخاطر على الإنسان والبيئة في محافظة تعز تدرجت منهجية البحث على النحو الآتي:

أولاً: موقع منطقة البحث:

تقع محافظة تعز خريطة (1) جنوب غرب اليمن بين دائرتي عرض 6: 12° - 9: 13° شمالاً، وخطي طول 23: 43° - 55: 44° شرقاً، يحدها من الشمال محافظة اب، ومن الشمال الغربي الحديدة، ومن الشمال الشرقي الضالع، ومن الجنوب لحج، ومن الغرب البحر الأحمر. وتتصف المحافظة بأهمية استراتيجية، بسبب اطلال



الخريطة 1. موقع منطقة البحث المصدر: الخريطة الرقمية للجمهورية اليمنية، الجهاز المركزي للإحصاء، صنعاء.

جدول 1. بيانات طبقة خريطة سمك التربة.

https://doi.org/10.3334/ORN LDAAC/1304	DOI
Soil	Project
23-02-2016	Published
4706downloads	Usage
10 publications cited this dataset	Citations
WGS 84	Projection
1	Bands
0.008	Resolution (X, Y)

المصدر: وكالة ناسا، بيانات رقمية لسطح الأرض، 2016، دقة مكانية 0.008°

جدول 2. بيانات المتغيرات المناخية.

العنصر	الوحدة	المصدر	الدقة الزمنية	الدقة المكانية	بداية المدة	نهاية المدة
حرارة الجو	C	Merra 2Model	شهرية	0.50°	2019 - 1	2019-12
حرارة التربة	C	Gldas Model	شهرية	0.25°	2019 - 1	2019-12
كمية الأمطار	MM	Tmm	شهرية	0.25°	2019 - 1	2019-12
سرعة الرياح	M S-1	Merra 2Model	شهرية	0.50°	2019 - 1	2019-12
رطوبة الجو	Kg kg-1	Merra 2Model	شهرية	0.50°	2019 - 1	2019-12
رطوبة التربة	Kg m-2	Gldas Model	شهرية	0.25°	2019 - 1	2019-12
التبخّر	W/ M-2	Gldas Model	ساعية	0.25°	2019 - 1	2019-12

المصدر: وكالة ناسا، بيانات رقمية لمناخ الأرض، 2019، دقة مكانية تتراوح بين 0.25 - 0.50°.

جدول 3. بيانات مرئيات القمر الصناعي لاندسات (8).

Row	path	ID	الدقة المكانية	المستشعر	المرئية
55	166	LC08_L1TP_166050_2019083_0_20190903_01_T1	30 م	OLI	لاندسات 8 بتاريخ 2019-8-30
55	166	LC08_L1TP_166051_2019083_0_20190903_01_T1	30 م	OLI	لاندسات 8 بتاريخ 2019-8-30
51	165	LC08_L1TP_165051_2019082_3_20190903_01_T1	30 م	OLI	لاندسات 8 بتاريخ 2019-8-23

المصدر: المساحة الجيولوجية الامريكية، مرئيات فضائية نوع OLI دقة تميز 30 متر، المكوك الفضائي Landsat 8، 30، 8، 2019.

جدول 4. بيانات مرئيات (Modis Teraa).

تاريخ المرئية	ID	القمر الصناعي
2019 / 1 / 24 - 17	MOD09A1.A2019017.h22v07.006.2019030120300.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 2 / 25 - 18	MOD09A1.A2019049.h22v07.006.2019059192220.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 3 / 21 - 14	MOD09A1.A2019073.h22v07.006.2019084022929.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 4 / 22 - 15	MOD09A1.A2019105.h22v07.006.2019114035227.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 5 / 24 - 17	MOD09A1.A2019137.h22v07.006.2019150090109.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 6 / 25 - 18	MOD09A1.A2019169.h22v07.006.2019178033939.hdf	(MODIS Teraa)
2019 - 7 / 19 - 12	MOD09A1.A2019193.h22v07.006.2019202032037.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 8 / 20 - 13	MOD09A1.A2019225.h22v07.006.2019235022605.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 9 / 21 - 14	MOD09A1.A2019257.h22v07.006.2019269211547.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 10 / 15 - 8	MOD09A1.A2019281.h22v07.006.2019290034407.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 11 / 16 - 9	MOD09A1.A2019313.h22v07.006.2019324002814.hdf	(MODIS Teraa)
2019 / 12 / 18 - 11	MOD09A1.A2019345.h22v07.006.2019354183304.hdf	(MODIS Teraa)

المصدر: وكالة ناسا، أرشيف الصور الفضائية، من نوع MODIS Teraa 1KM، 12.

صورة فضائية، دقة مكانية، 450 م، للمدة شهر 1-2019/12.

إرجاع الطبقات من نظام (GCS_WGS_1984) إلى

(WGS_1984_UTM_Zone_37N)، لاستخلاص

مساحة ونسبة مساحة كل فئة من فئات المتغيرات الجوية

ثالثاً: معالجة البيانات:

أ. معالجة طبقات نماذج البيانات المناخية والترية التي تم

الحصول عليها من موقع وكالة ناسا من خلال إعادة

والترية، وتحسين الدقة المكانية للطبقات الى 20 م، والاقتران على حدود المحافظة.
 ب. معالجة نموذج الارتفاع الرقمي بعمل (Mosaic) للوحات، وإعادة ارجاع الطبقة، وملا الفراغات باستخدام اداة (Fill)، والاقتصاص على حدود المحافظة.
 ج. معالجة مرئيات لاندسات (8) من خلال عمل (Mosaic) للمرئيات، والتصحيح الاشعاعي والهندسي، وإزالة الغيوم والاقتصاص على حدود المحافظة.
 د. معالجة مرئيات موديس بإعادة ارجاع الطبقات من (Unknown) إلى (WGS_1984_UTM_Zone_38N)، والاقتران على حدود المحافظة.
رابعاً: اشتقاق الطبقات المعلوماتية:
 أ. اعادة ارجاع خريطة التربة وترقيمها وحساب مساحة ونسبة كل منها باستخدام برنامج (Arc map 10.5).
 ب. تحويل طبقة (Raster) سمك التربة الى طبقة (points)، والتنبؤ بتوزيع سمك التربة باستخدام خوارزمية (Spline) ضمن ادوات التنبؤ ببرنامج (Arc map 10.5)، وتصنيف الطبقة الناتجة الى خمسة فئات، وحساب مساحة ونسبة مساحة كل فئة.
 ج. اشتقاق طبقة لتقشر التربة من مرئيات لاندسات (8) باستخدام مؤشر التقشر (Crust Index)، بالمعادلة:

$$CI = 1 - \frac{R-B}{R+B}$$
 (Mfondoum, et al, 2016).
 إذ (R) نطاق الأشعة الحمراء، (B) نطاق الأشعة الزرقاء. وتصنيف الطبقة الناتجة إلى خمسة فئات، وحساب مساحة ونسبة مساحة كل فئة.
 د. استخدام أداة (Slope) بالبرنامج السابق نفسه لاشتقاق طبقة المنحدرات بالدرجات، وتصنيف الطبقة الناتجة الى خمسة فئات، وحساب مساحة ونسبة مساحة كل فئة.
 هـ. اشتقاق طبقات معلوماتية لمتغيرات (الرياح وحرارة الجو والتربة ورطوبة الجو والتربة والأمطار والتبخر) من خلال تحويل طبقات (Raster) الى طبقات (points)، وبالتالي التنبؤ بتوزيع هذه المتغيرات باستخدام خوارزمية

$$NDVI = \frac{(NIR-RED)}{(NIR+RED)} \text{ (Justice et al., 1985).}$$

حيث (NIR) الأشعة تحت الحمراء القريبة، (RED) الأشعة الحمراء، وتتراوح قيمة هذا المؤشر بين (1-1)، وتشير القيم السالبة إلى المناطق العارية، وكلما اقتربت القيم من الواحد زادت كثافة الغطاء النباتي، وبالتالي تصنيف الطبقة المعلوماتية الناتجة عن هذا المؤشر إلى خمسة فئات، وحساب مساحة ونسبة مساحة كل فئة.

ح. اشتقاق طبقة انتشار الغبار من مرئيات (MODIS Teraa) باستخدام مؤشر الغبار (NDDI) لتحديد مناطق انتشار الغبار، وتم تطبيق معادلة هذا المؤشر بالحاسبة الخلوية لبرنامج (Arc map 10.5).

$$NDDI = \frac{B7 - B3}{B7 + B3} \text{ (Shahrisvand \& Akhoondzadeh, 2013).}$$

إذ (B3) الانعكاس من النطاق المرئي (الأزرق)، (B7) الانعكاس من نطاق الأشعة تحت الحمراء القصيرة، وبالتالي حساب المتوسط الحسابي من خلال جمع الطبقات المعلوماتية المشتقة على المستوى الشهري، والقسمة على عددها، وتصنيف الطبقة الناتجة إلى خمسة فئات، وحساب مساحة ونسبة مساحة كل فئة.

خامساً: بناء نموذج ملاءمة للتعرية الريحية:

أ. اعادة تصنيف طبقات (سمك وتقشر التربة وسرعة الرياح السطحية وحرارة الجو والتربة والأمطار والتبخر والغبار)، وإعطاء أوزان للفئات حيث أعطي وزن أكبر للفئات التي تمثل المناطق الأكثر ملاءمة للتعرية الريحية، ووزن أقل للفئات التي تمثل المناطق الأقل ملاءمة

عن بعد، وبالتالي هناك عدد قليل من الدراسات القائمة على أساس نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار، لنمذجة وتقدير التعرية الريحية للتربة على نطاق واسع Guo وآخرون (2017). وعليه قام البحث في البداية بتحليل متغيرات التعرية الريحية، وتحديد مدى تأثير كل متغير مكاني فيها، ومن ثم نمذجة هذه المتغيرات ودمجها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، لتحديد مدى ملائمة التربة للتعرية الريحية في محافظة تعز وفقاً لجميع هذه المتغيرات كما يأتي.

أولاً: متغيرات حساسية التربة للتعرية الريحية:

قوام التربة:

تشا التعرية الريحية للتربة في ظل توفر الرمال، وحببيات الطمي، والرياح السريعة، ويتكون الغبار من حببيات الرمال التي تتراوح أقطارها بين 2 ملم - 63 مايكرو متر، وذرات الطمي أقل من 63 مايكرو متر، وكلاهما يحتاج لرياح بسرعة 0.2 م/ث أو أكثر لتكون في حالة حركة لبداية تكوين الغبار، وهناك عوامل أخرى غير مباشرة تسهم في نشأة الغبار كدرجات الحرارة، والرطوبة، وتدهور الأراضي، والجفاف، وتغير المناخ (Al-Dossary، 2018). ويعد قوام التربة السطحية من محددات التعرية الريحية، فكما كان قوام التربة ناعم وحببياتها مفككة، كلما كانت أكثر عرضة للتعرية الريحية، وكما كان قوام التربة خشن حتى وإن كانت حببياتها مفككة، كلما كانت أقل عرضة للتعرية الريحية.

لحساسية التربة للتعرية الريحية جدول (5).
ب. إعطاء وزن لكل متغير مدخل في بناء النموذج، واستخدام الحاسبة الخلوية لبرنامج (Arc Map 10.5) في دمج هذه الطبقات المعلوماتية حسب أوزانها، لنحصل على طبقة واحدة تبين حساسية التربة للتعرية بالاعتماد على جميع المتغيرات المكانية المبينة (جدول 5).

النتائج والمناقشة

تعد التعرية الريحية للتربة أحد الأخطار الطبيعية على الأراضي الصالحة للزراعة، ويؤدي اختلاف قوام التربة، وعناصر المناخ، والغطاء النباتي لتباين التعرية الريحية، وتعمل هذه المتغيرات مع أخرى. كتوفر السطوح الجافة المغطاة بالأتربة الناعمة؛ وعدم استقرار الجو الذي يساعد على نشاط تيارات الهواء الصاعد والهابط، وانتشار الأتربة والرمل بسمك كبير في الغلاف الجوي Kazem (2012). وتعاني مناطق نشاط التعرية الريحية من تدهور مكونات النظام البيئي، وتراجع مدى الرؤية، بما يهدد عمليات النقل، ويخلق مشاكل صحية تنجم عن استنشاق الهواء الملوث.

وعليه هناك حاجة قوية للأساليب الفعالة لتحليل التعرية الريحية على النطاق الإقليمي لتقدير مخاطرها، ويعد النطاق الإقليمي مناسباً لتطبيق التخطيط البيئي للبرامج الزراعية والبيئية Mezosi وآخرون (2012). وعلى الرغم من الإنجازات البحثية في مجال وعوامل التعرية الريحية، ما يزال هناك نقص في البحث عن الأنماط المكانية والزمنية استناداً إلى نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار

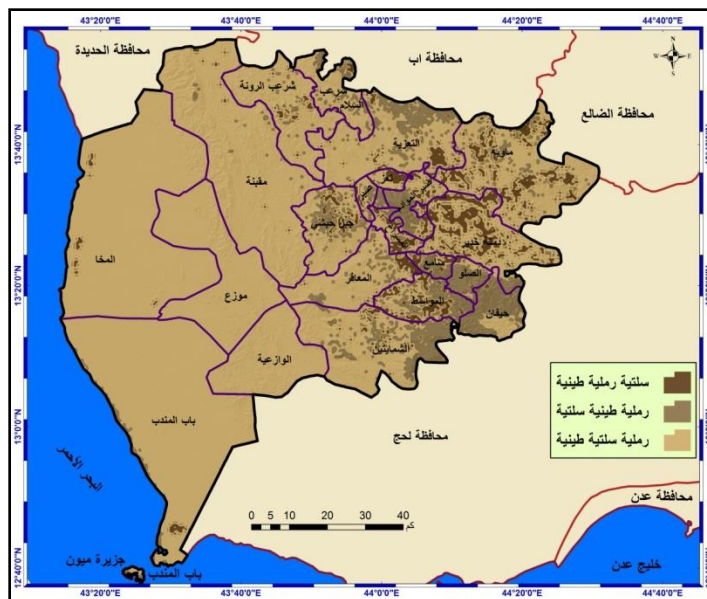
جدول 5. دليل نموذج الملازمة المكانية للتعرية الريحية للتربة.

المتغير	وصف ملازمة التربة للتعرية	الفئة	وزن الفئة	وزن المتغير	المتغير	وصف ملازمة التربة للتعرية	الفئة	وزن الفئة	وزن المتغير
0.05	ملائمة جدا	رطوبة منخفضة جداً	5	0.10	رطوبة الغلاف الجوي	ملائمة جدا	(سلتية رملية طينية)	5	قوام التربة
	ملاءمة مرتفعة	رطوبة منخفضة	4			ملاءمة معتدلة	(رملية طينية سلتية)	3	
	ملاءمة معتدلة	رطوبة معتدلة	3			ملاءمة منخفضة جدا	(رملية سلتية طينية)	1	
	ملاءمة منخفضة	رطوبة عالية	2						
	ملاءمة منخفضة جدا	رطوبة عالية جداً	1						
0.05	ملائمة جدا	رطوبة منخفضة جداً	5	0.05	رطوبة التربة	ملاءمة مرتفعة	سميكة جداً	5	سمك التربة
	ملاءمة معتدلة	رطوبة معتدلة	4			ملاءمة معتدلة	سميكة	4	
	ملاءمة منخفضة	رطوبة عالية	3			ملاءمة منخفضة	معتدلة السمك	3	
	ملاءمة منخفضة	رطوبة عالية	2			ملاءمة منخفضة	قليلة السمك	2	
	ملاءمة منخفضة جدا	رطوبة عالية جداً	1			ملاءمة منخفضة جدا	تربة ضحلة	1	
0.10	ملائمة جدا	أمطار منخفضة جداً	5	0.05	الأمطار	ملائمة جدا	تقشر جيد	5	تقشر التربة
	ملاءمة مرتفعة	أمطار منخفضة	4			ملاءمة معتدلة	تقشر معتدل	4	
	ملاءمة معتدلة	أمطار معتدلة	3			ملاءمة منخفضة	تقشر ضعيف	3	
	ملاءمة منخفضة	أمطار عالية	2			ملاءمة منخفضة	تقشر ضعيف جداً	2	
	ملاءمة منخفضة جدا	أمطار عالية جداً	1			ملاءمة منخفضة جدا	لا يوجد تقشر	1	
0.10	ملائمة جدا	تبخر عالي جداً	5	0.10	التبخر	ملائمة جدا	سهول ووديان	5	الانحدار
	ملاءمة مرتفعة	تبخر عالي	4			ملاءمة معتدلة	سهول تحاتية	4	
	ملاءمة معتدلة	تبخر معتدل	3			ملاءمة منخفضة	تلال منخفضة	3	
	ملاءمة منخفضة	تبخر منخفض	2			ملاءمة منخفضة	تلال مرتفعة	2	
	ملاءمة منخفضة جدا	تبخر منخفض جداً	1			ملاءمة منخفضة جدا	جبال منقطعة	1	
0.10	ملائمة جدا	غطاء نباتي نادر جداً	5	0.10	الغطاء النباتي	ملائمة جدا	عواصف شديدة	5	سرعة الرياح السطحية
	ملاءمة مرتفعة	غطاء نباتي نادر	4			ملاءمة معتدلة	سرعة عالية جداً	4	
	ملاءمة معتدلة	غطاء نباتي محدود	3			ملاءمة منخفضة	سرعة عالية	3	
	ملاءمة منخفضة	غطاء نباتي معتدل	2			ملاءمة منخفضة	سرعة معتدلة	2	
	ملاءمة منخفضة جدا	غطاء نباتي جيد	1			ملاءمة منخفضة جدا	سرعة منخفضة	1	
0.10	ملائمة جدا	غياب كثيف	5	0.05	انتشار الغبار	ملائمة جدا	حرارة عالية جداً	5	حرارة الغلاف الجوي
	ملاءمة مرتفعة	غياب معتدل	4			ملاءمة معتدلة	حرارة عالية	4	
	ملاءمة معتدلة	غياب قليل	3			ملاءمة منخفضة	حرارة معتدلة	3	
	ملاءمة منخفضة	غياب نادر	2			ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	2	
	ملاءمة منخفضة جدا	غياب نادر جداً	1			ملاءمة منخفضة جدا	حرارة منخفضة جداً	1	
0.05	ملائمة جدا	حرارة عالية جداً	5	0.05	حرارة التربة	ملاءمة مرتفعة	حرارة عالية	5	ملاءمة منخفضة
	ملاءمة معتدلة	حرارة معتدلة	4			ملاءمة منخفضة	حرارة معتدلة	4	
	ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	3			ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	3	
	ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	2			ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	2	
	ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	1			ملاءمة منخفضة	حرارة منخفضة	1	

المصدر: من عمل الباحث.

مديريات غرب ووسط وشمال شرق وشمال المحافظة، وبرزت المنطقة التي اتصفت تربتها بنسيج خشن (رملية طينية سلتية) في المديريات الواقعة جنوب شرق ووسط

توضح نتائج توزيع فئات التربة في المحافظة خريطة 2 تباين توزيعها، ومما يؤكد ذلك ظهرت المنطقة التي اتصفت تربتها بنسيج خشن جداً (رملية سلتية طينية) في



الخريطة 2. توزيع فئات القوام التربة في محافظة توز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة التربة، وزارة الزراعة والري، 1981.

إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها الفئة ذات القوام الخشن بمساحة بلغت 1333.4 كم²، بنسبة 13.3% من إجمالي مساحة المحافظة، وأقربها الفئة ذات القوام المعتدل بمساحة بلغت 540.3 كم²، بنسبة 5.4% من إجمالي مساحة المحافظة.

وجنوب وشمال المحافظة، وتنتشر المنطقة التي اتصفت تربتها بنسيج معتدل (سلتية رملية طينية) شمال شرق ووسط المحافظة.

يظهر جدول (6) تباين مساحة فئات القوام التربة، حيث جاءت الفئة التي اتصفت بقوام خشن جداً في المرتبة الاولى بمساحة بلغت 8145.6 كم²، بنسبة 81.3% من

جدول 6. مساحة فئات القوام التربة في محافظة توز

الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	معتدلة (سلتية رملية طينية)	540.3	5.4
2	خشنة (رملية طينية سلتية)	1333.4	13.3
3	خشنة جداً (رملية سلتية طينية)	8145.6	81.3
الإجمالي	-	3.10019	%100

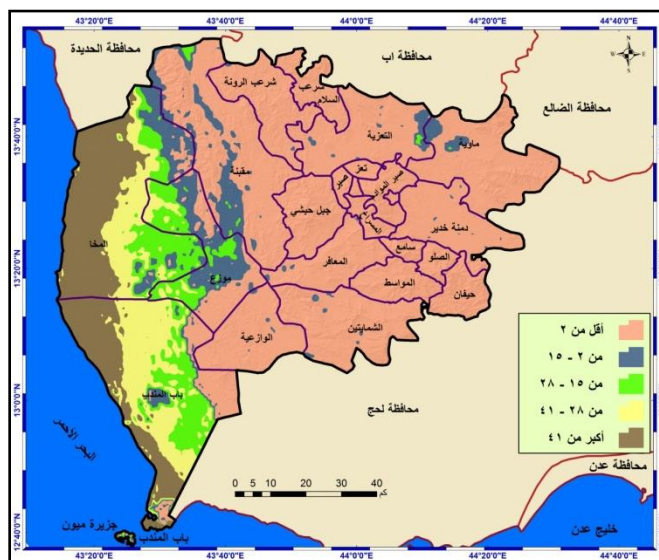
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة قوام التربة رقم (2).

ظهرت المنطقة التي اتصفت بتربة سميكة جداً تجاوزت 41 م في السهل الساحلي الغربي بمديرتي باب المنذب والمخاء، وبرزت المنطقة التي اتصفت بتربة سميكة تراوحت بين 28 - 41 م في السهل الساحلي الداخلي بمديريات باب المنذب والمخاء وموزع غرب المحافظة، وامتدت المنطقة التي اتصفت بتربة معتدلة السمك بين 15

سمك التربة: بتباين سمك التربة تتباين وفرة الرواسب للتعرية الريحية، ويعد سمك التربة من المتغيرات المكانية التي تسهم في تباين التعرية الريحية للتربة، فكلما كانت التربة سميكة وذات قوام ناعم ومفكك، زاد نشاط التعرية الريحية، بسبب توفر مكونات نشاطها، والعكس. وتبين نتائج خريطة 3 تباين توزيع فئات سمك التربة، حيث

المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بتربة ضحلة أقل من 2 م في المنطقة الأكثر ارتفاعاً شرقاً وشمالاً وجنوباً ووسط المحافظة.

28 م في المنطقة الواقعة بين السهل الساحلي وأقدام الجبال بالمديريات السابقة نفسها غرب المحافظة، وظهرت المنطقة التي اتصفت بتربة قليلة السمك بين 2 - 15 م في عدة مديريات شمال شرق وشمال غرب ووسط



الخريطة 3. توزيع فئات سمك التربة في محافظة توز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة رقمية لسمك التربة، وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2016.

تراوح قيمة المؤشر بين 0.17^{-} في المناطق التي لا تعاني تربتها من التقشر، أي حيث تتصف التربة بملاءمة منخفضة للتعرية الريحية، إلى 0.28 في المناطق التي تعاني تربتها من التقشر، بما يعزز من ملاءمة التربة للتعرية الريحية، بمتوسط حسابي 0.023 ، وانحراف معياري 0.034 . وتوضح خريطة 4 تباين تقشر التربة، حيث ظهرت المنطقة التي اتصفت بمستوى تقشر جيد للتربة تجاوز 0.056 في مديريات جنوب غرب وشمال غرب وشمال وجنوب ووسط المحافظة، وتظهر المنطقة التي اتصفت بمستوى تقشر معتدل بين 0.028 - 0.056 بمديريات غرب وجنوب ووسط غرب وشمال المحافظة.

ويوضح جدول (7) مجي الفئة التي اتصفت بتربة ضحلة في المرتبة الأولى بمساحة 6280 كم^2 ، بنسبة 62.68% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة التربة السمكية جداً 35.1174 كم^2 ، بنسبة 11.73% من إجمالي مساحة المحافظة، وجاءت بعدها فئة التربة السمكية 966.46 كم^2 ، بنسبة 9.65% من إجمالي مساحة المحافظة، وبالتالي فئة التربة قليلة السمك 832.3 كم^2 ، بنسبة 8.3% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً فئة التربة معتدلة السمك 2.766 كم^2 ، بنسبة 8.3% من إجمالي مساحة المحافظة.

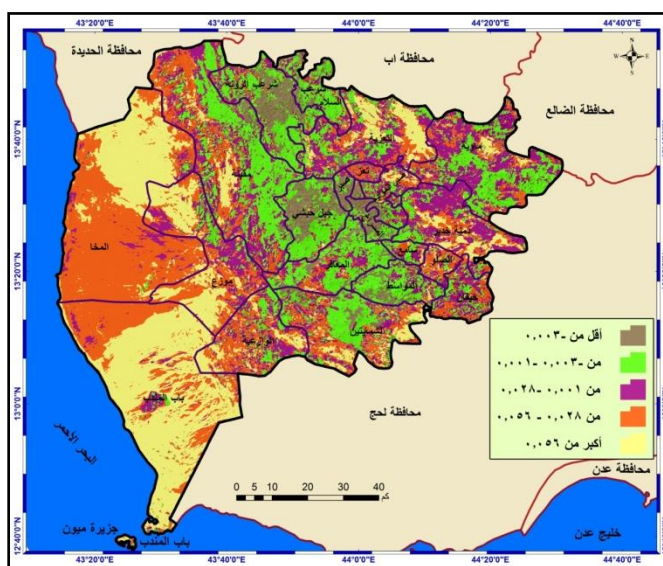
تقشر التربة:

تتصف علاقة تقشر التربة بالتعرية الريحية بالطردية، وعليه تؤكد نتائج مؤشر تقشر التربة في محافظة توز

جدول 7. فئات سمك التربة في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	> من 2	تربة ضحلة	6280	62.68
2	15 - 2	قليلة السمك	832.3	8.3
3	28 - 15	معتدلة السمك	2.766	7.65
4	41 - 28	سميكة	46.966	9.65
5	< 41 م	سميكة جداً	35.1174	11.73
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة سمك التربة رقم (3).



الخريطة 4. توزيع فئات مؤشر تقشر التربة في محافظة تعز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئية فضائية نوع OLI دقة تميز 30 متر، المكوك الفضائي Landsat 8، المساحة الجيولوجية الأمريكية، 30، 8، 2019.

ويبين جدول 8 أن الفئة ذات التقشر المعتدل جاءت في المرتبة الأولى بمساحة 1.2711 كم²، بنسبة 27.06% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة التقشر الضعيف بمساحة بلغت 2312.1 كم²، بنسبة 23.07% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة التقشر الجيد للتربة بمساحة بلغت 2252.5 كم²، بنسبة 22.5% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثم فئة التقشر الضعيف جداً للتربة بمساحة بلغت 1937.04 كم²، بنسبة 19.3% من

وتتوزع المنطقة التي اتصفت تربتها بتقشر ضعيف بين مديريات شمال شرق وجنوب شرق وشمال غرب ووسط غرب وغرب المحافظة. وتتركز المنطقة التي اتصفت تربتها بتقشر ضعيف جداً بين مديريات وسط وشمال شرق المحافظة، وتتداخل المنطقة التي اتصفت تربتها بعدم وجود تقشر للتربة أقل من 0.003 مع المنطقة السابقة في مديريات وسط وشمال المحافظة.

جدول 8. فئات مؤشر تقشر التربة في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	$0.003^- >$	لا يوجد تقشر	806.2	8.04
2	$0.001 - 0.003^-$	تقشر ضعيف جدا	1937.04	19.3
3	$0.028 - 0.001$	تقشر ضعيف	2312.1	23.07
4	$0.056 - 0.028$	تقشر معتدل	1.2711	27.06
5	$0.056 <$	تقشر جيد	2252.5	22.5
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: الباحث بالاعتماد خريطة رقم (4).

الانحدار بين 8 - 16° في عدة مديريات وسط وجنوب وشمال شرق وشمال المحافظة، وتغطي المنطقة التي اتصفت بانتشار سهول تحتية خفيفة التموج في مديريات غرب وشمال شرق ووسط وشمال المحافظة، وتتركز المنطقة التي تتصف بسهول وأودية مسطحة في الساحل الغربي من المحافظة.

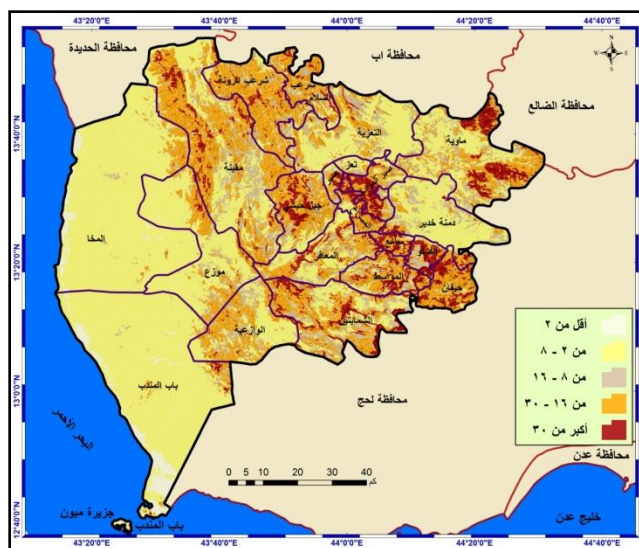
ويوضح جدول (9) تباين مساحة فئات الانحدار، حيث جاءت فئة السهول في المرتبة الأولى بمساحة 4008.4 كم²، بنسبة 40% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة التلال المجزأة بمساحة 9.2090 كم²، بنسبة 20.9% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة التلال المنخفضة المتموجة بمساحة 3.1987 كم²، بنسبة 19.8% من إجمالي مساحة المحافظة، وبالتالي فئة السهول والأودية المسطحة بمساحة 1107.5 كم²، بنسبة 11.05% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً فئة الجبال المتقطعة جداً بمساحة 825.2 كم²، بنسبة 8.2% من إجمالي مساحة المحافظة.

إجمال مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة إذ لا يوجد تقشر في التربة بمساحة بلغت 806.2 كم²، بنسبة 8.04% من إجمالي مساحة المحافظة.

الانحدار:

تزداد حساسية التربة للتعرية الريحية في المناطق ذات الأسطح المستوية، وتقل في المناطق الجبلية، وعليه تؤكد نتائج تحليل انحدار التضاريس تراوح درجات الانحدار بين صفر في المناطق التي تتصف باستواء تربتها، إلى 68° في الترب الجبلية شديدة الانحدار، بمتوسط حسابي 11.66، وانحراف معياري 10.65.

وتظهر خريطة (5) تباين توزيع فئات الانحدار، حيث ظهرت المنطقة التي اتصفت بانتشار جبال متقطعة جداً تجاوز انحدارها 30° بمديريات جنوب شرق وشمال شرق ووسط وشمال المحافظة، وبرزت المنطقة التي اتصفت بانتشار التلال المرتفعة المجزأة حيث الانحدار بين 16 - 30° بمحاذاة المنطقة السابقة في عدة مديريات جنوب وجنوب شرق ووسط وشمال شرق وشمال المحافظة، وتتوزع المنطقة التي اتصفت بتلال منخفضة متموجة حيث



خريطة 5. توزيع فئات انحدار التربة في محافظة تلعز.

المصدر: الباحث بالاعتماد على تحليل المرئية الفضائية الرادارية نوع DEM دقة تميز 30 متر، المكوك الفضائي SRTM، المساحة الجيولوجية الامريكية، 2000.

جدول 9. فئات انحدار التربة في محافظة تلعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	2 >	سهول ووديان مسطحة	1107.5	11.05
2	8 - 2	سهول تحتاتية تموج خفيف	4008.4	40
3	16 - 8	تلال منخفضة	3.1987	19.8
4	30 - 16	تلال مرتفعة مجزاة	9.2090	20.9
5	30 <	جبال متقطعة	825.2	8.2
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة انحدار التربة رقم (5).

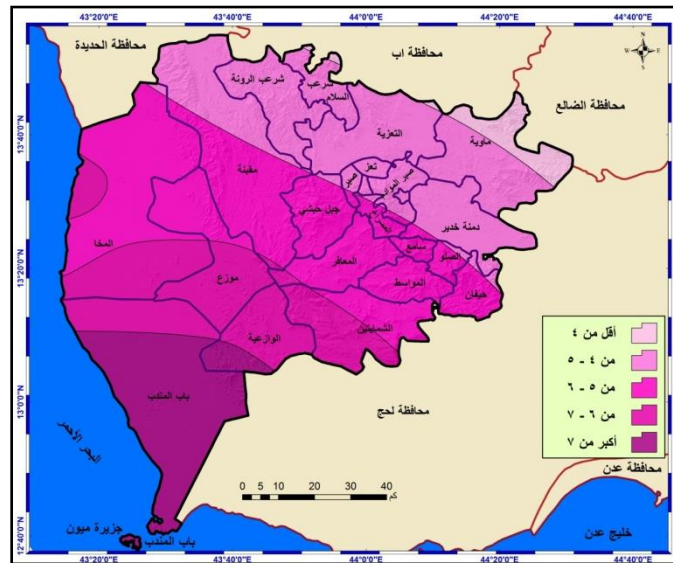
سرعة الرياح السطحية:

توضح خريطة 6 تباين سرعة الرياح السطحية، حيث ظهرت المنطقة التي اتصفت برياح عاصفية تجاوزت 7 م/ث في مديرتي باب المنذب والوازعية جنوب غرب المحافظة، والمنطقة التي اتصفت برياح عالية جداً بين 6 م/ث - 7 م/ث شمال المنطقة السابقة في مديريات الشمايتين والوازعية وباب المنذب والمخاء جنوب غرب وغرب المحافظة، وتمتد المنطقة التي اتصفت برياح عالية السرعة بين 5 - 6 م/ث من جنوب شرق المحافظة إلى شمالها الغربي، وتقع المنطقة التي اتصفت برياح معتدلة بين 4 -

تعد الرياح بالذات السطحية من أهم محددات التعرية الريحية فهي الطاقة التي تتحرك من خلالها حبيبات التربة في الجو وعلى سطح الأرض، وعليه تؤكد نتائج تحليل سرعة الرياح في محافظة تلعز تراوح سرعتها بين 3.49 م/ث في المناطق التي تتصف بعدم تعرض تربتها لرياح قوية، إلى 9.73 م/ث في المناطق التي تواجه تربتها تعرية شديد بفعل الرياح، بمتوسط حسابي 5.66 م/ث، وانحراف معياري 1.15 م/ث.

في المرتبة الاولى بمساحة 6.3477 كم²، بنسبة 34.7% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها الفئة ذات الرياح السطحية المعتدلة بمساحة 2909.3 كم²، بنسبة 29% من إجمالي مساحة المحافظة.

5 م/ث شمال شرق وشمال المحافظة، والمنطقة التي اتصفت برياح منخفضة أقل من 4 م/ث شمال شرق وشمال المحافظة، ويوضح جدول (10) تباين مساحة فئات سرعة الرياح، حيث جاءت فئة الرياح عاليه السرعة



الخريطة 6. توزيع فئات سرعة الرياح السطحية في محافظة تعز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Merra 2)، وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

جدول 10. فئات سرعة الرياح السطحية متر/ث في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	4 >	سرعة منخفضة	267.4	2.7
2	5 - 4	سرعة معتدلة	2909.3	29
3	6 - 5	سرعة عالية	6.3477	34.7
4	7 - 6	سرعة عالية جداً	2036.7	20.3
5	7 < م/ث	عواصف شديدة	1328.3	13.3
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة سرعة الرياح رقم (6).

بمساحة 267.4 كم²، بنسبة 2.7% من إجمالي مساحة المحافظة.

حرارة الغلاف الجوي:

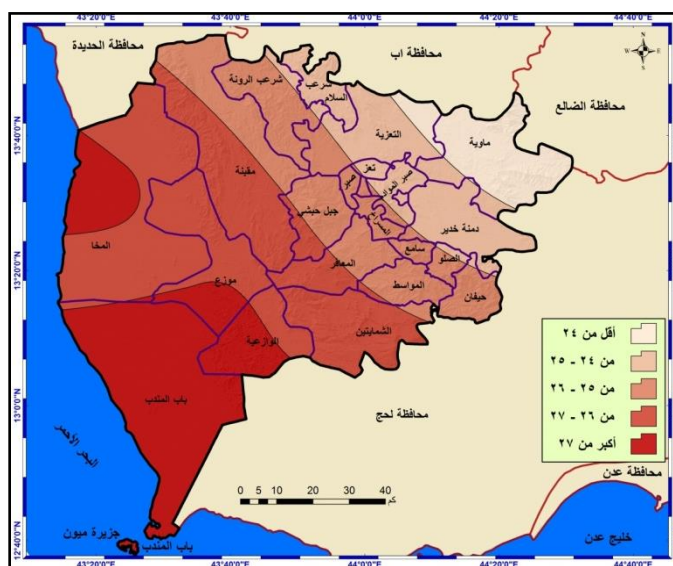
يؤثر تباين توزيع درجات حرارة الجو في التعرية الريحية

وأعقبها فئة الرياح السريعة جداً بمساحة 2036.7 كم²، بنسبة 20.3% من إجمالي مساحة المحافظة، وبالتالي فئة العواصف بمساحة 1328.3 كم²، بنسبة 13.3% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً فئة الرياح المنخفضة

وتعريف تربة جنوب غرب وغرب المحافظة بمديريات باب المندب والوازعية وموزع والمخاء، وبرزت المنطقة التي اتصفت بحرارة عالية بين 26 - 27° م في مديريات الشمايتين والمعافر وجبل حبشي والوازعية وموزع ومقبنة وباب المندب والمخاء غرب ووسط المحافظة. وتمتد المنطقة التي اتصفت بحرارة معتدلة بين 25 - 26° م ضمن مديريات جنوب شرق ووسط وشمال المحافظة، وتمتد المنطقة التي اتصفت بحرارة منخفضة بين 24 - 25° م بعدة مديريات شمال شرق ووسط وشمال المحافظة، وتقع المنطقة التي تتصف بمحدودية أثر الحرارة في جفاف وتعريف التربة أقل من 24° م بمديرتي ماوية والتعزية شمال شرق المحافظة.

إما من تأثيرها في جفاف التربة والنبات، وكلاهما يعزز من التعريف الريحية، أو من تأثيرها في تباين نطاقات الضغط الجوي، وتأثيره في سرعة الرياح التي تنقل وتحرك حبيبات التربة، وعليه تؤكد نتائج تحليل درجات حرارة الجو في محافظة تعز تراوح درجات الحرارة بين 22.8° م حيث يقل أثر الحرارة في جفاف وتعريف التربة، إلى 28.3° م حيث تسهم درجات الحرارة في جفاف وتعريف الريحية بشكل أقوى، بمتوسط حسابي بلغ 26° م، وانحراف معياري 1.2° م.

تبين نتائج تحليل توزيع درجات حرارة الغلاف الجوي خريطة (7) تباين توزيعها، حيث ظهرت المنطقة التي تسهم حرارتها العالية جداً أعلى من 27° م في جفاف



خريطة 7. توزيع فئات حرارة الغلاف الجوي في محافظة تعز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Merra 2)، وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

2093.7 كم²، بنسبة 20.9% من إجمالي مساحة المحافظة، وبعدها فئة الحرارة المنخفضة 1371.8 كم²، بنسبة 13.7% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً فئة الحرارة المنخفضة جداً 695.5 كم²، بنسبة 6.9% من إجمالي مساحة المحافظة.

ويظهر جدول 11 تباين مساحة فئات الحرارة، حيث جاءت فئة الحرارة العالية بالمرتبة الأولى 3472.8 كم²، بنسبة 34.7% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة الحرارة العالية جداً 2385.5 كم²، بنسبة 23.8% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الحرارة المعتدلة

جدول 11. فئات درجات حرارة الغلاف الجوي في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	24 >	حرارة منخفضة جداً	695.5	6.9
2	25 - 24	حرارة منخفضة	1371.8	13.7
3	26 - 25	حرارة معتدلة	2093.7	20.9
4	27 - 26	حرارة عالية	3472.8	34.7
5	27 < م	حرارة عالية جداً	2385.5	23.8
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة حرارة الغلاف الجوي رقم (7).

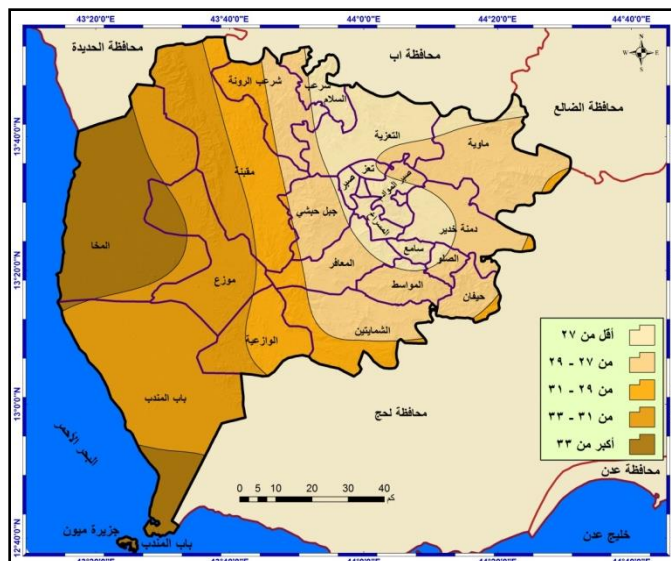
حرارة التربة:

حبشي والمعافر وموزع والشمايتين، وتقع المنطقة التي اتصفت بحرارة منخفضة للتربة السطحية بين 27 - 29° م في عدة مديريات شمال ووسط وجنوب وجنوب شرق المحافظة، وبرزت المنطقة التي اتصفت بحرارة منخفضة جداً لسطح التربة أقل من 24° م بمديريات شمال ووسط المحافظة.

وتظهر نتائج جدول 12 تباين مساحة فئات حرارة التربة السطحية، إذ جاءت فئة الحرارة العالية في المرتبة الأولى 3077.2 كم²، بنسبة 30.7% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الحرارة المنخفضة 2694.5 كم²، بنسبة 26.9% من إجمالي مساحة المحافظة، وبعدها فئة الحرارة العالية جداً 1507.6 كم²، بنسبة 15.05% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة الحرارة المعتدلة 1390.9 كم²، بنسبة 13.9% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الحرارة المنخفضة جداً للتربة السطحية 1349.1 كم²، بنسبة 13.5% من إجمالي مساحة المحافظة.

يؤثر التباين المكاني لحرارة التربة السطحية في التعرية الريحية للتربة من تأثيرها في جفاف التربة والنبات، وكلاهما يؤدي إلى تفكك حبيبات التربة السطحية، ويعزز من مخاطر التعرية الريحية، وعليه تؤكد نتائج تحليل درجات حرارة التربة السطحية في محافظة تعز تراوح درجات حرارتها بين 25.75° م، وهنا يقل تأثيرها في جفاف وتفكك حبيبات التربة وتعريتها، إلى 35.23° م في المناطق التي تسهم فيها الحرارة العالية للتربة في جفاف وتفكك حبيباتها ونشاط تعريتها، بمتوسط حسابي 30.13° م، وانحراف معياري 2.46° م.

تظهر خريطة 8 تباين توزيع درجات حرارة التربة السطحية، حيث ظهرت فئة الحرارة العالية جداً أعلى من 33° م غرب وجنوب غرب المحافظة في مديريات باب المنذب وموزع والمخاء، وتمتد المنطقة التي اتصفت بحرارة عالية تراوحت بين 31 - 33° م من شمال غرب إلى جنوب غرب المحافظة في مديريات المخاء ومقبنة وموزع والوازعية وباب المنذب، وتمتد المنطقة حيث حرارة التربة السطحية معتدلة بين 29 - 31° م من شمال إلى جنوب المحافظة ضمن مديريات شرعب الرونة ومقبنة وجبل



الخريطة 8. فئات حرارة سطح التربة عمق 10 سم في محافظة تعز.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Gidas1 Model). وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

جدول 12. فئات حرارة التربة السطحية بعمق 10 سم في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	27 >	حرارة منخفضة جداً	1349.1	13.5
2	29 - 27	حرارة منخفضة	2694.5	26.9
3	31 - 29	حرارة معتدلة	1390.9	13.9
4	33 - 31	حرارة عالية	3077.2	30.7
5	33 < م	حرارة عالية جداً	1507.6	15.05
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة حرارة التربة رقم (8).

رطوبة الغلاف الجوي:

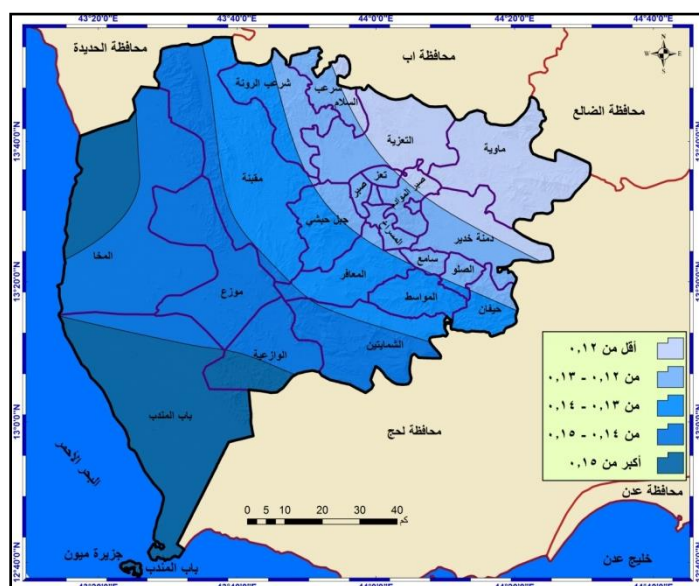
يؤدي تباين توزيع رطوبة الجو الملامس للتربة إلى تباين التعرية الريحية، وتتصف العلاقة بينهما بالعكسية، فكلما ارتفعت رطوبة الهواء الملامس لسطح التربة، زادت رطوبة وتماسك حبيباتها، وقل خطر التعرية الريحية، والعكس. وبذلك تؤكد نتائج تحليل رطوبة الغلاف الجوي الملامس لسطح التربة على ارتفاع 2 م في محافظة تعز تراوح رطوبة الجو بين 0.09 كج، وتسهم الرطوبة المنخفضة هنا في جفاف وتكك حبيبات التربة وسهولة

تعريتها بالرياح، إلى 0.19 كج في المناطق التي تعزز فيها رطوبة الجو من تماسك حبيبات التربة، وتقلل من خطر تعريتها، بمتوسط حسابي 0.13 كج، وانحراف معياري 0.15 كج.

تتباين رطوبة الغلاف الجوي الملامس لسطح التربة خريطة 9، حيث تمتد منطقة الرطوبة العالية جداً للغلاف الجوي أعلى من 0.15 كج/كج جنوب غرب وشمال غرب المحافظة بمديرتي باب المنذب والمخاء. وظهرت المنطقة التي اتصفت برطوبة عالية للجو بين $0.14 - 0.15$

وتبرز المنطقة التي اتصفت برطوبة منخفضة جداً للجو أقل من 0.12 كج/كج شمال شرق المحافظة بمديريات ماوية ودمنة خدير والتعزية وصبر. وتبين نتائج جدول 13 أن الفئة التي اتصفت برطوبة عالية للجو الملامس للتربة جاءت في المرتبة الأولى بمساحة 8.3138 كم²، بنسبة 31.3% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الرطوبة العالية جداً بمساحة بلغت 2027 كم²، بنسبة 20.23% من إجمالي مساحة المحافظة.

كج/كج وسط وغرب المحافظة بمديريات الشمايتين والوازعية وموزع وباب المنذب والمخاء ومقبنه، وتمتد المنطقة التي اتصفت برطوبة معتدلة للجو بين 0.13 - 0.14 كج/كج من جنوب شرق حتى شمال غرب المحافظة بمديريات حيفان المواسط والمعافر والشمايتين وجبل حبشي ومقبنه وشرع الرونة، وتظهر المنطقة التي اتصفت برطوبة منخفضة للجو تراوحت بين 0.12 - 0.13 كج/كج جنوب شرق ووسط وشمال المحافظة،



الخريطة 9. توزيع فئات رطوبة الغلاف الجوي الملامس للتربة في محافظة تعز.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Gldas 1 Model). وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

جدول 13. فئات رطوبة الغلاف الجوي الملامس للتربة.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	0.12 >	رطوبة منخفضة جداً	1393.5	13.90
2	0.13 - 0.12	رطوبة منخفضة	1.1439	14.36
3	0.14 - 0.13	رطوبة معتدلة	2020.9	20.16
4	0.15 - 0.14	رطوبة عالية	8.3138	31.32
5	0.15 <	رطوبة عالية جداً	2027	20.23
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة رطوبة الغلاف الجوي رقم (9).

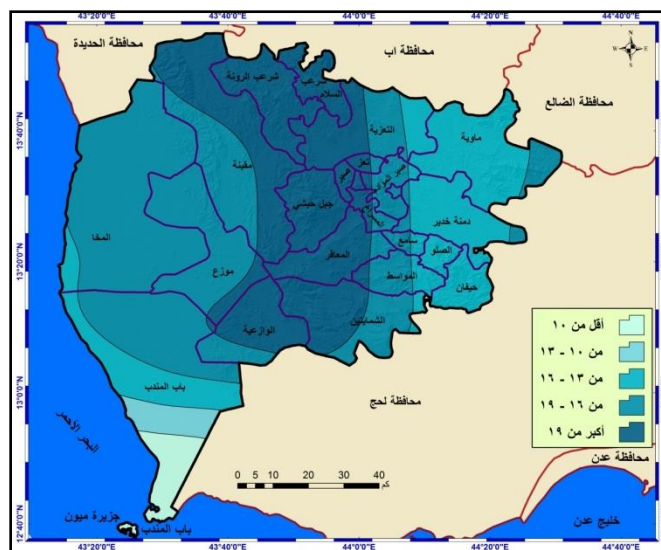
حيث تسهم الرطوبة المنخفضة للتربة في تفكك حبيبات التربة وخطر تعريتها، إلى 22 كج/م² في المناطق التي تساعد فيها رطوبة التربة بتماسك حبيباتها والتقليل من خطر التعرية الريحية، بمتوسط حسابي 17.35 كج/م²، وانحراف معياري 2.93 كج/م².

تظهر خريطة 10 تباين توزيع رطوبة التربة السطحية، حيث تمتد المنطقة التي اتصفت برطوبة عالية جداً للتربة السطحية تجاوزت 19 كج/م² من جنوب المحافظة بمديرتي الشمايتين والوازعية عبر مديريات المعافر وجبل حبشي وموزع ومقبنة والمسراخ وصبر حتى مديريات التعزية وشرعب الرونة والسلام شمال المحافظة، وبرزت المنطقة التي اتصفت برطوبة عالية للتربة السطحية بين 16 - 19 كج/م² شمال غرب ووسط المحافظة.

وبعدها فئة الرطوبة المعتدلة بمساحة 2020.9 كم²، بنسبة 20.16% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الرطوبة المنخفضة 1.1439 كم²، بنسبة 14.36% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الرطوبة المنخفضة جداً بمساحة 1393.5 كم²، بنسبة 13.90% من إجمالي مساحة المحافظة.

رطوبة التربة السطحية:

يؤثر تباين توزيع رطوبة التربة السطحية في التعرية الريحية للتربة من خلال تماسك حبيبات التربة، فكلما ارتفعت رطوبة التربة السطحية، زاد تماسك حبيباتها، وقلت مخاطر تعريتها والعكس، وتتصف علاقة رطوبة التربة السطحية بالتعرية الريحية للتربة بالعكسية. وتؤكد نتائج تحليل رطوبة التربة السطحية في محافظة تعز تراوح رطوبة التربة السطحية في المحافظة بين 0.81⁻ كج/م²



الخريطة 10. توزيع فئات رطوبة التربة السطحية عمق 10 سم في محافظة تعز.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Gldas 1 Model)، وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

اتصفت برطوبة منخفضة جداً أقل من 13 كج/م² بمديرتي باب المنذب جنوب غرب المحافظة.

وتبين نتائج جدول 14 أن فئة الرطوبة العالية للتربة السطحية جاءت في المرتبة الأولى بمساحة 4287.4 كم²، بنسبة 42.8% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها

وتمتد المنطقة التي اتصفت برطوبة معتدلة للتربة السطحية بين 13 - 16 كج/م² في عدد من مديريات شمال شرق وجنوب غرب المحافظة، وتمتد المنطقة التي اتصفت برطوبة منخفضة بين 10 - 13 كج/م² بمديرتي باب المنذب جنوب غرب المحافظة، وتقع المنطقة التي

بمساحة 255.06 كم²، بنسبة 2.55% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الرطوبة المنخفضة للتربة السطحية بمساحة 198.9 كم²، بنسبة 2% من إجمالي مساحة المحافظة.

فئة الرطوبة العالية جداً للتربة السطحية بمساحة 3217.9 كم²، بنسبة 32.1% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثم فئة الرطوبة المعتدلة للتربة السطحية بمساحة 2060 كم²، بنسبة 20.56% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة الرطوبة المنخفضة جداً للتربة السطحية

جدول 14. فئات رطوبة التربة السطحية في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	10 >	رطوبة منخفضة جداً	255.06	2.55
2	13 - 10	رطوبة منخفضة	198.9	2
3	16 - 13	رطوبة معتدلة	2060	20.56
4	19 - 16	رطوبة عالية	4287.4	42.8
5	19 < كج/م ²	رطوبة عالية جداً	3217.9	32.1
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة رطوبة التربة رقم (10).

تمتد المنطقة التي اتصفت بأمتار عالية جداً تجاوزت 650 ملم شمال ووسط المحافظة بمديريات شرعب السلام والرونة والتعزية وصبر والمسراخ وجبل حبشي والمعافر وسامع ودمنة خدير والمواسط والصلو، وتحيط المنطقة التي اتصفت بأمتار عالية بين 550 - 650 ملم بالمنطقة السابقة بمديريات ماوية ودمنة خدير والصلو وحيفان والمعافر وسامع والمواسط والشمايتين ومقبة، وتحيط المنطقة التي اتصفت بكمية أمطار معتدلة بين 450 - 550 ملم بالمنطقة الثانية بمديريات ماوية ودمنة خدير وحيفان والشمايتين والوازعية وموزع ومقبة، وتمتد المنطقة التي اتصفت بأمتار منخفضة بين 350 - 450 ملم غرب وجنوب المحافظة بمديريات الشمايتين والوازعية وباب المنذب وموزع والمخاء، وتقع المنطقة التي اتصفت بأمتار منخفضة جداً أقل من 350 ملم بمديرية باب المنذب جنوب غرب المحافظة. وتبين نتائج جدول 15 ان الفئة التي اتصفت بكمية عالية للأمطار جاءت في المرتبة الاولى بمساحة 2565 كم²، بنسبة 25.6% من إجمالي مساحة المحافظة، وجاءت بعدها فئة الأمطار العالية جداً

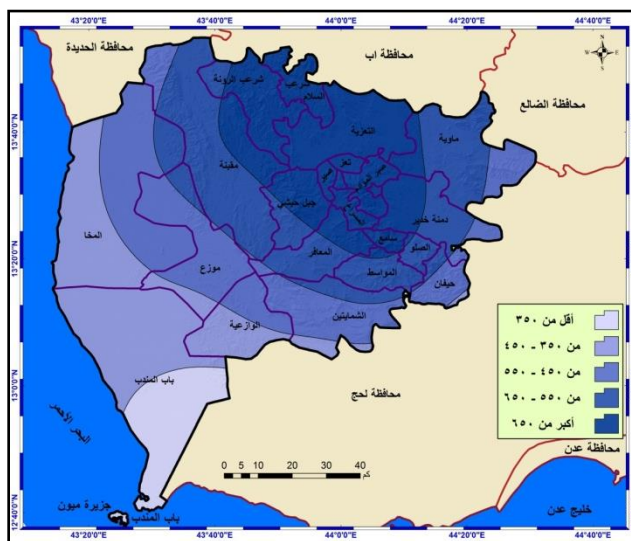
الأمطار:

يبرز أثر تباين توزيع كمية الأمطار في التعرية الريحية للتربة من خلال العلاقة العكسية بينها، فكلما زادت كمية الأمطار، زادت رطوبة التربة، وتغطيتها بالغطاء النباتي، وقل خطر التعرية الريحية للتربة، وكلما قلت كمية الأمطار، انخفضت رطوبة التربة، وزاد تفكك حبيباتها، وقل تغطيتها بالغطاء النباتي، وزاد خطر التعرية الريحية للتربة. وعليه أظهرت عدة دراسات تأثير الغبار في تكون وتطور الأعاصير، وتأثيره على الرياح الموسمية الصيفية والدورة الهيدرولوجية Cho وآخرون (2013). وبذلك أكدت نتائج تحليل كمية الأمطار السنوية في محافظة تعز تراوح كمية الأمطار بين 248 ملم، وتسهم كمية الأمطار المنخفضة هنا في التعزيز من مخاطر التعرية، إلى 732 ملم حيث تساعد كمية الأمطار في رفع رطوبة التربة، وتماسك حبيباتها، والتقليل من مخاطر التعرية الريحية، بمتوسط حسابي 576.7 ملم، وانحراف معياري 119.6 ملم.

توضح خريطة 11 تباين توزيع كمية الأمطار، حيث

بنسبة 20.8% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الأمطار المنخفضة جداً بمساحة بلغت 639.4 كم²، بنسبة 6.4% من إجمالي مساحة المحافظة.

بمساحة 2383 كم²، بنسبة 23.8% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الأمطار المعتدلة بمساحة 2.2351 كم²، بنسبة 23.5% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة الأمطار المنخفضة بمساحة 7.2080 كم²،



الخريطة 11. فئات توزيع كمية الأمطار السنوية في محافظة تعز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Trmm 1)، وكالة ناسا، بيانات الأرض، 2019.

جدول 15. فئات كمية الأمطار السنوية في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	350 >	أمطار منخفضة جداً	639.4	6.4
2	450 - 350	أمطار منخفضة	7.2080	20.8
3	550 - 450	أمطار معتدلة	2.2351	23.5
4	650 - 550	أمطار عالية	2565	25.6
5	650 < ملم	أمطار عالية جداً	2383	23.8
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة كمية الأمطار رقم (11).

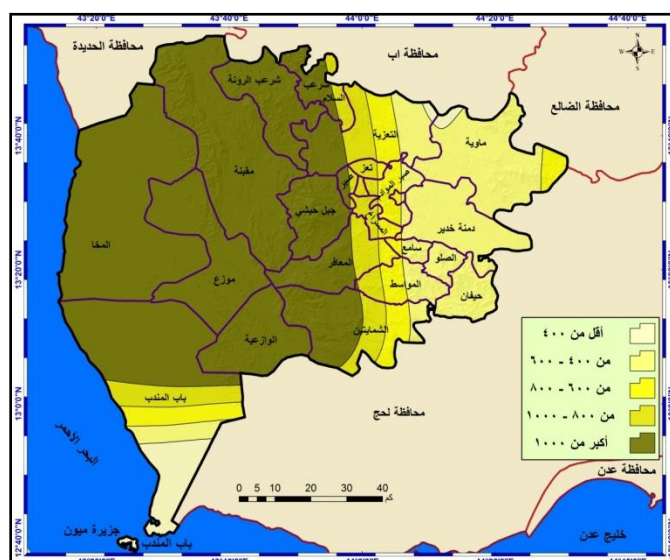
التبخّر السنوي في محافظة تعز تراوح معدلاته بين 810 ملم، حيث يسهم انخفاض التبخّر في تماسك حبيبات التربة، ويقلل من مخاطر تعريتها، إلى 1327 ملم، حيث يؤدي التبخّر العالي إلى جفاف وتتفكك حبيبات التربة، ويعزز من مخاطر تعريتها، بمتوسط حسابي بلغ 927.7 ملم، وانحراف معياري 327.1 ملم.

التبخّر المباشر من سطح التربة:

تبرز العلاقة بين التبخّر من سطح التربة والتعرية الريحية من خلال تأثير التبخّر في رطوبة وتماسك حبيبات التربة أو تفككها، وبالتالي تنصف العلاقة بينهما بالطردية، فكلما زاد التبخّر، قلت رطوبة التربة، وزاد تفكك حبيباتها، وخطر تعريتها بالرياح، والعكس. وعليه تؤكد نتائج تحليل

باب المنذب جنوب غرب المحافظة، وتمتد منطقة التبخر المنخفض بين 400 - 600 ملم بمديريات حيفان والصلو وسامع والمواسط ودمنة خدير وماوية وصبر والتعزية جنوب شرق وشمال شرق المحافظة، وتقع منطقة التبخر المنخفض جداً أقل من 400 ملم بمديرية باب المنذب جنوب غرب المحافظة، وشمال ماوية والتعزية شمال المحافظة.

تظهر خريطة (12) تباين توزيع التبخر، حيث تمتد منطقة التبخر العالي جداً أعلى من 1000 ملم بمديريات شمال ووسط وغرب المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بتبخر عالي بين 800 - 1000 ملم بمديرية باب المنذب جنوب غرب المحافظة، ومديريات وسط المحافظة، وتتوزع منطقة التبخر المعتدل بين 600 - 800 ملم بمديرية ماوية شمال شرق المحافظة ومديريات الشمايتين والمواسط وسامع والمعافر والمسراخ وصبر والتعزية ووسط مديرية



الخريطة 12. فئات توزيع التبخر السنوي في محافظة تعز.

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على نموذج (Gidas I Model)، وكالة ناسا، بيانات مناخ الأرض، 2019.

جدول 16. فئات معدلات التبخر السنوي في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	400 >	تبخر منخفض جداً	320.6	3.2
2	600 - 400	تبخر منخفض	1858.8	18.6
3	800 - 600	تبخر معتدل	690.3	6.9
4	1000 - 800	تبخر عالي	797.8	8
5	1000 <	تبخر عالي جداً	8.6351	63.4
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة التبخر رقم (12).

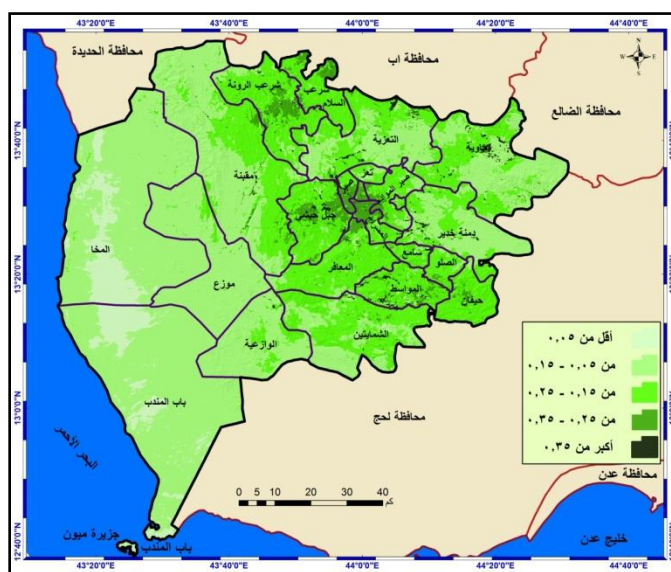
وتوضح نتائج جدول 16 مجي فئة التبخر العالي جداً في المرتبة الأولى بمساحة 8.6351 كم²، بنسبة 63.4%

من مخاطر تعريتها، وكلما قلت كثافة الغطاء النباتي ينكشف سطح التربة، ويقل تماسك حبيباتها، وتزداد مخاطر تعريتها، وبالتالي تتصف علاقة الغطاء النباتي بالتعرية الريحية بالعكسية. وتؤكد نتائج اشتقاق طبقة الغطاء النباتي تراوح قيمة مؤشر (NDVI) بين 0.25^- ، ويعد الغطاء النباتي النادر بهذه المناطق سبباً في انكشاف سطح التربة، وضعف تماسك حبيباتها، مما يعزز من مخاطر تعريتها الريحية، إلى 0.57 ، حيث يساعد انتشار الغطاء النباتي من تماسك حبيبات التربة وحمايتها من التعرية الريحية، بمتوسط حسابي بلغ 0.13 ، وانحراف معياري 0.07 .

من إجمالي مساحة المحافظة، وبعدها فئة التبخر المنخفض 1858.8 كم²، بنسبة 18.6% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة التبخر العالي بمساحة 797.8 كم²، بنسبة 8% من إجمالي مساحة المحافظة، ومن ثم فئة التبخر المعتدل بمساحة 690.3 كم²، بنسبة 6.9% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة التبخر المنخفض جداً بمساحة 320.6 كم²، بنسبة 3.2% من إجمالي مساحة المحافظة.

الغطاء النباتي:

يعتبر الغطاء النباتي من أهم محددات تباين التعرية الريحية للتربة، فالغطاء النباتي الكثيف يعد بمثابة غطاء يحمي التربة من الرياح، ويزيد من تماسك حبيباتها، ويقلل



الخريطة 13. فئات توزيع الغطاء النباتي في محافظة توزي.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مرئية فضائية نوع OLI دقة تميز 30 متر، المكوك الفضائي Landsat 8، المساحة الجيولوجية الأمريكية، 30، 8، 2019.

وجبل حبشي وسط المحافظة، ومديريات حيفان والصلو وسامع والمواسط وسط المحافظة، وتظهر المنطقة التي اتصفت بغطاء نباتي محدود تراوح بين $0.15 - 0.25$ في شمال ووسط وجنوب وشرق المحافظة بمديريات الشاميتين والمواسط وسامع والمعاقر والمسراخ وصبر والتعزية وشرعب السلام وشرعب الرونة ومقبنة وحيفان

وتوضح نتائج خريطة 13 تباين توزيع الغطاء النباتي، حيث تنتشر المنطقة التي اتصفت بغطاء نباتي جيد تجاوز 0.35 في بطون أودية مديريات وسط وجنوب وشمال وشمال شرق المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بغطاء نباتي معتدل تراوح بين $0.25 - 0.35$ بمديريتي شرعب السلام والرونة شمال المحافظة، ومديريات صبر والمسراخ

و29.13% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعقبها فئة الغطاء النباتي النادر جداً 836 كم²، بنسبة 8.34% من إجمالي مساحة المحافظة، وتلتها فئة الغطاء النباتي المعتدل 8.753 كم²، بنسبة 7.54% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الغطاء النباتي الجيد بمساحة 114.9 كم²، بنسبة 1.15% من إجمالي مساحة المحافظة.

ودمنة خدير وماوية، وتبرز المنطقة التي اتصفت بغطاء نباتي نادر بين 0.05 - 0.15 شمال شرق وغرب المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بغطاء نباتي نادر جداً أقل من 0.05 بمديرتي باب المندب والمخاء غرب المحافظة. وتشير نتائج جدول 17 أن فئة ندر الغطاء النباتي جاءت في المرتبة الأولى بمساحة 5396.4 كم²، بنسبة 53.86% من إجمالي مساحة المحافظة، وبعدها فئة الغطاء النباتي المحدود 2918.3 كم²، بنسبة

جدول 17. فئات انتشار الغطاء النباتي في محافظة تعز.

الفئة	حدود الفئة	الوصف	المساحة كم ²	النسبة (%)
1	0.05 >	غطاء نباتي نادر جداً	836	8.34
2	0.15 - 0.05	غطاء نباتي نادر	5396.4	53.86
3	0.25 - 0.15	غطاء نباتي محدود	2918.3	29.13
4	0.35 - 0.25	غطاء نباتي معتدل	7.753	7.53
5	0.35 <	غطاء نباتي جيد	114.9	1.15
الإجمالي	-	-	3.10019	%100

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة الغطاء النباتي رقم (13).

انتشار الغبار:

ونقل الجراثيم، وتفاقم الأمراض التنفسية التي تؤثر على صحة الإنسان، ويقلل من الرؤية التي تؤثر على النقل والسياحة Webb وآخرون (2017). ويعتمد تأثير الغبار في الأنظمة الأرضية على خصائصه الفيزيائية، لاسيما حجم ومعدن ومورفولوجيا الجسيمات Holdt وآخرون (2017).

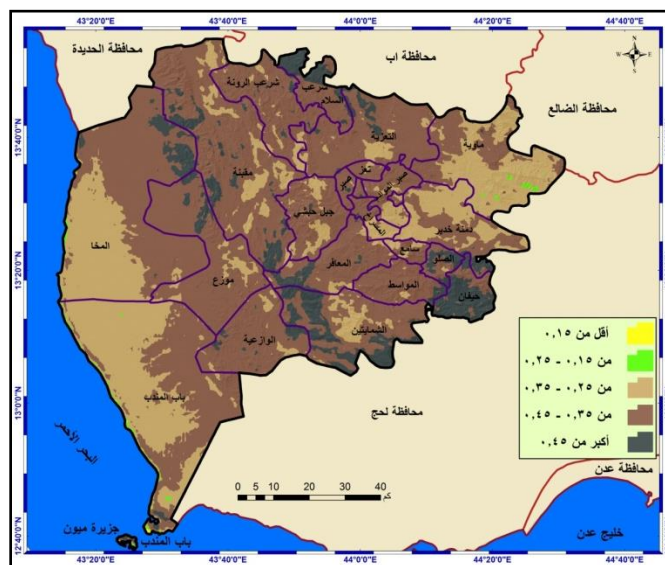
يعتبر انتشار الغبار في الغلاف الجوي الملامس لسطح الأرض من أبرز المتغيرات المكانية التي توضح تباين التعرية الريحية للتربة، فانتشار الغبار بكثافة في بعض المناطق مؤشر على شدة التعرية الريحية للتربة، وقلة انتشار الغبار في مناطق أخرى مؤشر على ضعف تأثير التعرية الريحية للتربة. وتتعرض المناطق التي ينتشر فيها الغبار لإعادة توزيع مكونات التربة؛ الأمر الذي يؤدي إلى فقدان حبيبات مهمة للتربة كالنيتروجين والفوسفور والكربون، مما يؤثر على جودتها، وتغير النظم البيئية، والدورات البيوجيوكيميائية، والدورة الهيدرولوجية، والتعرية الريحية. لذا لابد من تحديد مصادر إنتاج الغبار، وتحديد خصائص الاستجابة للظروف البيئية، لأن الخصائص الفيزيائية والكيميائية للغبار تحدد أصل سطح الأرض Heidarian وآخرون (2018). ويظهر أثر انبعاث الغبار على النظم البشرية، من خلال تردي نوعية الهواء،

تؤكد نتائج اشتقاق طبقة انتشار الغبار تراوح مؤشر الغبار بين 0.35⁻، وقلة انتشار الغبار في هذه المناطق يشير إلى تغطية سطح التربة بالنبات، وارتفاع رطوبة التربة، وتماسك حبيباتها، الأمر الذي يدل على انخفاض مخاطر التعرية الريحية، إلى 0.59 ويعكس هذا الرقم كثافة الغبار، وشدة مخاطر التعرية الريحية للتربة في هذه المناطق، بسبب ضعف حماية الغطاء النباتي للطبقة العليا من التربة، وجفاف وضعف تماسك حبيباتها، بمتوسط حسابي بلغ 0.37، وانحراف معياري 0.05.

توضح خريطة (14) تباين توزيع الغبار، حيث ظهرت

اتصفت بغبار نادر بين 0.15 - 0.25 على شكل بقع صغيرة في الساحل الغربي لمديرتي باب المنذب والمخاء غرب المحافظة، ومديرية ماوية شمال شرق المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بغبار نادر جداً أقل من 0.15 في الشريط الساحلي المحاذي للبحر الأحمر بمديرتي باب المنذب والمخاء غرب المحافظة.

المنطقة التي اتصفت بغبار كثيف تجاوز 0.45 بمديريات وسط وجنوب شرق وجنوب وشمال المحافظة، وتقع المنطقة التي اتصفت بغبار معتدل بين 0.35 - 0.45 في جميع مديريات المحافظة. وتظهر المنطقة التي اتصفت بغبار قليل بين 0.25 - 0.35 بمديريات غرب وشمال شرق ووسط المحافظة، وتنتشر المنطقة التي



الخريطة- 14: فئات انتشار الغبار في محافظة تعز

المصدر: الباحث بالاعتماد على أرشيف الصور الفضائية، من نوع MODIS Teraa 1KM، 12

صورة فضائية وكالة ناسا، للمدة شهر 1-12/2019.

جدول 18. فئات انتشار الغبار في محافظة تعز.

النسبة (%)	المساحة كم ²	الوصف	حدود الفئة	الفئة
0.23	23	غبار نادر جداً	0.15 >	1
0.50	49.9	غبار نادر	0.25 - 0.15	2
28.7	2875.8	غبار قليل	0.35 - 0.25	3
60.6	6074.7	غبار معتدل	0.45 - 0.35	4
9.9	995.9	غبار كثيف	0.45 <	5
%100	3.10019	-	-	الإجمالي

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على خريطة انتشار الغبار رقم (14).

القليل بمساحة 2875.8 كم²، بنسبة 28.7% من إجمالي مساحة المحافظة، وأعتبتها فئة الغبار الكثيف بمساحة 995.9 كم²، بنسبة 9.9% من إجمالي مساحة

وتبين نتائج جدول (18) مجي فئة الغبار المعتدل في المرتبة الأولى بمساحة 6074.7 كم²، بنسبة 60.6% من إجمالي مساحة المحافظة، وبعدها جاءت فئة الغبار

توضح خريطة (15) أن أدنى تحسس للتعرية الريحية للتربة في المحافظة طبقاً لجميع المتغيرات بلغت 1.65 درجة من خمس درجات بما يعادل 33 %، بمعنى أنه لا توجد أي منطقة في المحافظة لا تعاني من حساسية تربتها للتعرية الريحية، بدليل عدم وجود خلية واحدة قيمتها تساوي صفر، وبلغ أعلى تحسس للتعرية الريحية للتربة في المحافظة 4.15 درجة بما يعادل 83%، بمعنى أنه ليست هناك منطقة تعاني تربتها من التعرية الريحية بنسبة 100%، ومما يؤكد ذلك عدم تجاوز درجات نموذج الملاءمة 4.15 درجات.

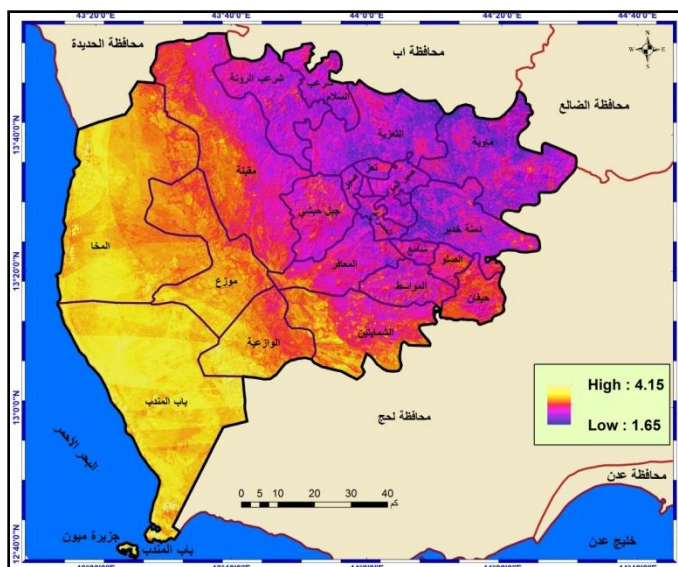
وبموجب ذلك توضح نتائج تصنيف طبقة الخريطة السابقة بالجدول (19) تباين مساحة فئات الملاءمة المكانية للتعرية الريحية في المحافظة، حيث جاءت المنطقة التي اتصفت بملاءمة عالية للتعرية الريحية بين 3.1 - 3.5 درجات في المرتبة الأولى بمساحة 4129.2 كم²، بنسبة 41.22% من إجمالي مساحة المنطقة، وأعقبها المنطقة التي اتصفت بملاءمة معتدلة للتعرية الريحية بين 2.7 - 3.1 درجات بمساحة 2267.4 كم²، بنسبة 22.63% من إجمالي مساحة المنطقة، وبعدها جاءت المنطقة التي اتصفت بملاءمة قليلة للتعرية الريحية بين 2.3 - 2.7 درجات بمساحة 2267.4 كم²، بنسبة 22.63% من إجمالي مساحة المنطقة، وتلتها المنطقة التي اتصفت بملاءمة شديدة للتعرية الريحية تجاوزت 3.5 درجات، بمساحة 461.9 كم²، بنسبة 4.61% من إجمالي مساحة المنطقة، وأخيراً جاءت المنطقة التي اتصفت بملاءمة منخفضة للتعرية الريحية أقل من 2.3 درجات بمساحة 275.2 كم²، بنسبة 2.74% من إجمالي مساحة المنطقة.

المحافظة، وتلتها فئة الغبار النادر بمساحة 49.9 كم²، بنسبة 0.50% من إجمالي مساحة المحافظة، وأخيراً جاءت فئة الغبار النادر جداً بمساحة 23 كم²، بنسبة 0.23% من إجمالي مساحة المحافظة.

ثانياً: النمذجة المكانية للتعرية الريحية:

أدى الاعتراف المتزايد بمخاطر التعرية الريحية في تدهور التربة والموارد، والتأثير على عناصر المناخ، وجودة الهواء، والرؤية السطحية، وصحة الإنسان، والنقل، والتصحر، إلى بذل جهود لتقدير التعرية الريحية من خلال بناء نماذج قائمة على متغيراتها. وبالتالي فإن فهم التعرية، والقدرة على التنبؤ بمواقعها، وكمية انبعاث الغبار الناتج عنها، تعتمد على فهم جيد للعمليات الجيولوجية والهيدرولوجية Reynold وآخرون (2007).

وبعد تحليل وفهم هذه العمليات تم بناء نموذج يبين ملاءمة التربة للتعرية الريحية في محافظة تعز باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وتوضح نتائج جدول (5) السابق فكرة بناء هذا النموذج، فبعد تجهيز كافة الطبقات المعلوماتية لكل من (قوام وسمك وتقسيم وانحدار التربة وسرعة الرياح ودرجة حرارة الغلاف الجوي والتربة ورطوبة الغلاف الجوي والتربة وكمية الأمطار ومعدلات التبخر والغطاء النباتي وانتشار الغبار)، وإعادة تصنيف هذه الطبقات بما يتناسب مع مدى ملاءمتها للتعرية الريحية (ملائمة جداً، ملائمة، معتدلة الملاءمة، منخفضة الملاءمة، منخفضة الملاءمة جداً) للتعرية الريحية، تم ضمن كل طبقة تكوين عمود لأوزان الفئات، وأخيراً تم دمج جميع هذه الطبقات لكافة المتغيرات المؤثرة في التعرية حسب أوزانها لنحصل على طبقة واحدة تبين مستويات أو درجات ملاءمة التربة للتعرية الريحية في المحافظة خريطة (15).



الخريطة- 15: درجات الملاءمة المكانية للتعرية الريحية للتربة في محافظة تuz
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على دمج الطبقات الرقمية للأشكال من (2- 14).

جدول 19. فئات الملاءمة المكانية للتعرية الريحية بمحافظة تuz.

النسبة (%)	المساحة كم ²	الفئة	الوصف
2.74	275.2	2.3 >	مناطق منخفضة الملاءمة للتعرية
22.63	2267.4	2.7 - 2.3	مناطق قليلة الملاءمة للتعرية
28.8	2885.6	3.1 - 2.7	مناطق معتدلة الملاءمة للتعرية
41.22	4129.2	3.5 - 3.1	مناطق عالية الملاءمة للتعرية
4.61	461.9	3.5 <	مناطق شديدة الملاءمة للتعرية
%100	3.10019	-	الإجمالي

المصدر: الباحث بالاعتماد على خريطة رقم (15).

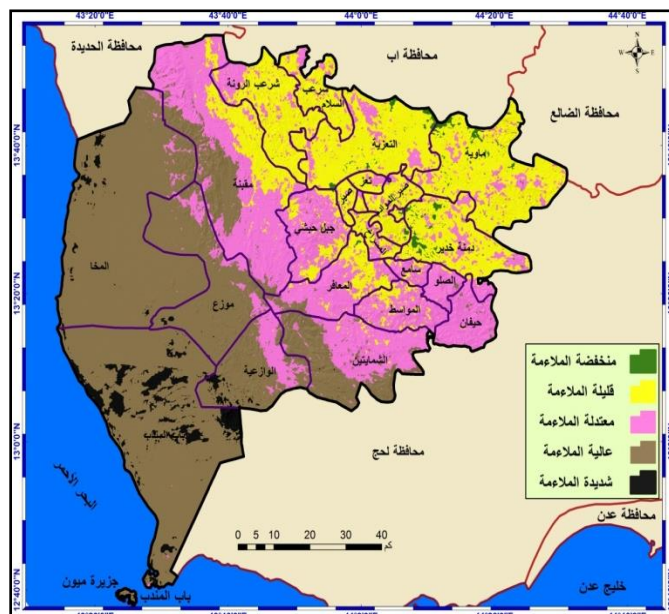
للتعرية الريحية غرب وجنوب ووسط غرب المحافظة بمديريات المحاء وباب المنذب والوازعية وموزع ومقبنة والشمايتين والمعافر، حيث بدأت مقومات التعرية الريحية بالتغير النسبي، لاسيما تغير قوام وسمك وتقرن التربة، وتراجع الحرارة والتبخر والجفاف، وارتفاع كمية الأمطار والرطوبة والغطاء النباتي.

وتظهر المنطقة التي اتصفت تربتها بملاءمة معتدلة للتعرية الريحية وسط وجنوب شرق وشمال غرب المحافظة بمديريات الشمايتين وحيفان والصلو والمواسط وسامع

وتوضح نتائج خريطة 16 تباين توزيع مستويات الملاءمة المكانية للتعرية الريحية للتربة في محافظة تuz، ومما يؤكد ذلك تظهر المنطقة التي اتصفت بشدة ملاءمة تربتها للتعرية الريحية غرب وجنوب غرب المحافظة بمديريات المحاء وباب المنذب والوازعية، حيث تتوافر مقوماتها لاسيما الترب الناعمة المفككة عميقة السمك شديدة التقشر عالية الحرارة والتبخر والجفاف قليلة الأمطار والرطوبة والغطاء النباتي.
وتتمتد المنطقة التي اتصفت تربتها بملاءمة عالية

عن اعتدال الحرارة والتبخر والجفاف، وتزايد كمية الأمطار والرطوبة والغطاء النباتي.

والمعافر وجبل حبشي وموزع ومقبنة وشرعب الرونة، ومناطق متفرقة شمال شرق ووسط المحافظة، حيث بدأت التربة معتدلة الخشونة والعمق والتقشر، فضلاً



الخريطة 16. فئات ملاءمة التربة للتربة الريحية بمحافظة تعز.

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على الخريطة (15).

REFERENCES

- Al-Dossary, A. 2018. The phenomenon of dust locally regionally and internationally Kuwait Institute for Scientific Research. Environment and Life Sciences. Research Center: 1-157.
- Behbahani, A. 2015. Hazard and Risk Assessment of Wind Erosion and Dust Emissions in Denmark-A Simulation and Modeling Approach. Doctoral Thesis, Basel University, Faculty of Science: 1-132.
- Borrelli, P., E. Lugato, L. Montanarella, and P. Panagos. 2017. A New Assessment of Soil Loss Due to Wind Erosion in European Agricultural Soils Using a Quantitative Spatially Distributed Modelling Approach, 28: 335-344.
- Chavez, S., D. J. Mackinnon, R. L. Reynolds, and M. G. Velasco. 2002. Monitoring dust storms and mapping landscape vulnerability to wind erosion using satellite and ground-based digital images, Arid Lands. 51: 1-8.
- Cho, H.M., S. L. Nasiri, and P. Yang. 2013.

وبرزت المنطقة التي اتصف تربتها بملاءمة منخفضة للتربة الريحية شمال شرق وشمال ووسط المحافظة بمديريات ماوية ودمنة وخدير والتعزية وشرعب السلام والرونة والمسراخ وصبر، وأجزاء متفرقة من المواسط وسامع والمعافر وجبل حبشي ومقبنة، وهنا بدأت خصائص التربة بالتغير بشكل اكبر مما سبق، لاسيما تراجع عمق وتقشر التربة، وتماسك حبيباتها بسبب غزارة الأمطار ورطوبة التربة وكثافة الغطاء النباتي، وانخفاض درجات الحرارة والتبخر والجفاف.

وبرزت المنطقة التي اتصفت تربتها بملاءمة منخفضة للتربة الريحية شمال شرق ووسط المحافظة بمديريات ماوية ودمنة وخدير والتعزية، حيث تتصف التربة بقوام خشن وعمق وتقشر أقل، وتماسك حبيبات التربة بسبب كثافة الأمطار، وارتفاع رطوبة التربة، وكثافة الغطاء النباتي، وانخفاض درجات الحرارة والتبخر والجفاف.

- Detection of Optically Thin Mineral Dust Aerosol Layers over the Ocean Using MODIS, *JAAOT* .30:896-916.
- Ciren, P., and S. Kondragunta. 2014. Dust aerosol index algorithm for MODIS, *JGR:A*. 119: 4470- 4792.
- Guo, B., F. Zhang, G. Yang, F. Sun, and L. Jiang. 2017. Improved estimation method of soil wind erosion based on remote sensing and geographic information system in the Xinjiang Uygur Autonomous Region, *CGNH and Risk*. 8(2): 1752–1767.
- Haghighi, S., D. Akhzari, B. Attaeian, and B. Gonbad. 2018. The effect of drought in the source area of dust storms on vegetation change (case study: western parts of Iran), *ERR*. 6 (2): 195-200.
- Heidarian, P., A. Azhdari, M. Joudaki, J. Khatooni, and S. DuFiroozjaei. 2018. Integrating Remote Sensing, GIS, and Sediment logy Techniques for Identifying Dust Storm Sources: A Case Study in Khuzestan, Iran, *JISRS*. 2: 1-15.
- Holdt, J.R., F. D. Eckardt, and G. F. S. Wiggs. 2017. Landsat identifies Aeolian dust emission dynamics at the landform scale, *RSE*. 198: 229–243.
- Justice, C. O., J. R. G. Townshen, B. Holben, and C. J. Tucker. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *JIRS*. 6(8): 1271- 1318.
- Katra, I. 2020. Soil Erosion by Wind and Dust Emission in Semi-Arid Soils Due to Agricultural Activities, *Agronomy*. 10 (89): 2-10.
- Kazem, M. 2012. Monitoring of dust storms using antenna satellites, *Proceedings of the First Conference on Dust Storms and Their Environmental Effects - Causes and Treatments*.
- Laura, A., D. Oro, E. Daniel, and E. Buschiazzo. 2009. Threshold wind velocity as an index of soil susceptibility to wind erosion under variable climatic conditions, *LD and D*. 20: 14-21.
- Mezosi, G., V. Blanka, T. Bata, F. Kovacs, and B. Meyer. 2012. Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary. *Sci*. 15: 97–107.
- Mfondoum, A., J. Etouna, B. Nongsi, F. Moto, and F. Deussieu. 2016. Assessment of Land Degradation Status and Its Impact in Arid and Semi-Arid Areas by Correlating Spectral and Principal Component Analysis Neo-Bands, *IJARS and GIS*.5(2): 1539-1560.
- NASA, Space Image Archive, *MODES Teraa 1KM*, 12 satellite images, spatial resolution, 450 m, for a month 1-12 / 2019.
- NASA, Digital Earth Climate Data, 2019, spatial resolution of 0.25-0.50°.
- NASA, Digital Earth Surface Data, 2016, Spatial Resolution 0.008°.
- Prachi, M and K. Pravin. 2014. detection and monitoring of two dust storm events by multispectral MODIS images, *JER and D*. 8(04): 974-982.
- Raissouni, A., L. K. Issa, M. Maatouk, and R. Passalacqua. 2012. GIS-Based Model to Assess Erosion Sensitivity in Northern Morocco. *Laou Watershed Case Study*, *IJG*. 3: 610-626.
- Rezaei, M., A. Sameni, S. Shamsi, and H. Bartholomeus. 2016. Remote sensing of land use/cover changes and its effect on wind erosion potential in southern Iran., *PeerJ*. 4:1-24.
- Reynold, R., J. Yount, M. Reheis, and H. Goldstein. 2007. Dust Emission from Wet and Dry Playas in the Mojave Desert, USA, *ESP and Landforms*. 32: 1811-1827.
- Saadoud, S., M. Hassani, F. Peinado, and M. Guettouche. 2018. Application of fuzzy logic approach for wind erosion hazard mapping in Laghout region (Algeria) using remote sensing and GIS, *AR*. 32: 24-34.
- Samadi, S., A. Bolorani, S. K. Alavipanah, H. Mohamadi, and M. S. Najafi. 2014. Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection, *JEHS & E*. 12: 12-20.
- Shahrisvand, M and M. Akhoondzadeh. 2014. A comparison of empirical and intelligent methods for dust detection using MODIS satellite data, *IAP, RSSIS*. XL-1/W3: 371-375.
- Shi, P. and P. Yan. 2004. Wind erosion research in China: past, present and future, *PPG*. 28:

- 366–386.
- Sinclair, S.N., and S. L. Jones. 2017. Subjective Mapping of Dust-Emission Sources by Using MODIS Imagery, U.S. Army (ERDC), (CRREL), 72 Lyme Road, Hanover, NH 03755-1290.
- Taghavi, F., E. Ovlad, and S. A. Ackerman. 2017. Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations, *JES. Sci.* 126: 1-28.
- Taramelli, M, M. Pasqui, D. Kirschbaum, L. Bottai, C. Busillo, F. Calastrini, F. Guarnieri, and C. Small . 2012. Spatial and temporal dust source variability in northern China identified using advanced remote sensing analysis. *ESPL* .38(8):. 1-17.
- US Geological Survey, OLI Space Visuals, 30 m Accuracy, The Space Shuttle Landsat 8, 30, 8, 2019.
- Yue, Y., Shi, P., Zou, X., Ye, X., Zhu, A., and Wang, J 2015. The measurement of wind erosion through field survey and remote sensing: a case study of the Mu Us Desert, China, *Natural Hazards*. 76(3): 1-18.
- Webb, N. P, M. Pasqui, D. Kirschbaum, L. Bottai, C. Busillo, F. Calastrini, F. Guarnieri, and C. Small. 2017. Enhancing Wind Erosion Monitoring and Assessment for U.S. Rangelands. 39(3–4): 85-96.