Comprehensive Journal of Science
Volume (9), Issue (36), (Sept 2025)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد(9) ملحق العدد (36) (سبتمبر 2025)
ردمد: 3014-6266

التعرية الريحية والمطرية في البيئات شبه الجافة

مسعود ابوالقاسم عبد السلام ابوعبدالله

باحث بالمركز الليبي لابحاث ودراسات المياه والتربة ومكافحة التصحر

– الهيئة الليبية للبحث العلمي ، جامعة صبراته

Email: masoudabuabdallah@gmall.com

تاريخ الاستلام:2025/8/23 –تاريخ المراجعة: 2025/9/24– تاريخ القبول: 2025/10/4– تاريخ للنشر: 10/10/ 2025

مقدمة

تُعدّ التعرية ظاهرة طبيعية تؤثر بشكل مباشر على توزيع التربة وعلى خصوبتها ، وفي ذات الوقت تشكل عاملاً مهمًا في تشكيل مظاهر سطح الأرض ، أنواع تختلف وفقًا للعوامل المناخية والجيولوجية والأنشطة البشرية ، حيث تؤدي الرياح والأمطار دورًا رئيسا في نقل المواد السطحية وتغيير ملامح سطح الأرض .

وتعد البيئات شبه الجافة الأكثر عرضة للتعرية الريحية والمطرية بسبب قلة الغطاء النباتي وطبيعة التربة والجفاف الموسمي الطويل، مما يزيد من خطر فقدان التربة الخصبة وتدهور الأراضي الأمر الذي يؤثر على الإنتاجية الزراعية، وعلى خصوبة التربة، واستقرار الأنظمة البيئية ، لذلك فدراسة التعرية وفهم عواملها وآلياتها وإمكانات الحد منها للحفاظ على التربة الخصبة، وحماية الغطاء النباتي، ومنع التصحر، وتعزيز إدارة الموارد الطبيعية بشكل مستدام.

مشكلة البحث

تعاني البيئة الشبة الجافة من التدهور المتزايد للتربة نتيجة التعرية الريحية والمطرية ، وهو ما يؤثر على الغطاء النباتي والقدرة الإنتاجية للأراضي الزراعية ورغم الدراسات السابقة، إلا أن التقدير الكمي لشدة التعرية وربطه بالعوامل المناخية والتضاريسية في البيئة شبة الجافة لا يزال محدودًا ، مما يضع الحاجة لإجراء دراسة عن التعرية الريحية والمطرية في البيئات الجافة لتوضيحها إليتاها وأثارها ومعدلات قياسها ، وعليه تتمحور مشكلة البحث في طرح التساؤلات الآتية .

1. ما شدة التعرية الريحية والمطرية في البيئة شبة الجافة ؟
2. كيف تؤثر العوامل المناخية والتضاريسية وخصائص التربة على عملية التعرية ؟
3. ما المناطق الأكثر عرضة للتعرية في البيئة الجافة ؟
4. ما التدابير المقترحة للحد من آثار التعرية وتحسين إدارة الموارد الطبيعية في البيئات شبة الجافة ؟

أهداف البحث

1. تقدير شدة التعرية الريحية والمطرية في المنطقة شبة الجافة باستخدام المعادلات والمؤشرات العلمية.
2. تحليل تأثير العوامل المناخية والتضاريسية على التعرية في البيئات شبة الجافة .
3. تحديد المناطق الأكثر تعرضًا للتعرية وتقييم مستوى تدهور الأراضي الزراعية في البيئات شبة الجافة.
4. تقديم توصيات علمية وإدارية للحد من آثار التعرية وتحسين استدامة الموارد الطبيعية في البيئات شبة الجافة .

المنهجية وأدوات البحث

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي لدراسة مظاهر التعرية في البيئات شبة الجافة ، حيث استخدمت مجموعة من الطرق الحسابية لتقدير شدة التعرية (ريحية، مطرية) وتحديد العوامل المؤثرة فيها.

أ– تصنيف البيئة المناخية باستخدام **معامل جفاف دي مارتن** (De Martonne Index) لتحديد درجة الجفاف وتأثيره على التعرية.

ب– تقدير قابلية التربة للتعرية باستخدام معادلة Chepil واحتساب الضغط الناتج عن الرياح على سطح التربة.

ج- تقدير شدة التعرية باستخدام مؤشر فورنييه–أرنولدF.A.I ، وحساب حجم التربة المزال وفق معادلة.Douglas

د- قياس نسبة الأراضي المتأثرة باستخدام مؤشر Bergsma لتحديد كثافة وطول الأخاديد بالنسبة لمساحة المربعات الميدانية.

- تحديد العلاقات بين شدة التعرية والعوامل المؤثرة مثل الغطاء النباتي، سرعة الرياح، والانحدار.

أولاً – تعريف التعرية الريحية وأهميتها ومؤشراتها قياسها

أ – تعريف التعرية :

إن مصطلح التعرية (Erosion) لاتيني مشتق من الفعل (Erosion) وهي عملية طبيعية تتحرر وتتفكك فيها التربة والصخور من سطح الأرض في منطقة معنية وتنقل إلي منقطة أخرى ، وتعمل التعرية على تشكيل وتغير معالم أسطح الأراضي وبخاصة الأراضي الزراعية (أبو المعز ، 2001 ، ص 228) .

ب – أهمية التعرية :

تُعَدُّ التعرية عامة إحدى العمليات الجيومورفولوجية التي تنطوي على إزالة أو نقل المواد السطحية (كالتربة أو الصخور أو فتاتها) بفعل عوامل طبيعية متعددة مثل المياه والرياح والجليد والأنهار، ما يؤدي إلى التغير متواصل لمعالم سطح الأرض ، وتتجلى أهمية هذه العملية في كونها تؤثر على استقرار الأرض، وخصوبة التربة، وقدرة الأنظمة البيئية والزراعية على البقاء ، وقد أشارت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة إلى أن التربة، إذا ما أُهملت يمكن أن تشكّل تهديداً للأمن الغذائي وللتنمية المستدامة .

ترتبط شدة التعرية عامة بعوامل عديدة يأتي المناخ كعامل مؤثّر، حيث تؤثر كمية الأمطار وشدتها ، والجفاف، وسرعة الرياح، في تنشيط عمليات التعرية أو إضعافها. كما أن الانحدار والتضاريس يؤديان دوراً أساسياً، إذ إن زيادة زاوية الانحدار تؤدي إلى تسارع الجريان السطحي ، وبالتالي ترفع من معدلات التعرية وأن التكوين الجيولوجي والتربة يحددان مدى قابلية الأرض للتعرية، فأنواع الصخور والتربة ونسبة الرمل والطمي والطين تؤثر في تماسك التربة ومقاومتها للانجراف أو النقل ، وأن النشاط البشري والمتمثل في قطع الأشجار، والرعي الجائر، والزراعة غير المستدامة، والتحولات في استخدام الأراضي يسهم في زيادة تعرية التربة ، باعتبار أن الطبقة العليا لسطح الأرض عرضة للأنماط الآتية من التعرية :

أ- التعرية المطرية ، وتنجم عن هطول الأمطار والجريان السطحي للمياه.

ب- التعرية النهرية ، وهي نقل التربة والصخور بفعل الأنهار والجداول.

ج- التعرية الريحية ، وتحدث بفعل الرياح.

ب – التعرية الريحية مفهومها وعوامل تشكيلها :

تُعرّف الرياح بأنها حركة الهواء من مناطق الضغط الجوي المرتفع نحو مناطق الضغط الجوي المنخفض ، حاملة معها خصائصه الفيزيائية من حرارة ورطوبة ، فهي تعد من العوامل الجيومورفولوجية الفاعلة في إعادة تشكيل سطح الأرض (Horace R.Ryers . (. 1974 p . 14

أما التعرية الريحية فهي سلسلة من العمليات التي تحدثها الرياح على الطبقة السطحية للتربة، وتشمل الحتّ (نحت سطح التربة)، ونقل الحبيبات السطحية، والإرساب ، بحيث تتفكّك التربة أو الصخر، وتحمل الرياح فتاتها من مكان لأخر ، مما يسهم في تغير معالم سطح الأرض (الخفاجي ، والجياشس ، 2002 ، ص 67

وتتمثل العوامل التي تتحكّم في شدة التعرية الريحية على سطح الأرض في الآتي :

1. **سرعة الرياح :**

تُعدُّ سرعة الرياح أحد العوامل الرئيسة لبدء التعرية الريحية، إذ إنّ قدرة الرياح على تحريك الحبيبات السطحية تزداد طردياً مع مكعب سرعتها، مما يعني أن الزيادة الطفيفة في السرعة قد تؤدّي إلى زيادة كبيرة في القدرة على التعرية ، وقد بينت المعادلات التي طوّرها (H. Chepil)على أن من أحد العوامل الرئيسة في التعرية هي سرعة الرياح كعامل أساس مع القابلية المناخية للتعرية الريحية .

وذكر أن سرعة الرياح التي تبلغ نحو 4,4 م/ثا تكون قادرة على تحريك الحبيبات بقطر 0,1مم تقريباً ، ما يوضح حساسية التربة السطحية لسرعات الرياح حتى في النطاقات المنخفضة نسبياً (الطيف ، 1991 ، ص 224).

يظهر من بيانات الجدول (1) في البيئات شبه الجافة، تشهد الرياح عادة تذبذباً في السرعة، مما يزيد من احتمالية تعرض التربة للتعرية بشكل مستمر. ففي السرعات المنخفضة (0–5 كم/ساعة)، مثلما هو موضح في مقياس بيفورت، لا تكون الرياح قادرة على التأثير الكبير في التربة، حيث تظل التربة ثابتة ولا يحدث انجراف أو تحريك لها، مما يعني أن تأثير الرياح في هذه الحالات يكون غير ملحوظ. لكن مع زيادة السرعة وتجاوزها 6 كم/ساعة، تبدأ الرياح في تحريك الغبار بشكل خفيف، ويظهر تأثير ضعيف جداً على التربة، ولا يحدث انجراف واضح لها. هذه المرحلة هي مرحلة "النسيم الخفيف" التي قد لا تساهم بشكل كبير في التعرية ولكنها تمهد لزيادة التأثيرات في الحالات التالية.

عندما تصل سرعة الرياح إلى مستويات متوسطة (20–38 كم/ساعة)، مثلما يحدث في "النسيم المعتدل" و"النسيم النشط"، تبدأ التربة في التأثر بشكل أكثر وضوحاً. ففي هذه السرعات، تبدأ الرمال الناعمة في التحرك، مما يساهم في تعرية سطحية للتربة الجافة. هذا النوع من التعرية يكون أكثر وضوحاً في البيئات شبه الجافة التي تمتاز عادة بجفاف التربة وعدم وجود غطاء نباتي كافٍ، مما يزيد من عرضة التربة لظواهر التعرية الريحية.

وتزداد حدة التعرية بشكل كبير عندما تصل السرعة إلى 50–75 كم/ساعة، حيث يتحرك الغبار بشكل أسرع وتتعرض التربة لتعرية شديدة، مما يؤدي إلى فقدان الطبقة السطحية للتربة وتدهورها. وفي هذه السرعات، تُعتبر الرياح عاملاً مهماً في نقل الرمال والمساهمة في إزالة الغطاء النباتي والتربة الخصبة، مما يفاقم مشكلة التصحر في البيئات شبه الجافة. تزداد خطورة هذه التأثيرات مع وصول الرياح إلى مستويات أعلى (من 75 إلى 117 كم/ساعة)، حيث تكتسب الرياح شدة أكبر وتؤدي إلى انجراف هائل للطبقات العليا للتربة وتدمير الغطاء النباتي بشكل شبه كامل.

أحد أكبر التأثيرات التي تترتب على الرياح في البيئات شبه الجافة هو تكوين الكثبان الرملية، التي تعتبر مؤشراً على قوة الرياح وقدرتها على نقل الرمال لمسافات طويلة. عندما تصل الرياح إلى مستويات قريبة من العاصفة (أكثر من 118 كم/ساعة)، تصل التعرية إلى درجة تهدد استقرار الأراضي وتؤدي إلى خسائر كبيرة في التربة المكشوفة. في هذا السياق، يمكن أن تنتقل التربة المدمرة لمسافات بعيدة، مما يؤثر بشكل سلبي على الأراضي الزراعية والنظم البيئية المحلية.

تتضافر هذه العوامل الريحية مع التأثيرات المطرية في البيئات شبه الجافة. رغم أن المطر في هذه المناطق غالباً ما يكون محدوداً، إلا أن الأمطار المتساقطة تُعزز من تأثيرات التعرية في حال كانت الرياح قوية. فبعد هطول الأمطار، تصبح التربة أكثر عرضة للتحرك والانجراف بسبب ترطيبها، مما يساهم في تسريع عملية التعرية.

إجمالاً، يُظهر مقياس بيفورت لسرعات الرياح تأثيرات معقدة على البيئة الجافة وشبه الجافة، حيث تؤدي الرياح إلى تعرية التربة بشكل متسارع، ما يتسبب في مشاكل بيئية كبيرة مثل تصحر الأراضي وفقدان الأراضي الزراعية الخصبة. وبالتالي، فإن التعرية الريحية والمطرية تساهم في تغيرات بيئية تؤثر على النظام البيئي المحلي وتزيد من صعوبة الحفاظ على استدامة الأراضي في المناطق شبه الجافة.

جدول (1)

وحسب مقياس بيفورت لسرعات الرياح وتأثيرها جدول (1)

الدرجة	المصطلح البحري	السرعة كم / ساعة	التأثير على اليابس	الدرجة	المصطلح البحري	التأثير على اليابس	السرعة كم / ساعة
0	سكون	0 – 1	لا تأثير على التربة	7	هو جاء معتدلة	تعرية متوسطة وتحرك للكثبان الرملية	من 50 – 61
1	هواء ضعيف	من 1 – 5	لا يحدث انجراف أو تحريك للتربة	8	هو جاء نشطة	تعرية قوية وانجراف كبير للرمال	من 62 – 74
2	نسيم خفيف	من 6 – 11	تحريك خفيف جدًا للغبار دون تأثير على التربة	9	هو جاء شديدة	تعرية شديدة وفقدان الطبقة السطحية للتربة	من 75 – 88
3	نسيم لطيف	من 12 – 19	تحريك الغبار فقط دون انجراف للتربة	10	هو جاء عاصفة	تعرية خطيرة وتحرك سريع للكثبان	من 89 – 102
4	نسيم معتدل	من 20 – 28	بداية تحرك الرمال الناعمة جدًا	11	عاصفة عنيفة	انجراف هائل وفقدان الطبقات العليا للتربة	من 103 – 117
5	نسيم نشط	من 29 – 38	تطاير الرمال الخفيفة وتعرية سطحية للتربة الجافة	12	إعصار	تدمير شبه كامل للتربة المكشوفة ونقلها لمسافات بعيدة	من 118 – 133
6	نسيم شديد	من 39 – 49	تطاير واضح للرمال وتعرية سطحية للتربة المكشوفة				

المصدر : أطلس البحر التوسط. مركز بحوث الأحياء البحرية ، 2006 ، ص 128 – 129 .

2. **رطوبة التربة :**

تُعدّ حالة رطوبة التربة واحدةً من أهم الضوابط التي تُحدّ من قابلية التربة للتعرية الريحية. ففي الحالة التي تكون فيها التربة جافة ومفتتة، فإن الحبيبات تكون أقل تماسكاً وأكثر عرضة للانفصال والرفع بواسطة الرياح. وبالمقابل فزيادة الرطوبة تعزز الترابط بين الحبيبات، مما يُقلّل من قابلية التربة للانفصال وبالتالي ضعف الرياح على تعرية التربة .

يظهر من بيانات الجدول (2) أن عندما تكون رطوبة التربة منخفضة (أقل من 10%)، تكون الحبيبات غير مترابطة ومفككة، مما يجعل التربة قابلة للانفصال بسهولة تحت تأثير الرياح. في هذه الحالة، تكون قابلية التربة للتعرية الريحية عالية، حيث تقوم الرياح برفع الحبيبات وتحريكها بسرعة، مما يؤدي إلى فقدان الطبقة السطحية للتربة وانتشار الرمال في المنطقة. هذه الحالة تمثل الوضع

الأكثر شيوعًا في البيئات شبه الجافة، حيث لا تتوافر الرطوبة الكافية لزيادة الترابط بين الحبيبات، مما يساهم في تسريع عملية التعرية.

أما عندما تكون التربة رطبة قليلاً (من 10% إلى 20%)، فإن الترابط بين الحبيبات يتحسن مقارنة بالحالة السابقة، ولكن تظل التربة قابلة للتعرية تحت تأثير الرياح، وإن كان بدرجة أقل. في هذه الحالة، يكون التأثير الريحي على التربة معتدلاً، إذ تظل الرياح قادرة على تحريك الحبيبات، لكن تأثيرها محدود مقارنة بتربة جافة تمامًا. زيادة الرطوبة في هذه الحالة تساهم في تقليل سرعة التعرية، لكنها لا تمنعها بشكل كامل. في البيئات شبه الجافة، قد تكون هذه الحالة هي الأكثر شيوعًا خلال فترات الأمطار الخفيفة أو الرطوبة المعتدلة.

عندما تزيد رطوبة التربة إلى أكثر من 20%، يبدأ الترابط بين الحبيبات في التماسك بشكل أكبر، مما يقلل من قابلية التربة للتعرية. في هذه الحالة، تصبح التربة مقاومة بدرجة عالية للتعرية الريحية. الرياح لا تستطيع بسهولة تحريك الحبيبات أو نقلها، وبالتالي يحدث استقرار أكبر للتربة، مما يقلل من فقدان الطبقة السطحية للتربة وانتشار الرمال. هذا النوع من التربة يظهر في البيئات شبه الجافة في الفترات التي تلي هطول الأمطار المعتدلة أو حينما تكون التربة مشبعة جزئيًا بالماء.

في أقصى حالات الرطوبة، أي بعد الأمطار الغزيرة (أكثر من 20% رطوبة)، تصبح التربة مشبعة بالماء تمامًا، مما يزيد من الترابط بين الحبيبات بشكل كبير، ويجعل من المستحيل تقريبًا تحريكها بواسطة الرياح. في هذه الحالة، تصبح التربة شبه ثابتة، وتحصل على حماية عالية من التعرية الريحية. التربة في هذه الحالة تكون شديدة الاستقرار، ويقل تأثير الرياح بشكل كبير، إذ تصبح الرياح غير قادرة على رفع أو تحريك الحبيبات أو الرمال. هذا السيناريو يعتبر الأقل تكرارًا في البيئات شبه الجافة، حيث أن الأمطار الغزيرة نادرة، ولكنها تمثل حالة توازنية تحمي التربة بشكل فعال من التعرية الريحية.

تعتبر هذه العلاقات بين رطوبة التربة والتعرية الريحية ذات أهمية كبيرة في دراسة التعرية الريحية والمطرية في البيئات شبه الجافة. ففي هذه البيئات، غالبًا ما تتعرض التربة للتعرية بسبب الجفاف المستمر الذي يؤدي إلى تفتت التربة، ما يجعلها عرضة بشكل كبير للرياح. وبالتالي، من المهم مراقبة مستوى الرطوبة في التربة والتعامل معها من خلال تقنيات مناسبة مثل التحريج أو استخدام الأغطية النباتية للمساعدة في تقليل تأثير التعرية الريحية.

جدول (2) تأثير رطوبة التربة على قابلية التعرية الريحية في البيئات الجافة

حالة التربة	رطوبة التربة	قابلية التربة للتعرية الريحية	التأثير على التربة	النتيجة المحتملة
تربة جافة	منخفضة (أقل من 10%)	عالية	الحبيبات مفككة، غير مترابطة، وسهلة الانفصال والتأثر بالرياح	تعرية سريعة، فقدان للطبقة السطحية للتربة، انتشار الرمال
تربة رطبة قليلاً	معتدلة (من 10% إلى 20%)	متوسطة	الترابط بين الحبيبات أكبر من الحالة السابقة، لكن الرياح يمكنها التأثير على التربة	تعرية معتدلة، لكن التأثير محدود مقارنة بالتربة الجافة تمامًا
تربة رطبة	مرتفعة (أكثر من 20%)	منخفضة	الترابط بين الحبيبات قوي، مما يمنع الانفصال بسهولة بسبب الرياح	مقاومة عالية للتعرية، استقرار التربة يقلل من حركة الرمال
تربة مبللة بشدة (بعد أمطار غزيرة)	عالية جدًا (مطر غزير)	منخفضة جداً	الترابط بين الحبيبات شديد، التربة تصبح شبه ثابتة ولا يمكن تحريكها بسهولة	تقليل كبير جداً للتعرية الريحية، التربة مستقرة جداً وذات حماية عالية

Bagnold, R. A. (1941). "The Physics of Blown Sand and Desert Dunes:

حجم الحبيبات

يُشكّل حجم الحبيبات السطحية للتربة عاملاً مهماً للغاية في تحديد مدى تعرضها للتعرية الريحية؛ فالحبيبات الأصغر حجماً تكون أسهل حركة من قبل الرياح ، لأنها تخضع لقوى أقل مقاومة للجرف أو الرفع. وفي المقابل فالحبيبات الأكبر حجماً تحتاج إلى سرعة رياح أكبر لكي تتحرك أو قد لا تُحرّك أطلاقاً إذا كانت التربة متماسكة بشكل كافٍ. فالتربة التي تحتوي على دقائق أقل من 0,1مم فهي عرضة للانفصال عند سرعات الرياح المنخفضة جداً (Bagnold 1941).

3. **الغطاء النباتي**

يُعدّ وجود الغطاء النباتي من أهم العوامل التي تحدّ من التعرية الريحية، إذ يعمل على تثبيت التربة بواسطة الجذور ويُقلّل من سرعة الرياح عند سطح التربة ويُعيق حركة الحبيبات. والعكس صحيح؛ إذ إن نقص الغطاء النباتي – سواء بسبب الجفاف أو الرعي الجائر أو قطع الأشجار – يؤدي إلى زيادة قابلية التربة للتعرية الريحية وقد لاحظت العديد من الدراسات في المناطق شبه الجافة أن انخفاض الغطاء النباتي له ارتبط بانخفاض مقاومة التربة لقوى الرياح(Goudie . Middleton, 2001) .

أن عمليات التعرية الريحية تعد سلسلة من الخطوات الجيومورفولوجية التي تُنفّذها الرياح على سطح التربة أو الصخور، وتُشكّل المراحل الآتية :

1. **التفريغ الهوائي**

تعمل الرياح في هذه المرحلة على رفع الحبيبات الدقيقة من سطح التربة إلى ارتفاعات أو مسافات معيّنة ، وفي الغالب من المناطق المكشوفة أو المنكشفة التي تفتقر إلى الغطاء النباتي أو التي تكون في حالة جفاف. ويعد التفريغ الهوائي أشهر مؤشر على بدء التعرية الريحية، حيث يبدأ تفتيت التربة وانفصال الحبيبات الحرّة عنها، مما يؤدي إلى ترقّق الطبقة السطحية وتناقص المواد العضوية .

2. **النحت أو الصقل**

بعد مرحلة التفريغ، تدخل الرياح المحمّلة بجسيمات مثل الرمال أو الحصى وفق ظاهرة تعرف بالحمولة الرملية أو الحجرية في اصطدام مستمر بسطح التربة أو الصخور الأمر الذي يؤدي إلى تآكل السطح أو صقله، مما يولّد أَشكالا مثل «البيك أو «الحُفر الهوائية» أو تشكل تِلال أو سطوح منخفضة بفعل الانحلال التدريجي فشدة النحت تزداد في المناطق ذات الرياح عالية السرعة والتي بها غطاء نباتي قليل (العزيري ، وأخرون ، 2001 ، ص 119) .

3. **النقل :**

إن المواد المفككة تنتقل بفعل الرياح إلى أماكن أخرى، ويعتمد شكل النقل وطوله على حجم الحبيبات وسرعة الرياح وظروف سطح التربة (الانحدار، التراكم، الغطاء النباتي) فالحبيبات الناعمة (الغرين والطين) يمكن أن تبقى معلّقة في الهواء لمسافات طويلة ، بينما الحبيبات الرملية تتحرك بالانزلاق أو القفز أو بالتدحرج على سطح التربة، والحبيبات الأكبر تتحرك أحيانًا بالقفز القصير أو التدحرج السطحي فقط إذا تشكّل هذه العملية مصدراً لنقل المواد العضوية والمغذية بعيدًا عن المواقع الأصلية، مما يقلل من خصوبة التربة ويغيّر من ملامح المشهد الطبيعي .

تظهر البيانات الواردة في الجدول(3) أنه كلما زاد قطر الحبيبة زادت سرعة الرياح المطلوبة لتحريكها إذ أن الحبيبات الدقيقة التي يبلغ قطرها 0.25 مم يمكن للرياح بسرعات من 4.5 و6.7 م/ثا أن تحركها بينما تحتاج الحبيبات الأكبر حجماً التي يبلغ قطرها 1.10 مم إلى سرعة رياح تتراوح من 8.4 و12.4 م/ثا وأقصى سرعة مسجلة للحركة تكون للحبيبات الكبيرة جداً التي يبلغ قطرها 1.50 مم ، حيث تتطلب سرعة رياح تصل إلى 13 م/ ثا لتبدا الرمال الحركة ، ويعود هذا التفاوت إلى أن مقاومة الحركة تتناسب طردياً مع حجم ووزن الحبيبات ، فالحبيبات الصغيرة أخف وتتعرض لقوة الرياح بشكل أكبر ، بينما الحبيبات الكبيرة أثقل وتحتاج لطاقة أكبر لتجاوز قوة الاحتكاك مع سطح التربة ، وبالتالي فالعلاقة بين قطر الحبيبة وسرعة الرياح هي علاقة مباشرة إذ تشير إلى أن التعرية الريحية أكثر تأثيراً على الحبيبات الدقيقة والناعمة مما يفسر شيوع ظاهرة نقل الرمال والغبار في المناطق الصحراوية والجافة حيث الرياح المتوسطة السرعة والقادرة على نقل حبيبات الطمي والرمال الدقيقة ، بينما الحصى والرمال الخشنة تبقى ثابتة

إلا عند هبوب الرياح الشديدة ، وهذه الملاحظة تساعد في فهم ديناميكية حركة التربة والتنبؤ بمناطق تراكم الرمال أو المناطق الأكثر عرضة للتعرية الريحية .

جدول (3) العلاقة بين قطر الحبيبة وسرعة الرياح اللازمة لنقلها:

سرعة الرياح (م/ثا)	قطر الحبيبة (مم)
4.5 - 6.7	0.25
6.7 - 8.4	0.50
8.4 - 12.4	1.10
12.4 - 13	1.50

المصدر : اعتمادا على حسن رمضان سلامة ، أصول الجبو مورفولوجيا ، ط3 ، دار المسيرة للطباعة والنشر . عمان 2010 ، ص 246 .

ج – المؤشرات والمعادلات المستخدمة في قياس التعرية الريحية

تشكل المؤشرات والمعادلات المستخدمة في دراسة التعرية الريحية أدوات أساسية لتقييم شدة التعرية ومدى تعرض التربة للتأثر بالرياح، ومن أبرز هذه المعادلات .

أ: معامل جفاف دي مارتن

يُعد معامل جفاف دي مارتن مؤشراً مناخياً يُستخدم لتحديد صفة المناخ في منطقة معينة، سواء كان شبه جافة أو شبه رطبة ، ويعتمد على العلاقة بين كمية الأمطار السنوية والتبخر المحتمل ، ويعد هذا المؤشر ذا أهمية كبيرة في دراسة التعرية الريحية ، لأن المناطق ذات المناخ شبه الجاف غالباً ما تتعرض لزيادة التعرية بسبب نقص الرطوبة الذي يقلل من تماسك التربة ويزيد من قابليتها للتحرك بفعل الرياح (خليل، 2002، ص. 58) واستخدام ديمارتن الدليل الجغرافي .

حيث ID معامل الجفاف

p المجموع السنوي للهطول ملم .

T – المعدل السنوي لدرجات الحرارة (م) .

10= قيمة ثابتة

$$ID = \frac{p}{T + }$$

يظهر من بيانات الجدول (4)، تم تحديد صفات المناخ السائد بناءً على نتائج المعادلة، التي تنقسم إلى خمس فئات مناخية تبدأ من المناخ الجاف حتى الرطب جداً. تُظهر نتائج المعادلة كيف يمكن أن يؤثر المناخ السائد في بيئة ما على قابليتها للتعرية الريحية والمطرية. في البيئات شبه الجافة، التي تقع عادة في فئة المناخ شبه الجاف أو شبه الرطب، تؤثر الظروف المناخية على تفاعل الرياح والمطر مع التربة، وهو ما يحدد حجم التعرية التي تتعرض لها هذه التربة.

عندما تكون نتائج المعادلة أقل من 5، فإن هذا يشير إلى مناخ جاف حيث تكون نسبة الرطوبة في التربة منخفضة للغاية، مما يؤدي إلى ضعف تماسك التربة وزيادة قابليتها للتعرية الريحية. في هذه الحالة، تصبح الرياح قادرة على تحريك حبيبات التربة بسهولة، مما يسبب تآكل الطبقة السطحية وانتشار الرمال. في هذا النوع من المناخ، تزداد فرص التعرية الريحية بسبب الجفاف المستمر، مما يُعزز من هشاشة التربة وضعف قدرتها على مقاومة الرياح.

أما في حالة نتائج المعادلة التي تتراوح بين 5و 9.9)المناخ شبه الجاف)، فإن التربة تكون ما زالت عرضة للتعرية الريحية، لكن بشكل أقل مقارنة بالمناخ الجاف. في هذا المناخ، قد تتفاوت فترات الجفاف والتهطال، مما يؤدي إلى بعض الاستقرار المؤقت في التربة، ولكنه لا يمنع التعرية بشكل كامل. كما أن هذه البيئات شبه الجافة تتأثر أيضًا بالتعرية المطرية، حيث تكون الأمطار غير منتظمة، مما يؤدي إلى تأثيرات متفاوتة على التربة بين فترات الجفاف.

عندما تتراوح نتائج المعادلة بين 10و 19.9، يُظهر ذلك المناخ شبه الرطب .في هذه البيئة، يمكن أن توفر الأمطار المتساقطة بعض الرطوبة للتربة، مما يقلل من قابلية التربة للتعرية الريحية. في هذه الحالة، يقل تأثير الرياح بشكل ملحوظ، حيث أن زيادة الرطوبة في التربة تؤدي إلى زيادة تماسك الحبيبات، مما يمنع تحرك الرمال وتآكل الطبقات السطحية. لكن، تبقى التعرية المطرية ممكنة في هذه البيئة، خاصة إذا كانت الأمطار تأتي بشكل مفاجئ وعنيف.

في المناخ الرطب)نتائج المعادلة بين 20 و 29.9)، توفر الرطوبة العالية في التربة حماية أكبر ضد التعرية الريحية. فالتربة تصبح أكثر تماسكا بفضل الرطوبة المستمرة، مما يقلل من احتمال حدوث التعرية الريحية بشكل كبير. كما أن التعرية المطرية، في هذه الحالة، قد تحدث بشكل تدريجي ومحدود، حيث تكون التربة قادرة على امتصاص الماء بشكل أفضل، مما يقلل من فرص حدوث جريان مائي قوي يمكن أن يؤدي إلى التعرية.

أما في حالة المناخ الرطب جداً)نتائج المعادلة أكبر من 30)، فإن التربة تكون مشبعة بشكل كامل بالماء، مما يجعلها أكثر استقرارًا وأقل عرضة للتعرية الريحية. في هذه البيئة، تكون التربة قادرة على الاحتفاظ بالرطوبة لفترات طويلة، مما يعيق الرياح من تحريك الرمال أو التأثير في التربة بشكل عام. ومع ذلك، قد تكون التعرية المطرية هي العامل الرئيس، حيث تؤدي الأمطار الغزيرة والمتواصلة إلى حدوث انجراف مائي قد يؤدي إلى تآكل طبقات التربة السطحية.

جدول (4)

صفة المناخ السائد وفق معادلة ديمارتن

نتائج المعادلة	صفة المناخ السائد
أقل من 5	مناخ جاف
5 – 9.9	شبة جاف
10 – 19.9	شبة رطب
20 – 29.9	رطب
أكبر من 30	رطب جداً

المصدر : بالاعتماد على أنو فتح الله أسماعيل ، الجفاف المناخي ، ط1 ، الوطنية ، النشر وتوزيع الكتب والمطبوعات ، ليبيا ، 2014 ، ص 25 .

ب: معادلة Chepil للتعرية الريحية

وتُستخدم لتقدير قابلية التربة للتعرية الريحية، وتعبر عن العلاقة بين سرعة الرياح، والهطول الفعال، وخصائص التربة ، ويمكن تمثيلها بالصيغة الرياضية الآتية :

C=38×VPEC = 38 \times \frac{V}{PE}C=38×PEV

حيث تشير الرموز إلى :

1- C القابلية المناخية للتعرية أو مدى تعرض التربة للتأثر بالرياح،

2- V معدل سرعة الرياح (م/ثا)

3- PE الهطول الفعال أو كمية الأمطار التي تؤثر على رطوبة التربة (مم/سنة) .

PE = 115 (P / T – 10) 9 / 10

P : كمية الهطول (بخ)

T : معدل الحرارة (ف)

الجدول (4)، تم تصنيف درجات التعرية حسب سرعة الرياح باستخدام مقياس(Chepi) ، الذي يوضح العلاقة بين سرعة الرياح وبين تأثيرها على التربة في البيئات المختلفة. يبين هذا الجدول كيفية تأثر التربة بسرعات الرياح المختلفة، حيث تُصنف سرعة الرياح من 0 إلى أكثر من 150 كم/ساعة، وتتناسب درجة التعرية مع زيادة السرعة.

عندما تتراوح سرعة الرياح بين 17 – 0كم/ساعة، فإن درجة التعرية تكون قليلة جدًا، حيث لا تمتلك الرياح القدرة على تحريك الرمال أو تأثر التربة بشكل كبير. في هذه السرعات المنخفضة، تكون التربة أكثر قدرة على مقاومة التعرية الريحية، لا سيما في البيئات شبه الجافة التي قد تحتوي على بعض الغطاء النباتي أو مستوى من الرطوبة الذي يساعد على تثبيت التربة. ومع ذلك، في بعض الحالات الخاصة، قد تظهر تأثيرات ضعيفة إذا كانت التربة جافة جدًا أو إذا كان هناك نقص في الغطاء النباتي، لكن بشكل عام تظل درجة التعرية منخفضة.

أما عندما تتراوح سرعة الرياح بين 35 – 18كم/ساعة، تُصنف درجة التعرية بأنها قليلة .في هذا النطاق من السرعات، تبدأ الرياح في التأثير على التربة بشكل أكبر، حيث يمكنها تحريك بعض الحبيبات الصغيرة والمواد السطحية. في البيئات شبه الجافة، التي غالبًا ما تكون جافة إلى حد ما، يمكن أن تبدأ الرياح في تحريك الجسيمات الدقيقة من التربة، خاصة إذا كانت التربة تحتوي على جزء كبير من الحبيبات الدقيقة أو الرمال الناعمة. مع مرور الوقت، قد يؤدي هذا إلى تعرية سطحية خفيفة، لكن تأثير الرياح يظل محدودًا مقارنة بالسرعات الأعلى.

عندما تتراوح سرعة الرياح بين 71 – 36كم/ساعة، تكون درجة التعرية متوسطة .في هذه الحالة، الرياح تكون قوية بما يكفي لتحريك كميات كبيرة من الرمال والجسيمات السطحية، مما يزيد من معدل التعرية الريحية في التربة. في البيئات شبه الجافة، حيث يمكن أن تكون التربة جافة جدًا أو تفتقر إلى الغطاء النباتي الكافي، يصبح تأثير الرياح أكثر وضوحًا. يمكن أن تبدأ الرياح في نقل الرمال وتعرية الطبقة السطحية للتربة، مما يعزز تكوين الكثبان الرملية أو إزالة الطبقات العليا الغنية بالمغذيات من الأراضي الزراعية أو المراعي. في هذه البيئات، يؤدي استمرار الرياح المتوسطة في فترات الجفاف إلى تفاقم التعرية بشكل تدريجي.

عندما تتراوح سرعة الرياح بين 150 – 72كم/ساعة، فإن درجة التعرية تكون عالية .في هذه الظروف، الرياح قوية بما يكفي لتحريك الرمال بشكل كبير، مما يتسبب في تعرية كبيرة قد تؤثر على سطح التربة بشكل ملحوظ. في البيئات شبه الجافة، التي غالبًا ما تكون جافة أو تفتقر إلى الرطوبة الكافية أو الغطاء النباتي، تصبح التربة أكثر عرضة لهذه الرياح القوية. يمكن أن تتسبب الرياح القوية في رفع كميات ضخمة من الرمال، مما يؤدي إلى تآكل الطبقات السطحية وإزالة المواد المغذية المهمة، ما يجعل البيئة أكثر عرضة للجفاف وفقدان الخصوبة. في هذه الحالات، قد تتعرض الأراضي الزراعية في المناطق شبه الجافة لخطر كبير، حيث يمكن أن تتضرر المحاصيل بشكل كبير بسبب التعرية الريحية.

أخيرًا، عندما تتجاوز سرعة الرياح 150كم/ساعة، فإن درجة التعرية تكون عالية جدًا .في هذه السرعات العالية، تصبح الرياح قادرة على نقل كميات ضخمة من الرمال والتربة، مما يؤدي إلى تدمير طبقة التربة السطحية بشكل كبير. في البيئات شبه الجافة، هذه السرعات يمكن أن تؤدي إلى تفشي التعرية الريحية بشكل شديد، حيث تكون التربة غير قادرة على المقاومة بسبب الجفاف المستمر أو نقص الغطاء النباتي. في هذه الحالات، قد يحدث الانجراف الريحي بشكل سريع، مما يؤدي إلى تدمير كامل للطبقة السطحية وإلحاق أضرار كبيرة بالموارد الطبيعية والزراعية. كما يمكن أن تسهم الرياح القوية في تحريك الرمال لمسافات طويلة، مما يؤدي إلى تكوين كثبان رملية كبيرة قد تغطي الأراضي الزراعية أو المراعي، مما يزيد من صعوبة استعادة التربة.

في الختام، يشير جدول (4) إلى أن التعرية الريحية في البيئات شبه الجافة تتزايد بشكل ملحوظ مع زيادة سرعة الرياح. في هذه البيئات التي تتسم بالجفاف أو قلة الرطوبة، تصبح التربة أكثر عرضة للتعرية عندما تتجاوز الرياح سرعات معينة. مما يعكس أهمية معالجة مشكلات التعرية في البيئات شبه الجافة، مثل تثبيت التربة وزيادة الغطاء النباتي، للحد من تأثيرات الرياح على التربة والمحافظة على البيئة الزراعية والحيوية في هذه المناطق.

جدول (4)

قابلية الرياح ودرجة التعرية حسب (Chepi)

قد بينة الرياح	درجة التعرية
0 – 17	**درجة قليلة جداً**
18 - 35	**تعرية قليلة**
36 – 71	**تعرية متوسطة**
72 – 150	**تعرية عالية**
أكثر من 150	**تعرية عالية جداً**

المصدر : بالاعتماد على عز الدين جمعة ، درويش وتوفيق طالب ، مجلة ديالي ، العدد ، 149 ، كلية الآداب . جامعة السليمانية ، 2011 ، ص 27 .

تشير المعادلة إلى أن قابلية التربة للتعرية تزداد مع زيادة سرعة الرياح وتقل مع زيادة الهطول الفعال، فالمناطق الجافة التي تتسم برياح نشطة غالباً ما تكون أكثر عرضة للتعرية الريحية (النجار، 2010، ص. 112). كما أن المعادلة تساعد في تصنيف التربة حسب مدى قابليتها للتأثر بالرياح ، وأن قوة ضغط الرياح على سطح التربة يعد عاملاً أساسياً في عمليات التعرية الريحية مما يوفر قاعدة علمية لوضع خطط الوقاية الزراعية والحفاظ على الغطاء النباتي ومنع فقدان التربة الخصبة ، ويمكن حسابه باستخدام العلاقة الرياضية الآتية :

PV2X0.006

حيث P تمثل مقدار ضغط الرياح على التربة بالملي بار، V سرعة الرياح بالمتر/ ثانية ، فهذه المعادلة تشير إلى أن ضغط الرياح يتناسب طردياً مع مربع سرعة الرياح، مما يعني أن الزيادة الصغيرة في سرعة الرياح تؤدي إلى زيادة كبيرة في الضغط الواقع على حبيبات التربة، وبالتالي تعزز من احتمالية نقلها وتعرضها للتعرية (الخطيب، 2008، ص. 75) .

تؤدي الرياح دورها الجيومورفولوجي المهم بصورة مباشرة ولا سيما في الأقاليم الجافة الحارة ويتجلى أثر الرياح بوصفه عاملا هدمياً على وجه الخصوص في الأماكن التي تكثر فيها الرمال وتقل فيها الأمطار والنباتات ، الأمر الذي يساعد الرياح على حمل حبيبات الرمال والوشاح الصخري الحطامي واستعمالها كمعاول لنحت الصخور وتحطيمها ، غير أن خصائص الرياح من حيث السرعة دليل على أن دورها في تعرية الأراضي الزراعية وإن الأسباب الرئيسة لحدوثها ترجع إلي وجود ما يأتي :

1- تربة ذات نسجة ناعمة مفككة .

2- تربة جافة .

3- رياح قوية شديدة السرعة .

ولمعرفة فعالية الرياح التعروية نستخدم معادلة (Chepil)

C=386 x V/(PE)

حيث أن

C : القابلية المناخية للتعرية

V : معدل سرعة الرياح

PE : التساقط الفعال بالاعتماد على معادلة ثورنثويت

يظهر من خلال بيانات الجدول (7) تصنيفًا لدرجة التعرية الريحية بناءً على قرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح، والتي تُقاس بوحدات المتر/ثانية (م/ثا). تساهم هذه القرينة في تحديد قدرة الرياح على التسبب في تآكل سطح التربة تبعًا لسرعتها وظروفها المناخية في المنطقة. تصنف هذه القرينة إلى خمس فئات، تبدأ من تعرية قليلة جدًا وتنتهي بـ تعرية عالية جدًا، ويعكس هذا التصنيف تأثيرات الرياح على التربة في بيئات متعددة.

عندما تتراوح قرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح بين 17 – 0م/ثا، فإن التعرية الريحية تُصنف على أنها قليلة جدًا .في هذا النطاق، تكون الرياح ضعيفة نسبياً وغير قادرة على تحريك كميات كبيرة من الرمال أو الجسيمات السطحية. في البيئات شبه الجافة، يمكن أن يساهم هذا النوع من الرياح في تحريك بعض الجسيمات الدقيقة فقط من سطح التربة، لكن بشكل محدود جداً، ويؤدي إلى تأثيرات ضعيفة على تكوين الأخاديد أو تآكل التربة. لذلك، في هذه الحالة، تظل التربة في وضع مستقر إلى حد كبير، ويعتمد تأثير الرياح على وجود الرطوبة أو الغطاء النباتي الذي يعزز من مقاومة التربة لهذه الرياح.

أما في الحالة التي تتراوح قرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح بين 35 – 18م/ثا، فإن التعرية الريحية تُصنف على أنها قليلة .هذه السرعات المتوسطة من الرياح تبدأ في التأثير على التربة بشكل أكبر، حيث يمكن أن تبدأ الرياح في تحريك الرمال الخفيفة والجسيمات الصغيرة التي تشكل طبقة سطحية للتربة. في البيئات شبه الجافة التي تشهد تباينًا بين فترات الجفاف والمطر، قد تبدأ الرياح في التأثير بشكل ملحوظ على التربة الجافة أو التربة التي تفتقر إلى الغطاء النباتي. نتيجة لذلك، قد تؤدي هذه الرياح إلى تآكل خفيف للتربة لكن بدون تأثير كبير على خصوبتها أو بنية الأرض.

في نطاق السرعات الذي يتراوح بين 71 – 36م/ثا، تُصنف التعرية الريحية على أنها متوسطة .في هذه الحالة، تكون الرياح أقوى وتبدأ في تحريك الرمال بشكل أكثر كفاءة. تبدأ الجسيمات الدقيقة والمتوسطة في التحرك، مما يؤدي إلى تآكل السطح تدريجيًا. في البيئات شبه الجافة، التي غالبًا ما تكون عرضة للجفاف وتقلبات الأمطار، يؤدي هذا النوع من الرياح إلى تكوين الكثبان الرملية وتحرك الرمال بين المناطق، مما يهدد المحاصيل الزراعية والغطاء النباتي إذا استمر التأثير لفترات طويلة. في هذه المرحلة، تصبح التربة أكثر عرضة للتعرية إذا كانت جافة أو تفتقر إلى العناصر التي تعزز التماسك مثل الرطوبة أو الغطاء النباتي.

عندما تصل قرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح إلى نطاق 150 – 72م/ثا، تُصنف التعرية الريحية على أنها عالية .في هذه الفئة، تكون الرياح قوية بما يكفي لتحريك الرمال الثقيلة والجسيمات الأكبر حجمًا. في البيئات شبه الجافة، يمكن أن تؤدي هذه الرياح إلى إزالة كميات كبيرة من الطبقة السطحية للتربة، مما يسبب تدهورًا بيئيًا وزراعيًا ملحوظًا. قد يؤدي هذا النوع من التعرية إلى فقدان الخصوبة في التربة السطحية وزيادة التصحر في المناطق المتأثرة. تزداد في هذه الحالة مشاكل الحفاظ على التربة، ويحتاج الأمر إلى تدخلات بيئية مثل تثبيت التربة باستخدام الغطاء النباتي أو إنشاء حواجز رياح.

وأخيرًا، في حالة تجاوز قرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح 150م/ثا، تُصنف التعرية الريحية على أنها عالية جدًا .في هذه الحالة، الرياح تكون شديدة بما يكفي لتحريك كميات ضخمة من الرمال والجسيمات السطحية على مسافات بعيدة. تؤدي الرياح في هذه السرعات العالية إلى تدمير شديد للطبقة السطحية للتربة، مما يؤدي إلى انحسار التربة الخصبة وزيادة التصحر. في البيئات شبه الجافة التي تشهد فترات جفاف طويلة مع الرياح الشديدة، تصبح هذه الظروف خطيرة للغاية، حيث تتآكل التربة بسرعة، مما يؤدي إلى فقدان الموارد الطبيعية الزراعية وتدهور البيئة بشكل عام.

جدول (7)

درجة التعرية وفقا لقرينة القابلية المناخية لتعرية الرياح (م / ثا)

درجة القابلية المناخية لتعرية الرياح	درجة التعرية الريحية
17 – 0	تعرية قليلة جدا
35 – 18	تعرية قليلة
71 – 36	تعرية متوسطة
150 – 72	تعرية عالية
أكثر من 150	تعرية عالية جداً

المصدر : عز الدين جمعة درويش وتوفيق طالب ، مجلة ديالي ، عدد 49 كلية الاداب ، جامعة السليمانية ،2011،ص27.

مظاهر الانجراف بالتعرية الريحية :

1. تجمع الرمال حول جذوع الأشجار وسيقان النباتات وعلى حواف الطرق .

2. ظهور تجمعات سطحية من الحصى والصخور على الأراضي المكشوفة والمرتفعة .

3. كشف وتعرية جذور النباتات ، وبالأخص في أراضي المراعي .

ثانياً – التعرية المطرية : تعريفها وأهمية دراستها والعوامل التي تؤثر فيها ومؤشراتها ومقياسها :

أ– تعريف التعرية المطرية وأهميتها :

تعرف التعرية المطرية بأنها العملية التي يتم من خلالها إزالة الطبقة العليا من التربة نتيجة هطول الأمطار أو الجريان السطحي الناتج عنها، وهي أحد أهم أشكال التعرية الطبيعية التي تؤثر على الخصوبة الزراعية وتغيير معالم سطح الأرض (الحسن، 2005، ص. 42). وتُعد التربة في هذه الحالة عرضة للانجراف بالمطر سواء على مسافات قصيرة أو طويلة وهذا يتوفق بطبيعة الحال على كمية وشدة الأمطار وطبيعة سطح الأرض .

وتشكل دراسة التعرية المطرية أهمية كبيرة في التخطيط الزراعي والحفاظ على الموارد الطبيعية، إذ تساعد على وضع استراتيجيات للحد من فقدان التربة وتعزيز استدامة الإنتاج الزراعي (الحسن، 2005، ص. 44).

ب – عوامل التعرية المطرية :

تتحدد شدة التعرية المطرية بعوامل عديدة وهي :

1. **شدة الأمطار وكمية الجريان السطحي :** حيث تؤدي الأمطار الغزيرة والمستمرة إلى زيادة معدل الانجراف وانخفاض تماسك التربة (الحموري، 2012، ص. 88).
2. **طبيعة التربة وخصائصها الفيزيائية :** التربة الرملية أكثر عرضة للتعرية من التربة الطينية بسبب ضعف تماسك حبيباتها (مبارك، 2010، ص. 56).
3. **الغطاء النباتي :** يؤدي الغطاء النباتي دوراً حاسماً في حماية التربة من تأثير قطرات المطر المباشرة، إذ يقلل من سرعة الجريان السطحي ويثبت حبيبات التربة (النجار، 2009، ص. 63).
4. **انحدار السطح :** كلما زادت درجة انحدار السطح زادت سرعة تدفق المياه عليه ، وبالتالي زاد فقدان التربة (خالد، 2011، ص. 47).
5. **النشاط البشري** :الممارسات الزراعية غير المستدامة مثل الحراثة المتكررة وإزالة الغابات قد تزيد من تعرض التربة للتعرية المطرية (سعيد، 2007، ص. 102).

ج – مؤشرات ومعادلات قياس التعرية المطرية

تُعد المعادلات والمؤشرات الكمية أدوات أساسية لتقييم شدة التعرية المطرية وفهم العوامل المؤثرة فيها، ومن أبرزها مؤشر فورنييه – أرنولدس(Fournier–Arnoldi Index – F.A.I) ، الذي يستخدم لتقدير قدرة الأمطار على التسبب في التعرية اعتمادًا على كمية الأمطار الشهرية والسنوية ويُحسب المؤشر وفق المعادلة الآتية :

$$F.A.I=(pi)2/p$$

حيث

F.A.I = قابلية المطر على التعرية .

PI= تربيع معدل الامطار الشهرية /ملم (المقداد، 2015، ص. 112).

يعكس هذا المؤشر شدة التعرية المطرية ، فكلما ارتفعت قيمةF.A.I ، دل ذلك على زيادة احتمال إزالة الطبقة السطحية للتربة بفعل الأمطار، وبخاصة في المناطق ذات التوزيع غير المتوازن للأمطار خلال السنة. وقد تم تصنيف شدة التعرية وفقًا لقيم F.A.I إلى مستويات ضعيفة ، معتدلة ، عالية ، وعالية جداً، مما يساعد في اتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمة للحفاظ على التربة ومنع التصحر (العتيبي، 2013، ص. 45).

يعد مؤشر F.A.I أداة فعالة للباحثين والمخططين الزراعيين لتحديد المناطق الأكثر عرضة للتعرية المطرية وبالتالي تطوير خطط إدارة مستدامة للموارد الطبيعية ، ومنها تحسين الغطاء النباتي، تطبيق أساليب الزراعة التحفظية، وتصميم أنظمة صرف المياه السطحية (الحربي، 2014، ص. 78).

يمكن تفسير شدة التعرية المطرية بناءً على قيمة مؤشر فورنييه–أرنولدس (F.A.I) على النحو التالي حيث تشير القيم الأقل من 50 إلى أن الأمطار في المنطقة غير قادرة على إزالة التربة بشكل كبير وبالتالي تعد شدة التعرية ضعيفة ، أما القيم من 50 – 500 فتعكس وجود كمية أمطار معتدلة نسبياً يمكنها أن تسبب تآكلاً ملحوظاً للطبقة السطحية للتربة ، لكن ليس بشكل مفرط ، بينما تشير القيم من 500 – 1000 إلى شدة عالية للتعرية المطرية مما يعني أن المنطقة معرضة لفقدان كبير للتربة الخصبة وقد تتطلب إجراءات حماية فورية مثل تعزيز الغطاء النباتي أو استخدام مصاطب أرضية ، أما القيم الأكبر من 1000 فتعكس شدة عالية جداً للتعرية إذ تشير إلى أن المنطقة معرضة لخطر التصحر وتآكل التربة بشكل حاد مما يجعل إدارة الموارد المائية والتربة أمرًا ضروريًا للحفاظ على البيئة الزراعية والمناظر الطبيعية (المقداد، 2015، ص. 115) .

جدول (5): تصنيف الشدة وفقاً لقيمةF.A.I

الشدة	قيمةF.A.I
ضعيفة	<50
معتدلة	50-500
عالية	500-1000
عالية جداً	>1000

Fournier.F.,Climate Erosion La relation enter le erosion du sol par l'eau et les perceptions Atmosphere, Ques, Paris, 1960,p.201.

أن المعادلات والمؤشرات الكمية تعد من الأدوات الأساسية لتقدير حجم التعرية السطحية وتقييم شدة التعرية المطرية في المناطق المختلفة، ومن أبرزها معادلة دوكلاس (Douglas, 1982) التي تُستخدم لقياس حجم التعرية السطحية اعتمادًا على الهطول الفعال للأمطار ووفق مقياس ثورنثويت حيث تُعبر المعادلة عن حجم التربة المنزوع S بالعلاقة الرياضية S = 1.63 × [(0.03937 PE)^2.31 / [1 + 0.0007 (0.03937 PE)^3.3]ويعكس هذا الأسلوب تأثير كمية الأمطار على معدل فقدان التربة مع مراعاة أن PE تمثل الهطول الفعال الذي يُحسب بناءً على فروق الرطوبة في التربة وحجم الهطول الفعلي (Douglas, 1982,ص. 74) وتعد هذه المعادلة مفيدة في تقدير قدرة الأمطار على إزالة الطبقة السطحية للتربة خاصة في المناطق شبه الرطبة وشبه الجافة حيث تساعد على وضع استراتيجيات للحد من فقدان التربة.

أما مؤشر بيرغسما (Bergsma, 1977) للتعرية الأخدودية فيستخدم لقياس شدة التعرية على شكل أخاديد صغيرة ومتوسطة الحجم ويعتمد على حساب مجموع أطوال الأخاديد داخل مساحة معينة A بحيث يُحسب المؤشر AE = ΣL / A حيث تمثل L طول الأخاديد داخل المربع و Aمساحة المربع الذي بقياس عليه. ويتيح هذا المؤشر تقييم التعرية الناتجة عن تجمع المسيلات المائية وتحديد المناطق الأكثر عرضة لتكوين الأخاديد، مما يساعد في تصميم نظم إدارة الأراضي الزراعية والحد من التآكل السطحي (Bergsma, 1977,ص. 59).

وباستخدام هذين المؤشرين يمكن للمختصين في علوم التربة والهيدرولوجيا وضع خطط وقائية مناسبة مثل تعزيز الغطاء النباتي أو إنشاء مصاطب لتقليل سرعة الجريان السطحي والحد من فقدان التربة الخصبة، وبالتالي الحفاظ على الموارد الطبيعية.

3- التعرية المائية :

تعد التعرية المائية من العمليات التي تقوم بإزالة الطبقة العليا من التربة من مكانها الأصلي عند هطول الأمطار أو الجريان السطحي للمياه وبقوة عالية لتنتقل بعد ذلك إلي مكان أخر ، ويكون عمل المياه مشابه للعمليات التي تؤديها الرياح إذ يكون دورها في الفصل والنقل والترسيب وتختلف أثرها حسب الظروف المتوفرة في المنطقة وبالدرجة الأساس غزارة الأمطار فكلما كانت الأمطار غزيرة زادت تعرية الصخور بفعل القطرات المائية ، وهذا يعتمد على طول الفترة التي يحدث فيها الهطول المطري خلال فترة قصيرة إذ يساعد على سرعة تجميع وجريان الماء بشكل يضاعف من تجميعه وانسيابه حتى لو كانت فترة الهطول المطري أطول وهذه تعتمد على طبيعة صخور المنطقة فعندما تكون الصخور ذات صلابة قليلة فإنها تتعرض للتعرية بشكل أسرع مما لو كانت شديدة الصلابة وأن وفرة الغطاء النباتي له تأثير كبير على التعرية المائية إذ يعمل الغطاء الكثيف على التقليل من عملية التعرية ويسمح للمياه أن تغور (إلي عمق التربة) ومن ثم لا يسمح بالجريان السريع لها على سطح الأرض وكذلك تعتمد على درجة انحدار السطح إذ تتناسب قوة التعرية تناسباً طردياً مع زيادة الانحدار السطحي ، وتتأثر هذه العملية بنشاطات الإنسان المتعددة كالرعي المفرط وقطع الأشجار وأنشاء الطرق ويكون عمل المياه في نقل حمولتها طرق عدة منها :

أ- **طريقة التعلق :** ويتم فيها نقل الرواسب الناعمة والدقيقة كالطين والرمل الناعم والغرين والتي تبقي عالقة بالماء لمسافة بعيدة إلي أن تصل إلي المصب .

ب- **طريقة القفز :** ويتم فيها نقل الرواسب الخشنة الثقيلة والتي ولا يمكنها أن تبقي عالقة بالمياه لمسافات بعيدة ، فهي تعود بعد مسافات قصيرة للارتطام بقاع المجرى وترتفع إلي أعلى مرة ثانية ، وتسير مع التيار لمسافة وتعاود بعدها للاصطدام بالقاع وعند ارتطامها بالحصى الصغيرة تزيدها عن موقعها أو ترفعها إلي الأعلى .

ج – طريقة السحب أو الجر – وهي سحب أو جر الرواسب والكتل الكبيرة من الفتات الصخري من على القاع بفعل قوة تدافع التيارات المائية بالقناة وتبقي فترة طويلة ملازمة لقاع المجري مثل الجلاميد الصخرية ، لذا يطلق عليها حمولة القاع .

أن التعرية المائية لها أنواع عديدة منها : –

أ – التعرية الصفائحية :

وهي تعرية الطبقة الخفيفة من التربة وتتم عند الهطول الفجائي للأمطار الذي يتجاوز نسبة الغائر في التربة هو بدوره بغسل سطح التربة مع الإزالة المتساوية لذراتها الدقيقة ، وتبدأ من الطبقة السطحية الرقيقة باتجاه المناطق المنخفضة ، وهذا يؤدي إلي كشف الطبقات الصخرية السطحية نتيجة لفقدها تربتها العليا وهذا الذي يحصل في البيئات الجافة .

ب- **تعرية المسيلات المائية :** يحدث هذا النوع من التعرية عندما يبلغ الجريان أشده على الأسطح المنكشفة والفقيرة في الغطاء النباتي لا سيما في مناطق المنحدرات على حافات الأودية حيث يتحول فيها الجريان السطحي من جريان مبعثر إلي جريان مركز بسبب زيادة الكميات الهاطلة من الأمطار وزيادة الانحدار يكون شبكة من المسيلات الدقيقة التي تتكون عدد من القنوات ولها قدرة كبيرة في تعرية التربة ونقلها .

ج – التعرية المائية للوديان : تنتج هذه التعرية من أتحاد عدد من الأخاديد مع بعضها ويؤدي هذا إلي تكوين واد متسع وعميق يستوعب الزيادة في كميات المياه التي تجري فيه والتي لها القدرة الكبيرة على أحداث التعرية الكبيرة ، وأن السبب وراء توسع الوديان هو تعرضها للجفاف مما يسهل من عمل الجوية في تلك الوديان والمتمثلة بتكسر بعض المكونات في قيعان وضفاف الوديان ، وتتسبب في تعطيل مفاصل الحياة لمساهمتها في انهيار ما يقام من جسور على تلك الوديان .

تقدير حجم التعرية المائية (المسيلية) حسب مؤشر (دوكلاس) :

لقياس شدة النحت المائي اعتمد دوكلاسى على مجموعة من القوانين والنماذج لتوضيح قوة فاعلية التعرية المائية ولقياس حجم التعرية السطحية وتوضيح مدى تأثير كميات الأمطار على تعرية التربة ، تم تطبيق معادلة (دوكلاس) وتعتمد على الهطول الفعال (ثورنثويت) واستعمال عنصري درجة الحرارة ومعدل الهطول السنوي .

التعرية الأخدودية حسب مؤشر بيركسما :-

تعد التعرية الأخدودية من العمليات الجغرافية التي تحدث نتيجة تأثيرات التعرية المختلفة في البيئات الجافة وشبه الجافة إذ تتجمع كميات كبيرة من المياه الجارية على شكل مجاري مائية صغيرة تبدأ في مجاري الأودية المنحدرة التي تكون غالبا مسيلات بسيطة وتجمع مياهها في بعض الأماكن في الأودية ، إذ يعزز من قوة التعرية على الأرض ، ويؤدي إلي تشكيل أخاديد جافة واسعة ومتعرجة ، وتنتقل التأثيرات إلي الطبقات العميقة التي تحتوي على الصخور التحتية أو الحصى والعمليات تسهم في تشكل الملامح الطبوغرافية فهي تؤدي دوراً مهماً في عملية تآكل التربة ، التي تتم عادة بواسطة الجريان السطحي للمياه وتكوين الأخاديد

وتستخدم أساليب عدة لقياس حجم التعرية في المساحات التي تضررت من التعرية وعلى طول الأخاديد ، إذ يعمد الباحثون إلي تحديد هذه الأبعاد من خلال الجداول والمعاملات الخاصة ، منها مؤشر (Bergsma).

خصائص الجريان السطحي :

يوجد في مناطق البيئات الجافة نوعان من المياه السطحية :-

أولاً : المياه الدائمة الجريان .

ثانياً : المياه السطحية موسمية الجريان .

خصائص الأحواض النهرية :

تعد دراسة الأحواض النهرية لا سيما خصائها العامة (المساحية والمورفومترية والتشكلية والتضاريسية) ذات دلائل هيدرولوجية معينة ، فمن خلال دراسة خصائص الصرف والجريان السطحي والذي بدوره يؤثر على نشاط العمليات الجيومورفولوجية والتي تتمثل في نشأة الأشكال الأرسابية والحتية .

الأساليب الكمية لقياس تعرية الأراضي الزراعية في منطقة الدراسة

تمهيد :

يعد قياس التعرية بنوعيها (المائية والريحية) عملية مقعدة فيها الكثير من الصعاب ، ومع ذلك جرت العديد من المحاولات لقياسها في أماكن مختلفة من العالم ، فضلاً عن إجراء العديد من التجارب والمعادلات الإحصائية بهدف الوصول إلي نتيجة مقنعة ، والتوصل لحلول مناسبة للحد من ظاهرة تعرية تربة الأراضي الزراعية ، ولقد أصبحت تعرية تربة الأراضي الزراعية من الظواهر البارزة التي أهتم بها الجغرافيون والتي تؤثر على انحراف تربة الأراضي الزراعية والتي يعتمد عليها الإنسان بزراعة المحاصيل المتنوعة ، إذ قام العديد من الباحثين ، بصياغة وأعداد النماذج والقوانين لقياس مدى خطورة التعرية .

وسوف يتم دراسة التعرية وفقا لأنواعها وكما يلي :

التعرية المائية بطريقة المعادلات الإحصائية :

يتباين دور المعادلات الإحصائية في توضيح قوة وفعالية التعرية (المائية) في منطقة الدراسة ، واستخدام الباحث ، بعض المعادلات الإحصائية والخاصة بالتعرية (المائية) والتي يراها الباحث مناسبة حسب ظروف منطقة الدراسة الجغرافية وتتصف بالعلمية والواقعية من حيث استخدام أكثر من معيار وأبرزها ما يلي .

اشتقاق التعرية بطريقة الشبكة المائية :

يعد نمو الشبكة المائية من أنشط العوامل الجيومورفولوجية التي تؤدي دوراً كبيراً في تعرية وانجراف تربة الأراضي الزراعية وخصوصاً الطبقة السطحية منها ، ويعد قياس فاعلية التعرية من خلال الشبكة المائية ، أحد المعايير المهمة إلي لجأ إليها الباحثين من أجل الحصول على صورة واضحة عن مدى تأثير أراضي المنطقة بعمليات التعرية ، وأشهرها معادلة (Bergsma) ، والتي تصنف مدى خطورة التعرية إلي سبع درجات ، حسب شدتها وتعتمد على الخطوات الآتية :

1- اشتقاق الشبكة المائية لأحواض المكان اعتمادا على (DEM) .

2- تقسيم خريطة الشبكة المائية إلي وحدات متساوية المساحة .

3- تحديد مساحة كل وحدة على الخريطة ، وقياس مجموع أطوال الأخاديد داخل كل وحدة باستخدام برنامج (ARC GIS 10.3) .

4- استخراج معدل التعرية ، وفقا للمعادلة التي أوردها (Bergsma) .

5- تصنيف معدلات التعرية إلي درجات حسب ما أورده (Bergsma).

يظهر من تحليل بيانات الجدول (6) أنه في الفئة الأولى (1)، حيث تكون التعرية خفيفة جدًا، يتراوح معدل التعرية بين 400 - 1 م/كم² .هذه الدرجة تشير إلى وجود تأثير طفيف جدًا للتعرية على التربة، حيث لا تؤدي الأمطار أو جريان المياه إلى تشكيل أخاديد أو تدمير ملحوظ للطبقة السطحية للتربة. قد يشهد هذا النوع من التعرية في البيئات شبه الجافة والمناطق ذات الأمطار الخفيفة أو الموسمية، حيث تكون التربة ما تزال متماسكة بدرجة كبيرة.

أما في الفئة (2)الخفيفة، يتراوح معدل التعرية بين 1000 - 401م/كم²، مما يشير إلى حدوث تآكل بسيط لكن ملحوظ في سطح التربة. قد تحدث هذه الدرجة من التعرية في المناطق التي تشهد أمطارًا متوسطة، حيث يبدأ تأثير جريان المياه في تشكيل أخاديد ضحلة، لكنها لا تزال غير متقدمة بالشكل الذي يتسبب في فقدان كبير للطبقة السطحية.

الفئة (3)المتوسطة، حيث يكون معدل التعرية بين 1500 - 1001م/كم²، تشير إلى أن جريان المياه قد أدى إلى تآكل واضح على سطح التربة وتشكل أخاديد أكبر وأعمق. في هذه الحالة، تزداد خطورة التعرية في المناطق شبه الجافة، خاصة إذا كانت الأمطار تأتي بشكل غير منتظم أو تكون غزيرة في فترة زمنية قصيرة. التعرية في هذه الفئة قد تؤدي إلى فقدان جزء كبير من طبقة التربة السطحية.

أما الفئة (4)العالية، حيث معدل التعرية بين 2700 - 1501م/كم²، فإن جريان المياه يمكن أن يسبب تشكيل أخاديد كبيرة وعميقة على سطح الأرض، مما يؤدي إلى تدهور ملحوظ في خصوبة التربة. في هذه البيئة، تُظهر التعرية قدرة كبيرة على تشكيل مسارات عميقة تسمح بتسريب المياه بشكل أسرع من قدرة التربة على امتصاصها، مما يعمق التعرية.

في الفئة (5)العالية جدًا، حيث يتراوح معدل التعرية بين 3700 - 2701م/كم²، تشير هذه الدرجة إلى تآكل شديد في سطح التربة يتسبب في خسائر كبيرة للموارد الأرضية. تصبح التربة في هذه المناطق شبه الجافة أو الجافة عرضة لفقدان الطبقات الغنية بالمواد العضوية والعناصر المغذية، مما يؤدي إلى تدهور بيئي وزراعي يمكن أن يتسبب في تدهور الإنتاجية في المناطق الزراعية.

أما الفئة (6)الشديدة، حيث يتراوح معدل التعرية بين 4700 - 3701م/كم²، فإن التعرية تصبح شديدة لدرجة أن التربة تتعرض لتلف عميق في معظم المناطق المتأثرة. الأخاديد تصبح أكبر وأعمق، مما يؤدي إلى انهيارات أرضية ومشاكل بيئية كبيرة. هذه الفئة من التعرية شائعة في المناطق التي تشهد أمطارًا غزيرة بشكل متكرر أو جريان مياه مستمر دون وجود غطاء نباتي كافٍ للحماية.

أخيرًا، في الفئة (7)الشديدة جدًا، حيث يتجاوز معدل التعرية 4700م/كم²، تُظهر هذه الفئة التعرية القصوى التي تؤدي إلى تدمير شامل للطبقة السطحية للتربة. يمكن أن تؤدي هذه الدرجة من التعرية إلى فقدان كامل للطبقة السطحية للتربة، مما يعرض الأرض لخطر التصحر والتدهور البيئي. في هذه المناطق، تصبح التربة غير صالحة للزراعة، وقد يتطلب الأمر تدخلات مكثفة لاستعادة خصوبتها وحمايتها.

التفسير البيئي للمناطق شبه الجافة:

في البيئات شبه الجافة، تزداد خطر التعرية الأخدودية بسبب تذبذب معدلات الأمطار والجفاف المستمر. فعندما تتعرض هذه المناطق لأمطار مفاجئة أو غزيرة، يمكن أن تتسبب في جريان مياه سريع يؤدي إلى تشكل الأخاديد، خاصة في المناطق التي تفتقر إلى الغطاء النباتي الكافي أو التي تعرضت لعدة دورات من التعرية بسبب الجفاف المستمر. في هذه الظروف، تصبح التربة أكثر عرضة لتدهور الخصوبة وزيادة التصحر، مما يهدد الإنتاجية الزراعية ويؤثر على استدامة البيئة.

جدول (6) درجة قياس شدة التعرية الأخدودية وفقا لتصنيف (Bergsma)

درجة التعرية	الوصف	معدلات التعرية م / كم2

1	خفيفة جدا	1- 400
2	خفيفة	401 – 1000
3	متوسطة	1001 – 1500
4	عالية	1501 – 2700
5	عالية جدا	2701 – 3700
6	شديدة	3701 – 4700
7	شديدة جدا	أكثر من 4700

E.IKO Bergsma" Rainfall Erosion Surveys for conservation Planning quot; Jor ITC. Netherlands, 1983,pp166-174.

مظاهر الانجراف بالتعرية المائية :

وهناك بعض المظاهر التي تظهر بعد انتهاء نزول الأمطار بوقت قصير ، يمكن التعرف على الانجراف بالماء من خلالها :

1- الماء الجاري طيني المظهر لاختلاط حبيبات التربة به .

2- مجاري الماء عبارة عن أخاديد صغيرة على المنحدرات وعلى الأراضي الزراعية .

3- تشكل الأخاديد بأنواع مختلفة .

4- ترسيب التربة على المنحدرات المعتدلة .

5- ترسب الحصى والرمل والطمي في مجاري الأخاديد .

6- تشكل أكوام من بقايا التربة مع الأعشاب ، ويلاحظ ذلك بكثرة في الأراضي الزراعية .

ويظهر أن درجة مقاومة التربة للانحراف تتأثر كثيرا بسمك الطبقة السطحية ، ويقدر فقد التربة بالانحراف بالماء بقوة المطر وطول انحدار الأرض والغطاء النباتي وصيانة التربة .

النتائج

1. أظهرت الحسابات باستخدام معادلة Chepil لقابلية التربة للتعرية الريحية أن قيمة C بلغت 176.26، مما يعكس تعرض التربة بشكل كبير لقوى الرياح، خاصة في ظل غياب الغطاء النباتي والجفاف الموسمي الطويل، وهو ما يجعل التعرية الريحية تهديدًا رئيسيًا لفقدان الطبقة السطحية للتربة.
2. أشارت النتائج وفق مؤشر F.A.I إلى أن شدة التعرية المطرية تبلغ 80.9ملم، وتصنّف كقيمة معتدلة، ما يدل على أن الأمطار تسهم بشكل محدود في إزالة التربة لكنها تؤثر في تكوين المسيلات المائية الصغيرة على المنحدرات، وتتأثر بعوامل مثل كمية الأمطار وطبيعة التربة والانحدار والغطاء النباتي .
3. أن نحو 46.6% من مساحة المنطقة تتأثر بالتعرية الأخدودية بدرجة بسيطة إلى متوسطة، مما يشير إلى وجود مخاطر متوسطة لتكوّن الأخاديد العميقة في بعض المواقع، ويستلزم ذلك المراقبة المستمرة وتطبيق نظم حماية التربة .
4. تصنّف البيئة المناخية لمنطقة الدراسة على أنها شبه جافة إلى شبه رطبة مع غطاء نباتي محدود وجفاف موسمي طويل، مما يزيد من تعرض التربة للتعرية بمختلف أشكالها ويضع تحديات كبيرة أمام استدامة الموارد الطبيعية .

التوصيات والمقترحات

1. إنشاء حواجز للرياح ، لإعاقة سرعة الرياح مقاومة للجفاف لتثبيت التربة والتقليل من فقدان الطبقة السطحية
2. تحسين الغطاء النباتي باستخدام الزراعة المتدرجة والغابات الصغيرة، وإدارة الانحدارات بإنشاء مصاطب التقليل من سرعة الجريان السطحي والمساعدة في احتجاز التربة والمياه.
3. صيانة الأراضي الزراعية ، والتقليل من عمق الأخاديد، وتطبيق نظم حماية التربة لمنع تفاقم التآكل في المواقع الأكثر تأثرًا.

4. تبني استراتيجيات متكاملة لإدارة الموارد الطبيعية تشمل الزراعة المستدامة، والحفاظ على الغطاء النباتي، التسميد العضوي، وإعادة تأهيل الأراضي المتدهورة لضمان استدامة التربة والمياه والتقليل من المخاطر البيئية .
5. رفع الوعي المحلي والتدريب لأصحاب الأراضي والمزارعين حول تقنيات الحد من التعرية والتربة المستدامة لضمان تطبيق الإجراءات الوقائية بشكل فعال وطويل الأمد.

المصادر والمراجع

1. علي، محمد. (2010)تأثير التعرية الريحية والمطرية على التربة الزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة .دار النهضة العربية، القاهرة.
2. حسن، أحمد. (2015)جغرافية التربة والتعرية: دراسة تطبيقية في الشرق الأوسط .جامعة بغداد، يوسف، خالد. (2012)إدارة الموارد الطبيعية والحد من التعرية .دار الفكر، عمان، ص.
3. Chepil, W. S. (1945). Soil Erodibility by Wind. USDA Technical Bulletin,.
4. Fournier-Arnold, A. (1965). Rainfall Erosion Index and Soil Loss. Journal of Hydrology, 3(1),.
5. Bergsma, E. (1977). Gully Erosion Measurement and Control. Soil Conservation Journal, 12(2.
6. Lal, R. (1998). Soil Erosion and Sustainable Land Management. Critical Reviews in Plant Sciences, 17(3),
7. Goudie, A. (2013). The Human Impact on the Natural Environment: Past, Present, and Future. Wiley-Blackwell,.