

تأثير درجات الانحدار
وخصائص الأمطار
على تفكك التربة ونقلها
- حالة دراسية من جنوب
شرق سلانور - ماليزيا

د. صبري محمد حمدان*

E.mail: Saltoum@iugaza.edu.ps

* قسم الجغرافيا بكلية الآداب - الجامعة الإسلامية - غزة - فلسطين

تأثير درجات الانحدار وخصائص الأمطار على تفكك التربة ونقلها حاله دراسية من جنوب شرق سلانور - ماليزيا -

د. صبري محمد حمدان (المشهور بالتوم)

الملخص:

سبعة أجهزة معدلة عن جهاز أو فتجان مورجان Morgan's Cup وضعت في سبعة درجات انحدارية (2.5° - 17.5°)، لدراسة معدل تفكك التربة ونقلها في ظل ظروف طبيعية في منطقة استوائية على أرض الجامعة الوطنية الماليزية (اتحاد ماليزيا) ومن أهم النتائج التي أظهرتها الدراسة أن العلاقة موجبة (0.95) وذات دلالة إحصائية عالية 0.001 بين تفكك التربة ونقلها، وقد تأرجحت العلاقة بينهما بين الخطية والاسية وفقاً للمعادلتين (ص = أ + ب س) أو (ص = أ س ب). وترتبطان بعلاقة طردية وموجبة وذات دلالة عالية مع درجة انحدار السطح.

احتل المؤشر كثافة الأمطار لستين دقيقة (ك₆₀) المركز الأول بين مؤشرات الأمطار ارتباطاً وتحليلاً وتفسيراً في التباين مع كل من تفكك التربة ونقلها، بمتوسط معاملي تحديد 0.82، و0.76 على التوالي، وحل المؤشران مع و مع ك₆₀ على التوالي بعد المؤشر ك₆₀ في الأهمية بفارق بسيط، وقد ارتبطت معظم مؤشرات الأمطار بمعامل ارتباط كبير مع كل من معدل تفكك التربة ونقلها وقد كانت العلاقة (بين مؤشرات الأمطار وكل من تفكك التربة ونقلها) تتباين بين الخطية والاسية.

مصطلحات أساسية: درجات الانحدار، خصائص الأمطار، تفكك التربة.

The Effect of Slope, Rainfall Characteristics on Splash Detachment and Transport:

A Case study in Southeast Selangor, Malaysia

Dr. Sabry Al-Toum

Abstract:

Seven modified Morgan's Cups were fixed on seven slope degrees (2.5° to 17.5°). To study the rate of soil splash detachment and transport under natural conditions on tropical areas on the ground of the National University of Malaysia (UKM).

There is a positive (0.95) and significant relation (0.001) between soil detachment and transport. It rated between linear ($Y=a+bX$) and power equations ($Y=aX^b$). Both splash parameters correlated significantly (0.94) with slope steepness.

The best rainfall erosivity index with respective mean of coefficient of determination (r^2) is rainfall intensity for the maximum 60 min (I^{60}) 0.82, and 0.76 with soil splash detachment and transport respectively. The second and third erosivity indexes are rainfall amount (AM) and AI^{60} with small differences in r^2 about the first index.

There are high, positive and significant relationships between most rainfall erosivity indexes with both soil detachment and transport, and the relation between them was linear ($Y=a+bX$) and power equations ($Y=aX^b$).

Keywords: Effect of Slope, Rainfall Characteristics, Detachment and Transport.

المقدمة Introduction :

تعدّ تعرية قطرات المطر Rain splash erosion أولى عمليات التعرية المائية وصورها Water erosion، إذ تساهم بدور فعال في تكوين ناتج من التربة سهل الحركة على المنحدرات Slopes إلا أن دراستها في الحقل لم تلقَ اهتماماً عالمياً، وما زالت الدراسات التي أجريت في الحقل لدراساتها قليلة، وعلى العكس من ذلك كثرت الدراسات التي أجراها المهندسون الزراعيون والجيومورفولوجيون في المختبرات تحت ظروف قياسية سواء كان ذلك على صعيد التربة أو في سقوط الأمطار، لذلك ما دامت هذه الدراسات المخبرية لا تساندها دراسات حقلية ميدانية مفتوحة على متغيرات جغرافية مختلفة فإن نتائجها تظل موضع نقاش، وليس سهلاً أن تعمل أي علاقات متداخلة بين القوى المختلفة التي تؤدي في النهاية إلى تفكك التربة ونقلها بواسطة ارتطام قطرات المطر. ومن هنا تظهر الصعوبة في إمكانية صياغة نموذج تعرية قطرات المطر مثل المعادلة العالمية لانجراف التربة USLE Universal Soil Loss Equation، أو المعدلة عنها RUSLE، على الرغم من ذلك جرت محاولات لبناء نماذج خاصة بتناثر التربة مثل محاولات (Poesen, 1985) و (Dijk et al 2002) و (Gao et al 2003) و (Pietravalle et al 2001).

تهدف هذه الدراسة إلى :

1- فهم العلاقة بين كمية تفكك التربة ونقلها وواحد وثلاثون مؤشراً مشتقة من سجل الأمطار كمية الأمطار وكثافتها وطاقتها الحركية، لمعرفة أكثر هذه المؤشرات ارتباطاً وتفسيراً وتحديدها للاختلافات في كل من كمية تفكك التربة وتحديد، بالإضافة إلى معرفة نوع العلاقة الخطية التي تربطها مع هذه المؤشرات الواحد والثلاثين .

2- فهم العلاقة التي تربط بين كل من تفكك التربة وتحديد بواسطة ضربات قطرات المطر ودرجة الانحدار.

3- فهم العلاقة التي تربط كل من تفكك التربة ونقلها ببعضها البعض.

منطقة الدراسة The study area :

أجريت الدراسة على جزء من أراضي الجامعة الوطنية الماليزية (UKM) المعروفة باسم مربع ل، وتقع الجامعة الوطنية الماليزية في باني Bangi بولاية سلا نور - دار الإحسان Selangor D. E، والتي تبعد حوالي 35 كم إلى الجنوب الشرقي من العاصمة الفيدرالية كوالا لامبور Kuala Lumpur (شكل 1).

أساليب الدراسة The study methods :

استخدم جهاز أو فنجان مورجان Morgan's splash Cup بعد إدخال تعديلات معينة عليه، وذلك للملائمة للجهاز للظروف المدارية Tropical condition، ويتكون من اسطوانة داخلية Inner cylinder قطرها 10 سم وقد زيد طولها من 5 سم إلى 30 سم، ويحيط بها صينية خارجية Catching tray بقطر 30 سم، وترتفع حافتها إلى 10 سم، وتقسّمها لوحة معدنية إلى قسمين متساويين بارتفاع 10 سم، لمنع انتقال الماء أو التربة من قسم إلى آخر، ويبرز 5 سم من الأسطوانة الداخلية في متوسط الصينية الخارجية، ويبقى 25 سم أدنى الصينية الخارجية، وقد زيد هذا الطول حتى لا تحدث خلخلة في تربة الاسطوانة الداخلية أثناء عملية تفرغ التربة والماء من القسمين (السفلي والعلوي)، ولتسهيل انسياب المياه والتربة المتناثرة من كل قسم ثقت حافة الصينية الخارجية ثقبين، ثقب في كل قسم، ووضع به خرطوم مياه بطول 30 سم ليسهل انسكاب المياه الزائدة إلى وعاء بلاستيك بسعة لتر ومغطى بغطاء محكم، ولمنع دخول التربة المتناثرة من خارج الجهاز للدخول إلى الصينية الخارجية أو الأسطوانة الداخلية، فرشت منطقة الجهاز بقطعة بلاستيكية مقواة مربعة بطول ضلع حوالي 120 سم. (شكل 2 صورة 1)، وقد ثبتت سبعة أجهزة (محطات) في

منطقة الدراسة (جدول 1) يبين خصائص محطات الدراسة (صورة 2).

جمع البيانات وتحليلها وحسابها :

Data collection and analysis

التربة المتناثرة **Soil splashed** :

بعد كل عاصفة مطر أدت إلى تناثر تربة، كان يتم جمع التربة المتناثرة مع الماء من قسمي الصينية (العلوي والسفلي)، عن طريق سكب الماء إلى الوعاء الخارجي الخاص بكل قسم، ومنه إلى كيس بلاستيك مقوي كل علي انفراد، يجفف الماء ثم توزن التربة المتبقية لمعرفة وزن التربة المتناثرة في كل قسم إلى أقرب 0.0001 جرام، يحسب التناثر بمعرفة التربة المتجمعة في الحوض العلوي Upslope compartment فتسمى التربة المتناثرة باتجاه أعلى المنحدر Soil splash upslope، أما التربة المتجمعة في الحوض السفلي Downslope compartment وتسمى بالتربة المتناثرة باتجاه أسفل المنحدر Soil Splash downslope، ومجموع الاثني يعطي معدل تفكك التربة، وطرح التربة المتناثرة باتجاه أعلى المنحدر من التربة المتناثرة باتجاه أسفل المنحدر ويعطى صافي حركة التربة المنقولة بواسطة قطرات المطر.

خصائص التربة **Soil characteristics** :

لدراسة مدى مقاومة التربة لعوامل التعرية وخاصة قوة ضربات قطرات المطر، وهذا يعتمد على مجموعة من الخصائص، لذا أخذت من حول كل محطة ثلاث عينات من تربة وحللت لها الخصائص الآتية:

-الكثافة الظاهرة Bulk density استخدم جهاز أسطوانة التربة Soil Core لأخذ العينات حسب طريقة كل من (Smith & Foth (1984:37); Thomasson 1974:42

-المسامية Porosity جرى حسابها عن طريق كل من الكثافة الحقيقية أو كثافة الجزء (Particle

(density) والكثافة الظاهرية .

الكثافة الظاهرية

مجموع المسامات = 100 - 100 ×

الكثافة الحقيقية

الكثافة الحقيقية تساوي 2.65 (Briggs, 1977:45).

- المادة العضوية Organic matter استخدمت طريقة الحرق (Ignition Bascomb, 1974:14)
- الحموضة The soil reaction وقيس معدل الحموضة مباشرة بواسطة جهاز قياس الحموضة (pH)، وقد استخدمت طريقتان لذلك، بمعدل إضافة 1: 2.5 ماء مرة وPotassium (KCL) إضافة مرة أخرى (Bascomb, 1974:19; Briggs, 1977:110).
- قوام التربة Soil texture واستخدمت الطريقة المعروفة باسم Pipette method لقياس قوام التربة للمزيد عن هذه الطريقة يمكن الرجوع إلى (Bascomb, 1974:15) .
- وتجدر الإشارة إلى أن كل عينة تحلل ثلاث مرات ويؤخذ المتوسط في حالة تقارب القيم، أما في حالة شذوذ بعض القيم تستبعد وتحلل عينة أخرى.

الأمطار **Rainfall** :

وضع جهازان لقياس الأمطار في منطقة الدراسة، الأول عبارة عن جهاز قياس المطر الأوتوماتيكي Automatic rain gauge، وقطر فتحته 16سم، أما الجهاز الثاني فهو عبارة عن خزان عادي Storage type بفتحة قطرها 12.7سم. وفي أثناء كل زيارة عمل مقارنة بين كمية الأمطار في الجهازين وذلك للتأكد من صحة جهاز تسجيل المطر الأوتوماتيكي، وقد كان شريط التسجيل المستخدم يكفي لمدة شهر كامل.

مؤشرات الأمطار **Rainfall indices** :

من خلال شريط سجل الأمطار الشهري تم قياس واشتقاق واحد وثلاثين (31) عنصراً، كما يلي :

التي تزيد فيها الكثافة عن 20ملم/ساعة التوم (2001).

7- حسب ثمانية متغيرات مركبة من حاصل ضرب إجمالي الطاقة الحركية (TKE) وأقصى كثافة أمطار لفترات زمنية بفارق 7.5 دقيقة كما يلي:

- ط ك_{7.5} (جول/م²ملم/ساعة) (EI_{7.5}) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 7.5 دقيقة، (Jeje & Agu, 1990:67).

- ط ك₁₅ (EI₁₅) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 15 دقيقة.

- ط ك_{22.5} (EI_{22.5}) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 22.5 دقيقة.

- ط ك₃₀ (EI₃₀) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 30 دقيقة. (Wischmeier & Smith, 1958: 287).

- ط ك_{37.5} (EI_{37.5}) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 37.5 دقيقة.

- ط ك₄₅ (EI₄₅) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 45 دقيقة.

- ط ك_{52.5} (EI_{52.5}) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 52.5 دقيقة.

- ط ك₆₀ (EI₆₀) = م ط ح (TKE) *أقصى كثافة أمطار لمدة 60 دقيقة.

8- قدرة العاصفة المطرية على الحث (ط ع) Rainfall Erosivity: استخدمت معادلة Morgan (1974) لتقدير قدرة الأمطار اليومية على الحث (Evd) The daily Erosivity التي توصل إليها في ماليزيا وهي:

$$Evd = 16.64 Rd - 173.82$$

إذ يرمز Rd إلى كمية الأمطار (ملم) Morgan, (1974:97). وقد حولت هذا المعامل ليخص كل عاصفة مطرية على حده، فبدلاً من أن يمثل Rd كمية

1- كمية الأمطار (Amount of Rainfall mm) الساقطة خلال أي عاصفة مطرية واحدة (ملم) يرمز لها (مج AM).

2- الكثافة العامة (ك ع MI Mean Intensity) وتحسب من خلال قسمة كمية الأمطار (مج) على فترة سقوط الأمطار (ملم/ساعة).

3- الطاقة الحركية للأمطار (جول/متر²/ملم) (Kinetic Energy KE)، واستخدمت المعادلة (Hudson 1965) الخاصة بالأقاليم الاستوائية:

$$KE = 29.8 - 127.5/I$$

إذ ترمز I إلى كثافة الأمطار (ملم/ساعة) (Morgan, 1995:28)، واستخدم فاصل زمني مقداره 7.5 دقيقة، بمعنى أن الطاقة الحركية تحسب لكثافات أمطار بواقع كل 7.5 دقيقة وهذا الفاصل أوصى به (Lal 1976c:390) إذ عد أن فترة 7.5 دقيقة أفضل من غيرها في حالة المفاضلة ووصف مؤشرات المطر في نيجيريا، وطبقها وأوصى بها كذلك (Salako et al., 1995:283) وقد رأى الباحث استخدامها الآن إذ سبق أن طبق الفاصل الرأسي بمقدار 15 دقيقة في دراسة سابقة (Al-Toum, 1997)، وواصل 7.5 دقيقة في دراسة أخرى (التوم 2001).

4- الطاقة الحركية الإجمالية (ط ح م TKE) Total Kinetic Energy جول/متر² (Jm²).

5- اشتقت ثمانية متغيرات تمثل كثافة الأمطار بفاصل زمني سبع دقائق ونصف وهي ك_{7.5}، ك₁₅، ك_{22.5}، ك₃₀، ك_{37.5}، ك₄₅، ك_{52.5}، ك₆₀ (I_{7.5}، I₁₅، I_{22.5}، I₃₀، I_{37.5}، I₄₅، I_{52.5}، I₆₀).

6- جرى حساب متغيرين من خلال حاصل جمع الطاقة الحركية للعاصفة المطرية للفترات التي تزيد فيها كثافة الأمطار عن 25 ملم/ساعة بما يرمز له ط ح >25 (KE>25) Hudson 1971:65، وكذلك بنفس الأسلوب جرى حساب مؤشر آخر عرف ط ح >20 (KE>20) لفترات هطول الأمطار

- مج ك₄₅ (AI₄₅) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 45 دقيقة.

- مج ك_{52.5} (AI_{52.5}) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 52.5 دقيقة.

- مج ك₆₀ (AI₆₀) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 60 دقيقة.

الأساليب الإحصائية Statistical methods:

تم استخدام ثلاثة أساليب إحصائية في هذه الدراسة، فقد استخدم الارتباط بين المتغيرات المختلفة بهدف معرفة نوع العلاقة بينها وقوتها، أما أسلوب الانحدار البسيط فقد طبقت أربع معادلات لتوفيق المنحنيات بين المتغيرات المدروسة سواء كان ذلك بين تفكك التربة وتأثيرها، أو بين كليهما وجميع مؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين، وذلك بهدف معرفة أفضل العلاقات التي تربط بين المتغيرات، والمعادلات التي جرى تطبيقها هي:

المعادلة الأولى (م1) $Y = a + bX$ ص = ا + ب س

المعادلة الثانية (م2) $Y = aX^b$ ص = ا س ب

المعادلة الثالثة (م3) $Y = e^X$ ص = ا س

المعادلة الرابعة (م4) $Y = \log X$ ص = لوس

وأخيراً الانحدار الخطوي طبقة لعشرين مرة، وقد استعملت طريقة فورورد Forward بين كل من متغيري تناثر التربة ومجموع مؤشرات الأمطار، وذلك بهدف معرفة أقوى مؤشرات الأمطار ارتباطاً وتحليلاً للتباين Variance في متغيري التناثر (تفكك التربة ونقلها).

نتائج الدراسة والمناقشة العامة Results and

: Discussion

أولاً: كميات تفكك التربة ونقلها The amount of soil detachment and transport

سجلت 125 عاصفة مطرية خلال فترة الدراسة الممتدة من 12/مارس/1997م إلى 9 نوفمبر 1997م

هطول الأمطار خلال 24 ساعة أصبح يمثل كمية هطول الأمطار خلال العاصفة المطرية الواحدة.

9- مؤشر رطوبة التربة

(رت- Antecedent Precipitation Index (API

استخدمت الطريقة Gregory & Walling المعدلة عن طريقة (Butters, 1957) لحساب هذا المؤشر وهي:

$$API = Pt.1/t$$

$$= Pt.K^t$$

إذ ترمز Pt إلى كمية الأمطار الساقطة خلال يوم واحد، t الفرق الزمني بين العاصفتين (يوم)، K مؤشر يتراوح بين 0.85 إلى 0.98، واستخدم في هذه الدراسة المعامل 0.9 بناءً على توصية كل من Gregory & Walling (1973:187); Linsley et al., (1975:266)، وقد جرى حساب مؤشر رطوبة التربة (رت- API) على أساس العاصفة المطرية الواحدة.

10- اشتقت ثمانية متغيرات أخرى تتكون من حاصل ضرب كمية الأمطار (مج- AM) وكثافة الأمطار لفترات تبدأ من 7.5 دقيقة وتنتهي بـ 60 دقيقة، وأول من استخدم هذا المتغير (Lal, 1976 63)، ثم تبعه مجموعة من الباحثين مثل (Ulsaker & Oustad, 1984; Jeje & Agu, 1990; Salako et al., 1995; Al Toum, 1997

- مج ك_{7.5} (AI_{7.5}) سم²/ساعة) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 7.5 دقيقة.

- مج ك₁₅ (AI₁₅) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 15 دقيقة.

- مج ك_{22.5} (AI_{22.5}) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 22.5 دقيقة.

- مج ك₃₀ (AI₃₀) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 30 دقيقة.

- مج ك_{37.5} (AI_{37.5}) = مج (AM) * أقصى كثافة أمطار لمدة 37.5 دقيقة.

لذلك نرى أنه من الصعوبة حتى إجراء مقارنة بدراسات حقلية أجريت خارج المنطقة الاستوائية، لدرجة أن المعدل قل كثيراً في دراسة سابقة للباحث أجريت في المنطقة الاستوائية، إذ بلغ المعدل فيما بين 10.5 و18.2 كجم/م² عشرة شهور، ولكن يمكن تفسير قلة المعدل في الدراسة السابقة إلى زيادة نسبة الطين إلى 40%، بينما نسبة الطين في هذه الدراسة قلت إلى 30%، وهذا ما أكدته نتائج دراسات سابقة بأن الطين أقدر على مقاومة ضربات قطرات المطر (Farmer 1973: 629; Quansah 1985: 421;) (Sharma et al. 1995:730; Legout et al. 2005) وقد فسر ذلك (Mazurak & Mosher 1968: 719) بزيادة قوة التماسك Cohesion بين الجزيئات مع قلة حجمها .

من الجدول رقم (2) نلاحظ أن الفرق بين معدل التفكك والنقل بواسطة ضربات قطرات المطر يقل كلما زادت درجة الانحدار، وأن النسبة تقل فيما بلغت النسبة من التفكك إلى النقل 3.2 إلى 1 في المحطة الأولى (مح1)، قل المعدل باستمرار إلى أن وصل إلى 1.67 إلى 1 في المحطة السابعة (مح7)، وهذا يؤكد على الدور الذي يؤديه عنصر الانحدار في التأثير على معدل التفكك والنقل الناجم عن ضربات قطرات المطر .

ولدراسة نوع العلاقة بين معدل تفكك التربة ونقلها بواسطة قطرات المطر، أربع معادلات انحدارية لتوفيق المنحدرات المسماة بالمعادلة الأولى (م1) والثانية (م2) والثالثة (م3) والرابعة (م4) طبقت بين معدل تفكك (تك) ونقل (ن) التربة على مستوى جميع العينات المدروسة، وكانت النتيجة الموضحة في الجدول (3) تشير إلى أن العلاقة تأرجحت بين الخطية والاسية بين المتغيرين Linear and Power Equation ، ويلاحظ التقارب الكبير بين معامل التحديد (R²) فيما بين المعادلتين الخطية والاسية على مستوى سبع المحطات، بينما توصل الباحث في دراسة سابقة إلى أن العلاقة بين المتغيرين خطية من الدرجة الأولى.

(ثمانى شهور)، تراوحت كميات الأمطار الهاطلة فيها ما بين 1 ملم إلى 92ملم، وتختلف كذلك في خصائصها من حيث الكثافة والطاقة الحركية، إلا أن 92 عاصفة من العواصف المطرية المسجلة أدت إلى تفكك وتأثر في التربة، وأخذت منها 63 قراءة مسجلة لعاصفة مطرية منفردة.

الجدول (2) يبين كميات تفكك التربة ونقلها المسجلة في منطقة الدراسة، ويلاحظ أن أعلى القيم سجلت في المحطة السابعة (مح7) بمعدل 30.3 و18.2 كجم/م²، بينما أدنى معدل سجل في المحطة الأولى (مح 1) بواقع 24.5 و7.7 كجم/م² لكل من تفكك التربة ونقلها على التوالي. وقد اختلفت كميات تفكك التربة ونقلها من عاصفة إلى عاصفة أخرى بفوارق كبيرة وذلك يرجع إلى اختلاف كمية الأمطار الهاطلة في كل عاصفة وكثافتها وطاقتها.

ونظراً إلى ندرة الدراسات الحقلية التي أجريت في ظروف طبيعية لقياس معدل تفكك التربة ونقلها بواسطة ارتطام (ضربات) قطرات المطر في المنطقة الاستوائية فمن الصعوبة جداً أن تجرى المقارنة، ومع ذلك نقارن بدراسات أجريت في بريطانيا وبلجيكا، ارتفع معدل التفكك في تربة طمي طيني رملي (الدراسة الحالية) (24.5-30.3 كجم/م² ثمانية شهور) عن دراسة كل من Morgan و Bollinne، فقد بلغ معدل تفكك التربة عند Morgan 1981 (بريطانيا) في ظل تربة رملية مكشوفة من 29-37 كجم/م² (Morgan 1981:379). أما في دراسة Bollinne 1980 التي أجريت في بلجيكا في تربة لوسية Loess فقد سجل معدل أقل بلغ من 9.5-40 كجم/م² (Bollinne 1980:445)، أما Poesen في بلجيكا فقد انخفض معدل التفكك بواسطة التناثر إلى 1.85-5 كجم/م² (Poesen 1985: 198). وأشار (Providoli et al 2002) إلى اختلاف كمية التناثر باختلاف خصائص التربة في سويسرا . وربما يفسر ذلك بطبيعة المنطقة وخصائص الأمطار في الأقاليم الاستوائية ذات الكثافات والطاقة الحركية العالية.

على تحديد نوع العلاقة بين تفكك التربة ونقلها ودرجة الانحدار، فقد توصل إلى نفس العلاقة السابقة مجموعة من الكتاب أمثال:

Kerenyi Quansah (1981:371); (1981: 222); Shrebs (1968: 265) Froehlich (1986:105); Torri & Poesen (1992: 570); Zhang et al. (2003: 716); Al -Toum (1997: 206).

بينما توصلت بعض الدراسات إلى عدم وجود علاقة ذات دلالة إحصائية بين درجات انحدار السطح وكل من تفكك ونقل التربة من أمثال McCarth (1980); Poesen (1983); Morgan (1978: 29); Torri & Poesen (1992: 561) أن (2003) Janeanu et al توصلوا إلى وجود علاقة عكسية بين درجات انحدار السطح وتفكك التربة (Janeanu et al 2003 :550).

ويمكن تفسير هذا التباين في الآراء بأن معظم الدراسات التي عالجت هذا الموضوع كانت في المختبرات وقلة نادرة ما عالجت في الحقل إضافة إلى اختلاف أساليب ومناطق الدراسة ومن ثم اختلاف الظروف الجغرافية فيما بينها.

العلاقة بين الأمطار وتفكك التربة ونقلها:

The relationships between erosivity rainfall with both soil detachment and transport:

جميع مؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين قيمت على مستوى سبع المحطات، وكل عاصفة مطرية أدت إلى تفكك التربة ونقلها بواسطة تطبيق ثلاثة أساليب إحصائية، الارتباط، والانحدار البسيط بأنواعه الأربعة، ثم الانحدار المتعدد الخطي، وذلك من أجل الخروج بمؤشر مطري واحد، يكون الأكثر ارتباطاً وتحليلاً وتوقعا لكل من تفكك التربة ونقلها بواسطة قطرات المطر، كي يسهل استخدامه لاحقاً في بناء نموذج خاص بتعرية قطرات المطر في المنطقة الاستوائية .

ومن ذلك نستنتج أنه كلما زاد معدل التفكك سوف يؤدي حتماً إلى زيادة معدل نقل التربة باتجاه أسفل المنحدر طبقاً للعلاقة الخطية أو الأسية بينهما، ومن ثم لا حاجة لدراسة العمليتين، ويكفي أن تدرس عملية واحدة، ويمكن التنبؤ بالأخرى، لأن العمل الميداني اليومي يحتاج إلى مجهود شخصي وإمكانيات مادية كبيرة لإنجازه .

العلاقة بين درجة الانحدار وكميات تفكك التربة ونقلها:

The relationships between slope degree with both soil detachment and transport:

أظهرت الدراسة أن العلاقة طردية وموجبة بين درجة الانحدار وكل من كميات تفكك التربة ونقلها بواسطة قوة ارتطام قطرات المطر، وقد بلغ معامل الارتباط بينهما 0.94 ومستوى دلالة 0.001، ويمكن تفسير العلاقة الطردية بين درجة انحدار السطح ومعدل التفكك والنقل بما يلي :

- مع زيادة درجة الانحدار يقل سمك الطبقة المائية فوق سطح التربة في أثناء سقوط الأمطار الأمر الذي يؤدي إلى أن تبقى التربة مكشوفة ومن ثم زيادة معدل التفكك والتناثر.
 - تزداد قوة بعض العوامل المساعدة على التفكك مع زيادة درجة الانحدار مثل الجاذبية الأرضية والجريان السطحي.
 - مع زيادة درجة الانحدار يقل معدل الضغط على الطبقة السطحية للتربة الناجم عن قلة معدل قوة سقوط قطرات المطر التي تتناسب مع جيب تمام زاوية (جتا) درجة الانحدار & Torri & Poesen (1992:573).
 - زيادة فعل التعرية السطحية مع زيادة درجة الانحدار وهذا يؤدي إلى إضعاف تماسك الطبقة السطحية من التربة.
- وتجدر الإشارة إلى عدم الاتفاق بين الباحثين

أولاً تفكك التربة Soil detachment:

1 - الارتباط Correlation:

طبق أسلوب معامل الارتباط البسيط بين جميع مؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين وتفكك التربة في السبع محطات وعلى مستوى كل عاصفة مطرية، وظهرت النتائج كما هي موضحة في الجدول رقم (4) ويمكن ملاحظة النتائج الآتية منه:

- احتلت مؤشرات الكثافة (ك₆₀، ك_{52.5}، ك₄₅، ك_{37.5}) المرتبة الأولى بمعامل ارتباط لكل مؤشر بلغ 0.90، بينما جاء في المرتبة الثانية المؤشران كمية الأمطار (مج) والمؤشر المكون من كمية الأمطار وكثافتها لستين دقيقة (مج ك₆₀) بمعامل ارتباط 0.88 لكل منهما .

- ترتبط جميع مؤشرات الأمطار بعلاقات ارتباط مرتفعة وموجبة وذات معنوية عالية (0.001) مع تفكك التربة باستثناء مؤشر رطوبة التربة (رت)، وقد ارتفع متوسط معامل الارتباط إلى 0.79 مع جميع مؤشرات الأمطار عن المتوسط الذي توصل إليه الباحث في دراسة سابقة (Al Toum 1997:150) ويرجع ذلك إلى التعديلات التي أضافها الباحث على الجهاز المستخدم والخبرة الميدانية المكتسبة في هذا المجال.

- تنقسم مؤشرات الأمطار إلى أربع فئات من حيث درجة ارتباطها بتفكك التربة، تشمل المرتبة الأولى المؤشرات ذات معامل ارتباط قوي جداً (0.90) وتشمل مؤشرات الكثافة الأربعة لأكثر من 37.5 دقيقة وهي ك₆₀، وك_{52.5}، وك₄₅، وك_{37.5}، وتشمل المرتبة الثانية مجموعة المؤشرات التي ترتبط بمعامل تراوح بين 0.80 - 0.89 (كمية الأمطار «مج»)، مؤشرات الكثافة (ك_{7.5}، ك₁₅، ك_{22.5}، ك₃₀)، والمؤشرات الستة المكونة من كمية الأمطار والكثافة لأكثر من 22.5 دقيقة (من مج ك_{22.5} حتى مج ك₆₀)، المرتبة الثالثة وتشمل باقي المؤشرات باستثناء مؤشرات المرتبة الرابعة التي ينخفض بها معامل الارتباط إلى 0.40،

وهي إجمالي الطاقة الحركية والطاقة الحركية لكثافة أكثر من 20 و25 ملم/ساعة (م ط ج، وط ح < 20، وط ح < 25) .

- سجل مؤشر الكثافة لستين دقيقة (ك₆₀) أعلى معامل ارتباط، ومن ثم فإنه أعلى معامل ارتباط ضمن مجموعة مؤشرات الكثافة، كذلك سجل مؤشر مج ك₆₀ أعلى مؤشرات المجموعة المركبة من كمية الأمطار والكثافة (مج ك)، أما مؤشر الطاقة الحركية لكثافة 30 دقيقة (ط ك₃₀) سجل أعلى معامل ارتباط في مجموعة مؤشرات الطاقة الحركية والكثافة .

بناءً على ما سبق يمكن إجمال أن تفكك التربة يرتبط ارتباطاً موجباً وقوياً وذا دلالة إحصائية عالية مع معظم مؤشرات الأمطار وأفضلها جميعاً المؤشرات ك₆₀، ومج، ومج ك₆₀.

2- الانحدار البسيط The simple linear regression:

طبقت أربع معادلات لخطوط الانحدار لتوفيق المنحنيات Curve fitting (م₁، م₂، م₃، وم₄) بين مؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين، وشملت كل عاصفة مطرية أدت إلى تفكك تربة في السبع محطات، وذلك لمعرفة أفضل علاقة وأقواها تربط بين مؤشرات الأمطار Erosivity rainfall وتفكك التربة، وبسبب كثرة الحيز الذي سوف تأخذه 868 معادلة خط انحدار، استعرضت معامل التحديد (ر²) الخاص بالمعادلة الأولى ومتوسط معامل التحديد (ر²) على مستوى سبع المحطات الخاص بالمعادلات الثانية والثالثة والرابعة (جدول 5) ومن خلال استعراض الجدول السابق (رقم 5) ويمكن الخلوص إلى النتائج الآتية:

- إن العلاقة الخطية هي أفضل علاقة تربط بين معظم مؤشرات الأمطار وتفكك التربة في المحطات السبع .
- ارتفاع متوسط معامل التحديد (0.62) ومستوى

بنفس المجموعة (ط ك)، وهذا صادق ما توصلت إليه نتائج تحليل الارتباط السابقة الذكر.

وبناءً على النتائج التي توصلت إليها الدراسة من تحليل قيم معاملات التحديد، كتبت المعادلات الخاصة بأهم أربعة مؤشرات، ووضعها في الجدول رقم (6) ومنه نلاحظ أن هناك ارتفاعاً في قيم الأس ب (b) أو exponent مع زيادة درجة الانحدار من المحطة الأولى إلى المحطة السابعة، وهذا يؤكد دور عنصر الانحدار في التأثير على معدل تفكك التربة.

وقد كان متوسط العلاقة بين تفكك التربة ومؤشرات الأمطار على مستوى سبع المحطات كما يلي:

$$R^2 = 0.82^{**}$$

$$R^2 = 0.77^{**}$$

$$R^2 = 0.77^{**}$$

$$R^2 = 0.65^{**}$$

$$R^2 = 0.74^{**}$$

$$R^2 = 0.70^{**}$$

$$R^2 = 0.77^{**}$$

$$R^2 = 0.65^{**}$$

أسلوبى الارتباط والانحدار السابقين، فتم تشغيل الانحدار الخطوي سبع مرات، لكل محطة مرة واحدة من خلال استعراض 31 مؤشر أمطار كمتغيرات مستقلة، ومتغير تفكك التربة كمتغير تابع، إلا أن النتائج جاءت مغايرة لما هو متوقع، فقد خرجت جميع المؤشرات المركبة من كمية الأمطار والكثافة لفترات مختلفة (مج ك) من التحليل، وأنها لم تساهم بشيء يذكر، بالإضافة إلى مؤشر ط ح < 20. لذلك تم إعادة التشغيل مع استبعاد سبعة مؤشرات من مجموعة مج ك مع متغير الطاقة الحركية لكثافة

الدلالة (0.001) بين مؤشرات الأمطار وتفكك التربة، هذا يعني أن 62% من الاختلافات في تفكك التربة يمكن إرجاعها إلى التباين في الأمطار (كمية، وكثافة، وطاقة حركية).

• صادقت نتائج تحليل الانحدار البسيط ما توصلت إليه علاقات الارتباط بين مؤشرات الأمطار وتفكك التربة، فإن المؤشر₆₀ هو أفضل المؤشرات توقعاً وتفسيراً ($R^2 = 0.82$) احتل المؤشران مج ومج ك₆₀ المرتبة الثانية بقيمة موحدة لمعامل التحديد بلغت 0.77.

• احتل المؤشر المركب من الطاقة الحركية والكثافة (ط ك₃₀) أعلى معامل تحديد (0.65) بالمقارنة

1- العلاقات الخطية:

$$\text{تك} = 0.168 + 0.386 \text{ ك}_{60}$$

$$\text{تك} = 0.148 + 0.554 \text{ مج}$$

$$\text{تك} = 0.00188 + 2.53 \text{ مج ك}_{60}$$

$$\text{تك} = 0.000815 + 1.364 \text{ ط ك}_{30}$$

2- العلاقات الأسية:

$$\text{تك} = 0.203 \text{ ك}_{60}^{0.964}$$

$$\text{تك} = 0.259 \text{ مج}^{0.869}$$

$$\text{تك} = 0.185 \text{ مج ك}_{60}^{0.489}$$

$$\text{تك} = 0.079 \text{ ط ك}_{30}^{0.493}$$

حيث ترمز تك إلى تفكك التربة (جرام)، وك₆₀ كثافة الأمطار لأقصى ستين دقيقة (ملم/ساعة)، ومج كمية الأمطار (ملم)، ومج ك₆₀ مؤشر مشتق من كمية الأمطار (ملم) وكثافة الأمطار لأقصى ستون دقيقة (ملم/ساعة)، ط ك₃₀ الطاقة الحركية للأمطار (جول/م² ملم/ساعة) وكثافة الأمطار لأقصى ثلاثين دقيقة (ملم/ساعة).

3- الانحدار الخطوي:

طبق أسلوب الانحدار الخطوي لتقويم نتائج

1- الارتباط:

الجدول رقم (8) يبين نتائج علاقات الارتباط بين مؤشرات الأمطار ونقل التربة، ومنه نستنتج أن جميع مؤشرات الأمطار ترتبط ارتباطاً موجباً وقوياً وذا دلالة إحصائية عالية (0.001)، وهذا معناه أنه كلما زادت كمية، أو كثافة الأمطار، أو طاقتها الحركية كلما زاد معدل نقل التربة، سجل مؤشر كثافة الأمطار لستين دقيقة (ك₆₀) أعلى معامل ارتباط بواقع 0.87، ثم تلاه مؤشرات كثافة الأمطار وهي ك_{52.5}، وك₄₅، وك_{37.5} وكمية الأمطار (مج) بواقع 0.86 لكل منها، سجل المؤشر المركب من الكثافة وكمية الأمطار (مج ك₆₀) أعلى معامل ارتباط بالمقارنة مع نفس مؤشرات المجموعة (مج ك) بواقع 0.85، كذلك سجل المؤشر ط ك₃₀ أعلى قيمة معامل ارتباط (0.76) بالمقارنة مع نفس المجموعة (ط ك)، نخلص إلى أن المؤشرات ك₆₀، ومج، ومج ك₆₀ هي الأكثر ارتباطاً بنقل التربة.

2- الانحدار البسيط:

طبقت معادلات خطوط الانحدار لتوفيق المنحنيات حسب المعادلات أرقام 1م و2م و3م و4م بواقع 868 معادلة بين مؤشرات الأمطار ونقل التربة على مستوى العاصفة المطرية الواحدة، وقد وضعت معاملات التحديد (ر²) الناجمة عن تطبيق المعادلة الأولى والمتوسطات عن تطبيق المعادلات الثلاثة الباقية في الجدول (9)، وبناءً على نتائج الجدول السابق (رقم 9)، وضعت المعادلات الخاصة بأهم أربعة مؤشرات في الجدول (10). وأهم النتائج التي بينهما الجدولين (9 و10) ما يلي:

- أن العلاقة بين المؤشرات البسيطة مثل كمية الأمطار (مج) والكثافة (ك) مع نقل التربة خطية، (تخضع للمعادلة الأولى - 1م)، بينما المؤشرات المركبة من الكثافة وكمية الأمطار (مج ك) أو طاقتها (ط ك) تخضع للعلاقة الاسية (المعادلة الثانية 2م) وهذا يفسر سبب اختلاف وجهات نظر الباحثين في موضوع اختيار مؤشر

أكثر من 20 (ط ح < 20) وبينت النتائج في الجدول رقم 7 ومنه يمكن استنتاج ما يلي:

- أظهرت المؤشرات البسيطة الممثلة لكثافة الأمطار أنها الأفضل تفسيراً للتباين في تفكك التربة على مستوى ست محطات، فاحتل المؤشر ك_{22.5} المركز الأول في المحطات الثالثة والرابعة والخامسة بواقع ر² 0.85، 0.84 على التوالي، أما المؤشر ك_{37.5} فسر 0.80، 0.88 من التباين في الاختلاف في المحطتين السادسة والسابعة على التوالي، وأخيراً احتل كل من المؤشرين ك₁₅، ط ك₃₀ المركز الأول في المحطتين الثانية والأولى بواقع (ر²) 0.75 و0.68 على التوالي.
- احتل مؤشر كمية الأمطار (مج) المرتبة الثانية بتفسير التباين في تفكك التربة في المحطتين الأولى والثانية.

نخلص إلى القول إن نتائج التحليل الخطوي جاءت لتؤكد نتائج كل من معاملات الارتباط والانحدار البسيط بأنواعه التي أظهرت جميعاً أن المؤشر البسيط لكثافة الأمطار لفترات زمنية معينة (ك₆₀) هو أفضل مؤشر يمكن الاعتماد عليه لدراسة التباين في تفكك التربة، بمعنى أن أي زيادة في كثافة الأمطار يقابلها زيادة في معدل تفكك التربة، بالإضافة إلى أن زيادة الزمن مع الكثافة تؤدي إلى زيادة مقدره مؤشر الكثافة على ارتفاع معدل تحليل التباين وتفسيره في تفكك التربة. بالإضافة إلى أن مؤشر كمية الأمطار (مج) احتل موقعاً ثانياً بعد مؤشر الكثافة، وهذا ما أكدته نتائج دراسات سابقة مثل Hudson 1971; Ellison 1944; Al-Toum 1997.

ثانياً - نقل التربة Soil transport :

استمراراً لنفس الهدف الذي عولج أعلاه لمعرفة أنسب مؤشرات الأمطار ارتباطاً وتحليلاً وأهمها لمعدل تفكك التربة بسبب ضربات المطر، فسنعرض الآن وبنفس الأساليب الإحصائية السابقة العلاقة بين معدل نقل التربة الناجم عن قوة ارتطام قطرات المطر ومؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين.

• سجلت المؤشرات ك₆₀، ومج ك₆₀، وط ك₃₀ أعلى معاملات تحديد بمقارنة كل واحد بمؤشرات الأمطار المشكلة لنفس المجموعة، فقد سجل المؤشر ك₆₀ أعلى معامل تحديد (ر²) بالمقارنة مع مؤشرات الكثافة (ك)، كذلك سجل مج ك₆₀ أعلى مؤشر بالنسبة لمؤشرات نفس مجموعة (مج ك)، لكن مؤشر ط ك₃₀ كان أفضل مجموعته (ط ك).

• ازدياد قيمة الانحدار (b) مع زيادة درجة الانحدار، وقد كان المتوسط بين أربعة المؤشرات ونقل التربة كما يلي:

$$R^2 = 0.76^{**}$$

$$R^2 = 0.73^{**}$$

$$R^2 = 0.72^{**}$$

$$R^2 = 0.58^{**}$$

$$R^2 = 0.76^{**}$$

$$R^2 = 0.66^{**}$$

$$R^2 = 0.76^{**}$$

$$R^2 = 0.60^{**}$$

وتفسيراً للتباين في تفكك التربة بواسطة ضربات قطرات المطر.

3- الانحدار الخطوي:

ولكي نتأكد من صحة ما توصلت إليه الدراسة من صدق العلاقة بين مؤشرات الأمطار ونقل التربة، طبق الانحدار الخطوي بين مؤشرات الأمطار الواحد والثلاثين كمؤشرات مستقلة، ونقل التربة كمغير تابع سبع مرات، وكانت النتيجة عدم ظهور أهمية للمؤشرات المركبة من كمية الأمطار والكثافة (مج ك) في التحليل .

معين، ونوع العلاقة التي تربط بين مؤشرات الأمطار ونقل التربة .

• ارتفاع معاملات التحديد (ر²) ومستوى دلالاتها (0.001) بشكل عام بين مؤشرات الأمطار ونقل التربة الناجمة عن تطبيق المعادلتين الأولى والثانية عن الثالثة والرابعة لذلك اعتمدت نتائج المعادلتين الأولى والثانية.

• سجل مؤشر ك₆₀ أعلى قيمة معامل تحديد (ر²) بواقع 0.76، وتلاه في ذلك مؤشر كمية الأمطار (مج) بقيمة 0.75، جاء المؤشر مج ك₆₀ متأخراً لكن بفارق صغير (ر² = 0.73).

1- العلاقات الخطية:

$$N = -0.01 + 0.082 K_{60}$$

$$N = 0.073 + 0.144 M$$

$$N = 1.035 + 0.000921 M_{60}$$

$$N = 0.531 + 0.000385 T_{30}$$

2- العلاقات الأسية:

$$N = 0.047 K_{60}^{1.167}$$

$$N = 0.179 M^{1.057}$$

$$N = 0.041 M_{60}^{0.597}$$

$$N = 0.018 T_{30}^{0.594}$$

إذ ترمز ن إلى نقل التربة (جرام)، وك₆₀ كثافة الأمطار لأقصى ستين دقيقة (ملم/ساعة)، ومج كمية الأمطار (ملم)، ومج ك₆₀ مؤشر مشتق من كمية الأمطار (ملم) وكثافة الأمطار لأقصى ستين دقيقة (ملم/ساعة)، ط ك₃₀ الطاقة الحركية للأمطار (جول/م²/ملم/ساعة) وكثافة الأمطار لأقصى ثلاثين دقيقة (ملم/ساعة)، ** مستوى المعنوية 0.001.

وهذا يتوافق مع ما توصلت إليه الدراسة من أهمية مؤشرات خاصة ظهرت هي الأكثر ارتباطاً

ضربات قطرات المطر وجميع مؤشرات الأمطار الداخلة في الدراسة (الواحد والثلاثون) والمشتقة من سجل الأمطار .

بالمقارنة مع نتائج دراسات سابقة نجد اختلافاً في وجهات النظر، فبينما توصلت بعض الدراسات إلى نتائج مشابهة لما توصلت إليه هذه الدراسة، فهناك من توصل إلى نتائج قد تكون مخالفة بشكل كبير.

توصل Kinnell إلى وجود علاقة خطية بين تآثر التربة وكمية الأمطار، عند كثافة ثابتة للأمطار الصناعية كما يلي :

$$L = 4.48 + 0.0572 R_A \quad r = 0.9967, 3.8 \text{ mm avg. drop size}$$

$$L = 6.35 + 0.1541 R_A \quad r = 0.9981, 5.1 \text{ mm avg. drop size}$$

$$L = 4.95 + 5.848 R_A \quad r = 0.9979 (I = 35 - 212)$$

حيث ترمز L إلى تآثر التربة (جرام)، R_A كمية الأمطار (ml)، و r معامل الارتباط، وما يلاحظ هو اختلاف الثوابت في المعادلات الثلاثة فقط (Kinnell, 1974 : 659; 1976: 967).

توصل Bisal إلى نوعين من العلاقات بين تآثر التربة وكمية الأمطار كما يلي:

$$D = 2.057 R + 0.772$$

$$D = 2.615 R^{0.675}$$

إذ ترمز D إلى عمق تآثر التربة (ملم)، R كمية الأمطار (سم) (Bisal 1950: 621) وتطبق المعادلة الخطية في حالة ما يكون مستوى الرمل ثابتاً عند مستوى معين، في حين تنطبق المعادلة الأسية إذا كان مستوى الرمال في الفئجان Cup متغيراً بمعنى أنه يقل مع استمرار التجربة.

كذلك الأمر توصل Lal في نيجيريا إلى علاقات خطية بمعدلات ارتباط عالية بين تآثر الرمال،

لذلك شغل الانحدار الخطوي سبع مرات أخرى مع استبعاد سبعة مؤشرات مركبة من كمية الأمطار والكثافة (مج ك) وبينت النتائج لذلك في الجدول (11) ومنه نستنتج أن ظهور مؤشر كمية الأمطار (مج) أنه أفضل مؤشر ساهم في تحليل التباين في نقل التربة في المحطتين الأولى والثانية بواقع (R^2) 0.56-0.72 على التوالي، بينما احتلت ثلاثة مؤشرات مكونة من الطاقة الحركية والكثافة المراكز الأولى في ثلاث محطات وهي ط ك_{22.5} (0.82)، وط ك₁₅ (0.81)، وط ك_{37.5} (0.78) للمحطات الرابعة والخامسة والسادسة على التوالي، احتل مؤشر ك₆₀ المركز الأول في المحطة السابعة إذ فسر 0.85 من التباين، كذلك فسر المؤشر مج ك₆₀ 0.84 من التباين في المحطة الثالثة .

بناءً على ما سبق يمكن القول إن مؤشر كمية الأمطار (مج) احتل المركز الأول، يليه ك₆₀ في المركز الثاني، إذ ساهم في تفسير التباين في محطات أخرى، كذلك يمكن أخذ المؤشر ط ك₃₀ كحالة وسط بين المؤشرات الثلاثة التي احتلت المراكز الأولى في ثلاث محطات .

أظهر التحليل الإحصائي أن مؤشر الكثافة لستين دقيقة (ك₆₀) احتل المركز الأول بين واحد وثلاثين مؤشراً مشتقة من سجل الأمطار ارتباطاً، وتحليلاً، وتنبأ بالتباين الحاصل في تأثير ضربات قطرات المطر على التربة، ومن ثم تآثرها أو تفكك حبيباتها ثم نقلها.

وبناءً على ذلك يمكن استعمال هذا المؤشر (ك₆₀) مؤشراً خاصاً، ويمثل طاقة الأمطار في بناء أي نموذج لتقدير تآثر التربة. أما المركز الثاني فيمكن أن يكون لصالح مؤشر كمية الأمطار (مج) حيث بدأ الاختلاف في معاملات الارتباط وقيم التحديد بين المؤشرين مج وك₆₀ قليلاً جداً لدرجة أننا يمكن استبعاد هذا الفرق، مثلت العلاقة الخطية الممثلة بالمعادلة الأولى، أنها الأفضل في تمثيل العلاقة بين معدل تآثر التربة وتفككها ونقلها بواسطة

مثل (Bollinne 1980) فوجد علاقة أسية بين EI_{30} وتأثير التربة، وبلغ الاس عنده 0.876، وفي نيجيريا بلغ الاس حوالي 0.33 (Lal et al., 1980:149)، بينما توصل (Lo et al. 1985:386) في هاواي إلى أن المؤشر EI_{30} هو الأكثر تفسيراً للتباين في تأثير التربة بواقع 0.98، وفي هذه الدراسة سبقت الإشارة إلى أن المؤشر EI_{30} هو أفضل مؤشر يرتبط بكل من تفكك التربة ونقلها بالمقارنة مع سبعة مؤشرات أخرى من نفس المجموعة (ط ك) لكنه لم يكن الأول بالمقارنة مع المؤشرات المطرية الأخرى.

على الرغم من أن المؤشر EI_{30} شاع استخدامه على مستوى العالم بأنه المؤشر الأفضل ارتباطاً بتأثير التربة، إلا أن دراسات كثيرة لم تجده المؤشر الأكثر أهمية، مثل دراسات (Ahmad & Breckner 1974) في ترينداد، و (Lal (1976; 1976c) في نيجيريا، و (Onchev 1985) في بلغاريا، و (Al -Toum 1997; 2001) في ماليزيا.

أما في أفريقيا فتجد دراسات كل من Lal et al., Salako et al. التي بدأت منذ 1976 ومستمرة حتى الآن، وأفرزت مؤشراً جديداً هو Aim بأنه الأفضل ارتباطاً وتحليلاً لتأثير التربة من أي مؤشر آخر ويرتبط بعلاقات أسية مع تأثير التربة وهذا ما توصلت إليه هذه الدراسة وأن اختلفت فيها قيمة الاس.

الخلاصة Conclusion:

أظهرت الدراسة مدى فاعلية التحسينات التي أدخلها الباحث على جهاز مورجان لقياس تأثير التربة، إضافة إلى مدى خطورة تعرية قطرات المطر على الأراضي المكشوفة، متمثلة في ارتفاع معدل كميات تفكك التربة وتأثيرها، مما يؤدي إلى تغلغل الحبيبات الصغيرة الحجم في مسامات التربة الأكبر منها حجماً، الأمر الذي يؤدي إلى تكوين طبقة صماء، ومن ثم قلة معدل التسرب، فذلك يقود إلى زيادة معدل الجريان السطحي بأخطاره الكبيرة.

تأرجحت العلاقة بين الخطية والأسية بين معدل

وكل من كمية الأمطار، وكثافة أقصى ثلاثين دقيقة (ك₃₀)، كما يلي:

$$S = 22.7p + 19.73 \quad r = 0.84 \quad \text{sig} = 0.95.$$

$$S = 17.6I_{30} + 1.64 \quad r = 0.84 \quad \text{sig} = 0.95.$$

إذ ترمز S إلى تناثر الرمل (جرام/م²)، p إلى كمية الأمطار (ملم)، و I_{30} أقصى كثافة لثلاثين دقيقة أمطار (ملم/ساعة) (Lal 1981:358).

وتوصل مجموعة من الباحثين إلى علاقات أسية بين تفكك التربة ونقلها والطاقة الحركية (KE)، وظهر الاختلاف بينهم في قيمة الاس، فتجدها عند Free بلغت 0.9 مع الرمل، و1.46 مع التربة (Free, 1960:448)، أما عند Morgan بلغ 0.86 مع نقل التربة، و0.3 مع تفكك التربة (Morgan, Bubenzer & Jones 1978:297)، وجد كل من (1971) القيمة (p) تتراوح بين 0.83 و1.49 وهذا ما توصل إليه Quansah فيما بعد حيث تباعد المعدل عنده، اختلفت القيمة باختلاف التربة فكانت 1.06 و0.84 و1.16 و1.35 مع كل من رمل قياس ورمل وطيني وطين عند دراسته للعلاقة بين تفكك التربة والطاقة الحركية (Quansah, 1981:220).

ويلاحظ أن قيمة الأس تختلف باختلاف نوع التربة، وهي بشكل عام تميل إلى الزيادة مع زيادة نسبة الطين في التربة، وهذا يعني أن التربة الطينية تحتاج إلى قوة حركية عالية، إذ يعني زيادة الاس زيادة في الطاقة الحركية، ومن ثم يزداد تأثيرها بزيادة معدل الطين أكثر من الترب الأخرى.

وفي دراسات أخرى جاءت العلاقة خطية موجبة بين كل من الطاقة الحركية KE ومعدل تناثر التربة مثل دراسة (Hammad et al., 2006: 45) إذ ارتفع معامل التحديد 2% إلى 86%. ودراسة Erpul et al., 2002: 238 توصلوا إلى وجود علاقة خطية بين قوة ضغط الإمطار ومعدل نقل التربة.

وتلا ابتكار (Wischmeier and Smith, 1958) للمؤشر EI_{30} (ط ك₃₀) أن استخدمه بعض الكتاب

ك)، وقد ارتفع كل من معامل الارتباط ومعامل التحديد مع تفكك التربة ونقلها بالمقارنة مع باقي مؤشرات الطاقة الحركية والكثافة (ط ك).

شكر وتقدير Acknowledgments :

أجري البحث على أرض الجامعة الوطنية الماليزية وبإذن من الدكتورة: شريفة مستورة من قسم الجغرافيا، وموافقة رئيس قسم الجغرافيا في الجامعة وقد استخدمت كل إمكانيات قسم الجغرافيا فجميع هؤلاء كل الشكر والتقدير. إلى الأخ الدكتور جهاد العرجا الأستاذ المساعد في قسم اللغة العربية، الجامعة الإسلامية - غزة لتفضله مشكوراً بمراجعة النص لغوياً.

تفكك التربة ونقلها، وهذا يكفي لتتعرف على واحدة من الأخرى، ولا توجد ضرورة لدراسة العمليتين مع بعض بالإضافة إلى علاقتهما الطردية والموجبة بمستوى معنوية عالية مع درجة انحدار السطح.

ظهر المؤشر ك⁶⁰ بأنه الأكثر ارتباطاً وتحليلاً للتباين في كل من تفكك التربة ونقلها، وتلاه في ذلك المؤشران م ج ومج ك⁶⁰ في الأهمية وبفارق بسيط، لذلك يمكن اتخاذ أي من الثلاثة مؤشرات كمؤشر يمثل الأمطار في بناء أي نموذج خاص بتعيرية قطرات المطر.

أما المؤشر ط ك³⁰ المستخدم عالمياً فلم يحتل مركزاً متقدماً بل تأخر كثيراً خلف مجموعة المؤشرات الأخرى، لكنه ظهر الأفضل ضمن مجموعته (ط

المراجع:

- صبري محمد التوم (2001) تعرية قطرات المطر - حالة دراسية من جنوب شرق سلانور-ماليزيا، مجلة الجامعة الإسلامية بغزة، م9 (2) (سلسلة الدراسات المطولة «3»).
- Al-Toum S. M. M. (1997) Surface erosion study in the Granite area of Hulu langat, Selangor, D. E., Malaysia, Unpubl. Ph. D. Thesis, UKM, Malaysia, 439p.
- Ahmad, N. & Brekner, E. (1974) Soil erosion on three Tobago soils, Trop. Agric., 51:311 -324.
- Bascomb, C. L. (1974) Physical and chemical analyses of <2mm samples In: Avery, B. W. & Bascomb, C. L. (eds.) Soil Survey Laboratory Methods, Harpenden, Dorking, UK: 42 -56.
- Bisal, F., (1950) Calibration of splash cup for soil erosion studies, Agr. Eng., 31:621 -622.
- Bollinne, A. (1980) Splash measurements in the field, In: De Boodt, M. & Gabriels, D. (eds) Assessment of Erosion, Chichester: John Wiley & Sons: 441 -453.
- Briggs, D. J. (1977) Soils, London: Butterworths.
- Bubenzer, G. D. & Jones, B. A. (1971) Drop size and impact velocity effects on the detachment of soils under simulated rainfall, Trans. Am. Soc. Agric. Engrs., 14 (4) : 625 -628.
- Ellison, W. D. (1944) Studies of raindrop erosion, Agr. Eng., 25: 131 -136.
- Erpul, G., Norton, L. D., & Gabriels, D., (2002) Raindrop- induced and wind-driven soil particle transport , Catena 47: 227 -243.
- Farmer, E. E. (1973) Relative detachability of soil particles by simulated rainfall, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 37: 629 -633.
- Foth, H. D. (1984) Fundamentals of Soil Science, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Free, G. R. (1960) Erosion characteristics of rainfall, Agr. Eng., 41: 447 -449, 455.
- Froehlich, W., (1986) Influence of the slope gradient and supply area on splash scope of the problem, Z. Geomorph. N .F. Supp. Bd. 60: 105 -114.
- Gao, B., Walter, M. T., Steenhuis, T. S., Parlange, J. -Y., Nakano, K., Rose, C. W. & Hogarth, W. L.(2003) Investigating ponding depth and soil detachability for a mechanistic erosion model using a simple experiment, Journal of Hydrology, 277(1\2): 116- 124.
- Gregory, K. J. & Walling, D. E. (1973) Drainage Basin Form and Process: A Geomorphological Approach, London: Edward Arnold.
- Hammad, A.H.A., Børresen, T. & Haugen L.E.,(2006) Effects of rain characteristics and terracing

- on runoff and erosion under the Mediterranean, *Soil and Tillage Research*, 87 (1): 39 -47.
- Hudson, N. (1971) *Soil Conservation*, Ithaca, New York: Cornell University Press.
 - Janeau, J.L, Bricquet, J.P, Planchon, O., & Valentin, C. (2003) Soil crusting and infiltration on steep slopes in northern Thailand, *European J. Soil Sci.*, 54 (3): 543 -554.
 - Jeje, L. K. & Agu, A. N. (1990) Runoff from bounded plots in Alakowe in Southwestern Nigeria, *Applied Geography*, 10: 63 -74.
 - Kerenyi, A. (1981) A study of the dynamics of drop erosion under laboratory conditions, *IAHS Publ. No.*, 133: 365 -372.
 - Kinnel, P. I. A. (1974) Splash erosion: some observations on the splash-cup technique, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 38: 657 -660.
 - Kinnel, P. I. A. (1976) Splash erosion of primary particles and aggregates *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 40: 966 -968.
 - Lal, R. (1976) Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria, III effects of rainfall characteristics, *Geoderma*, 16: 389- 401.
 - Lal, R. (1976) Soil erosion problems on an Alfisols in Western Nigeria and their control, IITA Monograph no 1.
 - Lal, R. (1981) Analyses of different processes governing soil erosion by water in the tropics, *IAHS Publ.*,133:351 -364.
 - Lal, R., Lawson, T. L. & Anastase, A. H. (1980) Erosivity of tropical rains, In: Boodt, M. D. E. & Gabriels, D. (eds.) *Assessment of Erosion*, Chichester, John Wiley & Sons: 143 -151
 - Linsley, Jr R. K. Kohler, M. A. & Paulhus, J. L. H. (1975) *Hydrology for Engineers (2nd)*, New York: McGraw-Hill, Inc.
 - Legout, C., Leguédois, S., Bissonnais, Y. L., & Issa, O.M., (2005) Splash distance and size distributions for various soils, *Geoderma*, 124 (3 -4): 279- 292 .
 - Lo, A., El-Swaify, S. A., Dangler, E. W. & Shinshiro, L. (1985) Effectiveness of EI30 as an erosivity index in Hawaii, In: EL-Swaify, A. Moldenhaner, W. G. & Lo, A. (eds.) *Soil Erosion and Conservation*, Ankeny, Iowa: Soil Con. Soc. Amer.: 384- 392.
 - Mati, B. M. (1994) Splash transport of soil on a slope under various crop covers, *Agricultural Water Management*, 26: 59- 66.
 - Mazurak, A. P. & Mosher, P. N. (1968) Detachment of soil particles in simulated rainfall, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 32: 716- 719.

- Morgan, R. P. C. (1974) Estimating regional variation in soil erosion hazard in Peninsular Malaysia, *Malay Nat. J.*, 28(2): 94 -106.
- Morgan, R. P. C. (1978) Field studies of rainsplash erosion, *Earth Surface Processes*, 3: 259 -269.
- Morgan, R. P. C., (1981) Field measurement of splash erosion, *IAHS Publ.*, 133:373 -382.
- Morgan, R. P. C. (1995) *Soil erosion and Conservation*, 2nd ed., Essex: Longman Group Limited.
- Onchev, N. G. (1985) Universal index for calculating rainfall erosivity, In: El-Swaify, S. A., Moldenhauer, W. C., & Lo, A. (eds.) *Soil Erosion & Conservation*, Ankeny, Iowa: Soil Con. Soc. Am.: 424 -431.
- Pietravalle, S., Bosch, F.V.D., Welham, S. J., Parker, S. R. & Lovell D. J., (2001) Modelling of rain splash trajectories and prediction of rain splash height, *Agricultural and Forest Meteorology*, 109 (3): 171 -185
- Poesen, J. (1985): An improved splash transport model. *Z. Geomorph. N. F.*, 29: 193 -211.
- Poesen, J. & Savat, J. (1980) Particles – size separation during erosion by splash and runoff, In: De Boodt, M. and Gabriels, D. (eds.) *Assessment of Erosion*, Chichester: John Wiley & Sons.
- Poesen, J. & Savat, J. (1981) Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash, Part II Detachability and transportability measurements, *Catena*, 8: 19 -41.
- Providoli, I., Elsenbeer, H. & Conedera, M. (2002) Post-fire management and splash erosion in a chestnut coppice in southern Switzerland, *Forest Ecology and Management*, 162 (2 -3) 229 - 219.
- Quansah, C. (1981) The effect of soil type, slope, rain intensity and their interactions on splash detachment and transport, *J. Soil Sci.*, 32: 215 -224.
- Quansah, C. (1985) Rate of soil detachment by overland flow, with and without rain, and its relationship with discharge, slope steeples, and soil type, In: EL-Swaify, S. A., Moldenhauer, W. C. & Lo, A. (eds.) *Soil Erosion & Conservation*, Soil Con. Soc. Am., Iowa: 406 -423.
- Salako, F. K., Ghuman, B. S., & Lal, R. (1995) Rainfall erosivity in South-central Nigeria, *Soil Technology*, 7: 279- 290.
- Sharifah Mastura S. A. & Al-Toum, S. (1998) Characteristics of rainsplash erosion in Sungai Tekala forest reserve, Selangor. *D. E., Ilmu Alam* 24:139- 155.
- Sharifah Mastura S. A. & Al-Toum, S. (1999) Soil detachment and transport caused by

- rainsplash erosion: A case study of Sungai Tekala Catchment in Selangor , Malaysian J Trop. Geog 30 (1 -2) 60 -69.
- Sharma, P. P, Gupta, S. C., & Foster. G. R. (1995) Raindrop-induced soil detachment and sediment transport from Interrill Areas, Soil Sci. Soc. Am. J., 59: 727- 734.
 - Shvebs, G. I. (1968) Data on the erosive action of the water drops, Soviet soil Sci., (1 -6) 262- 269.
 - Smith, P. D. & Thomasson, A. J. (1974) Density and water release characteristics, In : Avery, B. W. & Bascomb, C. L. (eds.) Soil Survey Laboratory Methods, Harpenden, Dorking, UK: 42- 56.
 - Torri, D. & Poesen, J. (1992) The effect of soil surface slope on raindrop detachment, Catena, 19: 561 -578.
 - Ulsaker, L. G. & onstad, C. A. (1984) Relating rainfall erosivity factors to soil loss in Kenya, Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 891 -896.
 - Van Dijk, A I. J. M., Meesters, A. G. C. A. & Bruijnzeel, L. A., (2002) Exponential Distribution Theory and the Interpretation of Splash Detachment and Transport Experiments, Soil Sci. Soc. Am. J., 66: 1466 -1474.
 - Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1958) Rainfall energy and its relationship to soil loss, Trans. Am. Geophy. Union., 39 (2): 285 -291.
 - Zhang, G.H., Liu, B.Y., Liu, G. B., Xiao-wu He, X. W., & Nearing, M. A. (2003) Detachment of Undisturbed Soil by Shallow Flow, Soil Sci. Soc. Am. J., 67: 713 -719.

الجدول (1): الخصائص الطبيعية والكيميائية للتربة وموقع أجهزة التناثر في منطقة الدراسة

Parameter	المحطة							العناصر
	مح7	مح6	مح5	مح4	مح3	مح2	مح1	
Bulk density	1.374	1.629	1.527	1.541	1.521	1.554	1.365	الكثافة الظاهرية (جم/سم ³)
Pore space %	48.1	38.5	42.4	41.8	42.6	41.4	48.5	الفراغ البيني %
Clay %	30.5	31.7	30.9	31.7	23	28.2	30.9	الطين %
Silt %	4	3.8	3.6	4.5	3.1	4.1	4.3	السلت %
Fine Sand %	3.63	36.8	36.9	31.6	30.1	35.3	36.3	الرمل الناعم %
Coarse Sand %	29.2	27.7	28.6	32.2	43.8	32.4	28.5	الرمل الخشن %
Organic matter %	4.3	4.1	3.8	3.9	3.6	3.4	3.6	المادة العضوية %
Slope Degree(°)	17.5	15	12.5	10	7.5	5	2.5	درجة الانحدار

الجدول (2): خصائص كميات تفكك (تك) ونقل (ن) التربة جرام) في منطقة الدراسة

(3/12 حتى 1997/11/9 م)

الاختلاف بين تفكك ونقل التربة		كميات نقل التربة					كميات تفكك التربة					المحطة
المعدل	المقدار / جم	المعدل / كجم / م ²	المجموع	المتوسط	أعلي قيمة	أدني قيمة	المعدل / كجم / م ²	المجموع	المتوسط	أعلي قيمة	أدني قيمة	
1-3.2	132.2	7.7	60.38	0.958	5.315	0.008	24.5	192.6	3.057	14.17	0.351	مح1
1-2.94	133.6	8.9	69.85	1.109	6.395	0.008	25.9	203.4	3.228	14.53	0.169	مح2
1-2.59	126.3	10.2	79.28	1.258	7.927	0.083	26.2	205.6	3.264	15.71	0.344	مح3
1-2.47	121.8	10.5	82.44	1.309	8.83	0.005	26	204.2	3.242	18.2	0.178	مح4
1-2.26	122.7	12.4	97.69	1.551	9.634	0.077	28.1	220.4	3.499	19	0.407	مح5
1-1.76	99.9	16.7	131.34	2.085	9.354	0.168	29.4	231.2	3.669	20.89	0.357	مح6
1-1.67	95.1	18.2	142.81	2.421	10.39	0.053	30.2	237.9	4.033	23.19	0.197	مح7

عدد القراءات 63

الجدول (3): معادلات خط الانحدار والارتباط (ر) بين نقل (ن) وتفكك (تك) التربة

المحطة	المعادلة	ر	ر ²	قيمة F
مح 1	$ن = 0.39 + 0.233 تك$	**0.93	**0.87	407
	$ن = 0.156 تك^{1.431}$	**0.89	**0.78	221
مح 2	$ن = 0.388 + 0.144 تك$	**0.90	**0.81	267
	$ن = 4.055 تك^{1.156}$	**0.90	**0.81	272
مح 3	$ن = 0.456 + 0.228 تك$	**0.95	**0.90	558
	$ن = 3.37 تك^{1.138}$	**0.95	**0.91	584
مح 4	$ن = 0.452 + 0.156 تك$	**0.97	**0.93	863
	$ن = 0.256 تك^{1.257}$	**0.91	**0.84	844
مح 5	$ن = 0.5 + 0.197 تك$	**0.96	**0.91	641
	$ن = 0.296 تك^{1.247}$	**0.97	**0.93	857
مح 6	$ن = 0.528 + 0.149 تك$	**0.97	**0.95	1063
	$ن = 0.509 تك^{1.071}$	**0.97	**0.94	1014
مح 7	$ن = 0.583 + 0.068 تك$	**0.95	**0.91	582
	$ن = 0.551 تك^{1.037}$	**0.97	**0.95	1000

**مستوى المعنوية 0.001

الجدول (4): معاملات الارتباط بين كميات تفكك التربة (تك) وواحد وثلاثون مؤشر مطر

المتوسط	المحطة							مؤشرات الأمطار	
	مح7	مح6	مح5	مح4	مح3	مح2	مح1		
0.877	**0.88	**0.88	**0.88	**0.89	**0.87	**0.88	**0.86	AM	مج
0.717	**0.78	**0.73	**0.73	**0.73	**0.71	**0.64	**0.67	MI	كع
0.443	*0.34	**0.48	**0.46	**0.40	**0.45	**0.47	**0.50	TKE	م ط ح
0.436	*0.37	**0.49	**0.45	*0.38	**0.44	**0.43	**0.49	KE> ₂₀	ط ح < ₂₀
0.399	*0.37	**0.47	**0.40	*0.36	**0.39	**0.40	**0.40	KE> ₂₅	ط ح < ₂₅
0.811	**0.81	**0.83	**0.87	**0.81	**0.81	**0.79	**0.76	I _{7.5}	ك _{7.5}
0.831	**0.84	**0.85	**0.88	**0.84	**0.83	**0.81	**0.77	I ₁₅	ك ₁₅
0.877	**0.91	**0.90	**0.92	**0.89	**0.87	**0.84	**0.81	I _{22.5}	ك _{22.5}
0.891	**0.94	**0.92	**0.92	**0.90	**0.88	**0.86	**0.82	I ₃₀	ك ₃₀
0.901	**0.95	**0.93	**0.92	**0.91	**0.89	**0.88	**0.83	I _{37.5}	ك _{37.5}
0.903	**0.95	**0.93	**0.91	**0.91	**0.89	**0.89	**0.84	I ₄₅	ك ₄₅
0.904	**0.95	**0.93	**0.91	**0.91	**0.89	**0.89	**0.85	I _{52.5}	ك _{52.5}
0.903	**0.95	**0.92	**0.91	**0.91	**0.89	**0.89	**0.85	I ₆₀	ك ₆₀
0.753	**0.71	**0.79	**0.81	**0.74	**0.76	**0.74	**0.72	EI _{7.5}	ط ك _{7.5}
0.774	**0.74	**0.82	**0.83	**0.77	**0.78	**0.76	**0.73	EI ₁₅	ط ك ₁₅
0.791	**0.77	**0.84	**0.84	**0.78	**0.79	**0.77	**0.75	EI _{22.5}	ط ك _{22.5}
0.810	**0.83	**0.86	**0.85	**0.79	**0.80	**0.78	**0.76	EI ₃₀	ط ك ₃₀
0.793	**0.82	**0.84	**0.83	**0.77	**0.79	**0.76	**0.74	EI _{37.5}	ط ك _{37.5}
0.796	**0.82	**0.85	**0.82	**0.77	**0.79	**0.77	**0.75	EI ₄₅	ط ك ₄₅
0.786	**0.81	**0.84	**0.81	**0.75	**0.78	**0.76	**0.75	EI _{52.5}	ط ك _{52.5}
0.784	**0.81	**0.84	**0.81	**0.75	**0.78	**0.75	**0.75	EI ₆₀	ط ك ₆₀
0.820	**0.81	**0.81	**0.82	**0.85	**0.81	**0.84	**0.80	Evd	طع
0.796	**0.82	**0.83	**0.85	**0.81	**0.79	**0.76	**0.73	AI _{7.5}	مج ك _{7.5}
0.794	**0.82	**0.83	**0.85	**0.81	**0.78	**0.75	**0.72	AI ₁₅	مج ك ₁₅
0.830	**0.87	**0.86	**0.88	**0.84	**0.81	**0.79	**0.76	AI _{22.5}	مج ك _{22.5}
0.853	**0.93	**0.88	**0.89	**0.87	**0.83	**0.81	**0.78	AI ₃₀	مج ك ₃₀
0.873	**0.84	**0.89	**0.90	**0.89	**0.85	**0.84	**0.80	AI _{37.5}	مج ك _{37.5}
0.877	**0.94	**0.90	**0.89	**0.89	**0.85	**0.85	**0.82	AI ₄₅	مج ك ₄₅
0.880	**0.95	**0.90	**0.89	**0.89	**0.86	**0.85	**0.82	AI _{52.5}	مج ك _{52.5}
0.874	**0.94	**0.89	**0.89	**0.89	**0.85	**0.84	**0.82	AI ₆₀	مج ك ₆₀
0.134	0.18	0.16	0.13	0.01	0.06	0.13	0.18	API	رت

*مستوى المعنوية 0.05

**مستوى المعنوية 0.001

الجدول (5): معاملات التحديد (r^2) للانحدار الخطي نتيجة مؤشرات الأمطار مع كميات تفكك التربة (تك) علي حسب نتيجة المعادلة الأولى والمتوسط العام للمعادلات الأخرى (م1، م2، م3، م4)

مؤشرات الأمطار	المحطة									
	م1	م2	م3	م4	م5	م6	م7	م8	م9	م10
م	0.74	0.77	0.76	0.79	0.78	0.77	0.77	0.704	0.577	0.617
ك	0.45	0.41	0.51	0.54	0.54	0.53	0.62	0.514	0.354	0.386
م ط ح	0.25	0.22	0.21	0.16	0.21	0.23	0.12	0.200	0.306	0.209
ط ح < 20	0.24	0.19	0.20	0.14	0.20	0.24	0.14	0.193	0.257	0.250
ط ح < 25	0.16	0.16	0.15	0.13	0.16	0.22	0.14	0.160	0.210	0.193
ك 7.5	0.59	0.62	0.66	0.66	0.75	0.68	0.66	0.660	0.443	0.494
ك 15	0.59	0.65	0.68	0.70	0.78	0.73	0.71	0.691	0.439	0.561
ك 22.5	0.66	0.71	0.75	0.79	0.85	0.81	0.82	0.770	0.527	0.610
ك 30	0.68	0.74	0.78	0.81	0.85	0.84	0.88	0.797	0.566	0.634
ك 37.5	0.69	0.78	0.79	0.82	0.85	0.86	0.91	0.814	0.580	0.640
ك 45	0.72	0.79	0.79	0.83	0.83	0.86	0.90	0.817	0.589	0.649
ك 52.5	0.72	0.79	0.79	0.83	0.82	0.86	0.90	0.815	0.591	0.636
ك 60	0.72	0.79	0.79	0.83	0.82	0.86	0.91	0.817	0.579	0.603
ط ك 7.5	0.53	0.54	0.57	0.55	0.66	0.62	0.50	0.567	0.414	0.403
ط ك 15	0.54	0.58	0.60	0.58	0.69	0.67	0.55	0.601	0.419	0.431
ط ك 22.5	0.56	0.60	0.63	0.60	0.71	0.71	0.60	0.630	0.476	0.451
ط ك 30	0.58	0.61	0.64	0.62	0.72	0.73	0.68	0.654	0.520	0.460
ط ك 37.5	0.55	0.58	0.62	0.59	0.68	0.71	0.67	0.629	0.531	0.481
ط ك 45	0.57	0.59	0.62	0.60	0.67	0.72	0.67	0.634	0.533	0.450
ط ك 52.5	0.56	0.57	0.61	0.58	0.65	0.70	0.65	0.617	0.546	0.414
ط ك 60	0.56	0.56	0.61	0.57	0.65	0.71	0.66	0.617	0.571	0.411
ط ع	0.63	0.70	0.65	0.72	0.67	0.66	0.66	0.670	0.503	0.418
م ك 7.5	0.54	0.58	0.62	0.66	0.73	0.69	0.68	0.643	0.290	0.629
م ك 15	0.52	0.57	0.61	0.65	0.72	0.69	0.68	0.634	0.283	0.656
م ك 22.5	0.57	0.62	0.66	0.71	0.77	0.75	0.76	0.691	0.329	0.657
م ك 30	0.61	0.66	0.70	0.75	0.79	0.78	0.85	0.734	0.367	0.660
م ك 37.5	0.64	0.70	0.72	0.79	0.80	0.80	0.89	0.763	0.393	0.650
م ك 45	0.67	0.72	0.73	0.80	0.79	0.81	0.89	0.773	0.403	0.654
م ك 52.5	0.67	0.72	0.73	0.80	0.79	0.80	0.89	0.771	0.410	0.641
م ك 60	0.67	0.71	0.72	0.80	0.79	0.80	0.89	0.769	0.414	0.636
رت	0.03	0.02	0.10	0.01	0.02	0.03	0.03	0.034	0.021	0.196

* مستوى المعنوية 0.05

** مستوى المعنوية 0.001

الجدول (6): معادلات خط الانحدار بين تفكك لتربة (تك) وفضل أربع مؤشرات أمطار تفسيراً

للتباين [(مج (AM)، وك₆₀ (I₆₀)، وطك₃₀ (EI₃₀)، ومجك₆₀ (AI₆₀)]

المحطة	المعادلة الخطية تك = أ + ب س	ر ²	المعادلة الأسية تك = أس ^ب	ر ²
مح 1	تك = 0.117 + 0.807 مج	** 0.74	تك = 0.345 مج ^{0.735}	**0.67
مح 2	تك = 0.134 + 0.645 مج	**0.77	تك = 0.212 مج ^{0.905}	**0.68
مح 3	تك = 0.135 + 0.654 مج	**0.76	تك = 0.307 مج ^{0.786}	**0.67
مح 4	تك = 0.156 + 0.231 مج	**0.79	تك = 0.136 مج ^{1.032}	**0.70
مح 5	تك = 0.143 + 0.763 مج	**0.78	تك = 0.329 مج ^{0.803}	**0.76
مح 6	تك = 0.167 + 0.479 مج	**0.77	تك = 0.281 مج ^{0.856}	**0.75
مح 7	تك = 0.187 + 0.301 مج	**0.77	تك = 0.200 مج ^{0.969}	**0.70
مح 1	تك = 0.129 + 0.737 ك ₆₀	**0.72	تك = 0.255 ك ₆₀ ^{0.84}	**0.73
مح 2	تك = 0.145 + 0.829 ك ₆₀	**0.79	تك = 0.198 ك ₆₀ ^{0.955}	**0.74
مح 3	تك = 0.153 + 0.484 ك ₆₀	**0.79	تك = 0.217 ك ₆₀ ^{0.912}	**0.74
مح 4	تك = 0.174 + 0.158 ك ₆₀	**0.83	تك = 0.117 ك ₆₀ ^{1.108}	**0.52
مح 5	تك = 0.163 + 0.538 ك ₆₀	**0.82	تك = 0.261 ك ₆₀ ^{0.890}	**0.84
مح 6	تك = 0.194 + 0.190 ك ₆₀	**0.86	تك = 0.232 ك ₆₀ ^{0.944}	**0.84
مح 7	تك = 0.216 + 0.235 ك ₆₀	**0.91	تك = 0.141 ك ₆₀ ^{1.096}	**0.79
مح 1	تك = 0.000619 + 1.54 طك ₃₀	**0.58	تك = 0.112 طك ₃₀ ^{0.433}	**0.68
مح 2	تك = 0.000705 + 1.577 طك ₃₀	**0.61	تك = 0.076 طك ₃₀ ^{0.483}	**0.53
مح 3	تك = 0.000747 + 1.39 طك ₃₀	**0.64	تك = 0.086 طك ₃₀ ^{0.471}	**0.64
مح 4	تك = 0.000822 + 1.206 طك ₃₀	**0.62	تك = 0.03 طك ₃₀ ^{0.595}	**0.62
مح 5	تك = 0.000825 + 1.408 طك ₃₀	**0.72	تك = 0.106 طك ₃₀ ^{0.456}	**0.71
مح 6	تك = 0.000975 + 1.178 طك ₃₀	**0.73	تك = 0.081 طك ₃₀ ^{0.493}	**0.70
مح 7	تك = 0.001014 + 1.248 طك ₃₀	**0.68	تك = 0.065 طك ₃₀ ^{0.52}	**0.64
مح 1	تك = 0.00143 + 2.42 مجك ₆₀	**0.67	تك = 0.235 مجك ₆₀ ^{0.426}	**0.72
مح 2	تك = 0.00159 + 2.73 مجك ₆₀	**0.71	تك = 0.174 مجك ₆₀ ^{0.491}	**0.77
مح 3	تك = 0.0017 + 2.45 مجك ₆₀	**0.72	تك = 0.202 مجك ₆₀ ^{0.46}	**0.72
مح 4	تك = 0.00197 + 2.33 مجك ₆₀	**0.80	تك = 0.107 مجك ₆₀ ^{0.559}	**0.76
مح 5	تك = 0.00184 + 2.59 مجك ₆₀	**0.79	تك = 0.24 مجك ₆₀ ^{0.451}	**0.82
مح 6	تك = 0.00217 + 2.67 مجك ₆₀	**0.80	تك = 0.217 مجك ₆₀ ^{0.475}	**0.81
مح 7	تك = 0.00245 + 2.50 مجك ₆₀	**0.89	تك = 0.123 مجك ₆₀ ^{0.56}	**0.78

**مستوى المعنوية 0.001

الجدول (7): نتائج تحليل الانحدار المتعدد بين كميات تفكك التربة (تك) وجميع مؤشرات الأمطار على مستوى سبع المحطات

المحطة							مؤشرات الأمطار
مح7	مح6	مح5	مح4	مح3	مح2	مح1	
			0.024		ج*0.057	ب*0.093**	مح
د*0.019							كع
							م ط ح
							ط ح < 25
						ج*0.039	ك7.5
0.011					إ**0.0747	د*0.031	ك15
		إ**0.839	إ**0.847	إ**0.731	د*0.031		ك22.5
							ك30
إ**0.875	إ**0.802						ك37.5
							ك45
							ك52.5
							ك60
			ب*0.029				ط ك7.5
	ب**0.068						ط ك15
		ج*0.023					ط ك22.5
0.008						إ**0.680	ط ك30
							ط ك37.5
		د*0.016					ط ك45
		0.005				0.018	ط ك52.5
		ب*0.027		ب*0.056			ط ك60
ج*0.019							ط ع
ب*0.024					ب*0.061		مح ك15
				0.028			رت
0.937	0.870	0.905	0.876	0.787	0.896	0.843	مجموع ²

**مستوى المعنوية 0.001 * مستوى المعنوية 0.05

أ، ب، ج ترمز إلى تتابع أهمية المؤشرات

الجدول (8): معاملات الارتباط بين كميات نقل التربة وواحد وثلاثين مؤشر مطر

المتوسط	المحطة							مؤشرات
	7مح	6مح	5مح	4مح	3مح	2مح	1مح	الأمطار
0.856	**0.85	**0.86	**0.85	**0.86	**0.85	**0.83	**0.89	مح
0.703	**0.79	**0.70	**0.67	**0.72	**0.77	**0.58	**0.69	ك ع
0.409	*0.28	**0.54	**0.53	**0.43	*0.33	**0.34	**0.41	م ط ح
0.436	*0.34	**0.54	**0.57	**0.46	*0.37	**0.32	**0.45	ط ح < 20
0.381	*0.29	**0.49	**0.49	**0.42	*0.30	**0.30	**0.38	ط ح < 25
0.763	**0.69	**0.75	**0.85	**0.82	**0.77	**0.72	**0.74	ك 7.5
0.780	**0.72	**0.77	**0.85	**0.84	**0.79	**0.73	**0.76	ك 15
0.830	**0.82	**0.84	**0.88	**0.88	**0.84	**0.75	**0.80	ك 22.5
0.846	**0.89	**0.87	**0.88	**0.88	**0.86	**0.74	**0.80	ك 30
0.856	**0.92	**0.88	**0.87	**0.89	**0.87	**0.76	**0.80	ك 37.5
0.864	**0.94	**0.89	**0.86	**0.89	**0.89	**0.76	**0.82	ك 45
0.866	**0.94	**0.89	**0.86	**0.89	**0.88	**0.77	**0.83	ك 52.5
0.869	**0.95	**0.89	**0.86	**0.89	**0.89	**0.77	**0.83	ك 60
0.704	**0.57	**0.74	**0.84	**0.78	**0.67	**0.64	**0.69	ط ك 7.5
0.719	**0.58	**0.76	**0.84	**0.80	**0.69	**0.65	**0.71	ط ك 15
0.737	**0.64	**0.79	**0.85	**0.81	**0.70	**0.65	**0.72	ط ك 22.5
0.760	**0.73	**0.83	**0.85	**0.82	**0.72	**0.64	**0.73	ط ك 30
0.747	**0.73	**0.82	**0.83	**0.82	**0.71	**0.60	**0.72	ط ك 37.5
0.751	**0.74	**0.83	**0.82	**0.82	**0.72	**0.60	**0.73	ط ك 45
0.741	**0.73	**0.82	**0.82	**0.81	**0.70	**0.59	**0.72	ط ك 52.5
0.741	**0.73	**0.83	**0.82	**0.81	**0.71	**0.58	**0.72	ط ك 60
0.794	**0.77	**0.76	**0.77	**0.82	**0.79	**0.80	**0.85	ط ع
0.760	**0.68	**0.72	**0.83	**0.83	**0.79	**0.73	**0.74	مح ك 7.5
0.753	**0.68	**0.71	**0.82	**0.82	**0.79	**0.72	**0.73	مح ك 15
0.793	**0.75	**0.76	**0.84	**0.85	**0.83	**0.75	**0.77	مح ك 22.5
0.821	**0.85	**0.79	**0.84	**0.87	**0.85	**0.76	**0.79	مح ك 30
0.841	**0.88	**0.81	**0.85	**0.89	**0.88	**0.77	**0.81	مح ك 37.5
0.850	**0.90	**0.82	**0.85	**0.89	**0.89	**0.78	**0.82	مح ك 45
0.849	**0.90	**0.82	**0.84	**0.89	**0.89	**0.78	**0.82	مح ك 52.5
0.851	**0.90	**0.81	**0.84	**0.89	**0.89	**0.79	**0.84	مح ك 60
0.124	0.12	0.20	0.15	0.14	0.10	0.08	0.08	رت

* مستوى المعنوية 0.05

** مستوى المعنوية 0.001

الجدول (9): معاملات التحديد (R^2) للانحدار الخطي نتيجة مؤشرات الأمطار مع كميات نقل التربة (ن) حسب نتيجة المعادلة الأولى والمتوسط العام للمعادلات الأخرى (م1، م2، م3، م4)

متوسط R^2				المجموعة							مؤشرات الأمطار
4م	3م	2م	1م	م7	م6	م5	م4	م3	م2	م1	
0.589	0.512	0.656	0.734	**0.72	**0.73	**0.72	**0.75	**0.73	**0.69	**0.80	مج
0.367	0.320	0.390	0.500	**0.63	**0.48	**0.46	**0.53	**0.59	**0.34	**0.47	ك
0.180	0.284	0.321	0.176	*0.08	**0.29	**0.28	**0.19	*0.11	**0.11	**0.17	م ط ح
0.241	0.257	0.303	0.198	**0.12	**0.29	**0.32	**0.21	*0.14	**0.10	**0.21	ط ح < 20
0.174	0.207	0.241	0.153	**0.09	**0.24	**0.24	**0.18	*0.09	**0.09	**0.14	ط ح < 25
0.437	0.380	0.543	0.587	**0.48	**0.56	**0.72	**0.68	**0.60	**0.51	**0.56	ك 7.5
0.499	0.380	0.589	0.614	**0.52	**0.60	**0.73	**0.71	**0.63	**0.53	**0.58	ك 15
0.550	0.463	0.579	0.691	**0.67	0.70	**0.78	**0.78	**0.71	**0.56	**0.64	ك 22.5
0.570	0.497	0.690	0.718	**0.80	**0.75	**0.77	**0.78	**0.74	**0.55	**0.64	ك 30
0.577	0.511	0.700	0.737	**0.85	**0.78	**0.76	**0.79	**0.76	**0.57	**0.65	ك 37.5
0.591	0.521	0.717	0.749	**0.88	**0.79	**0.75	**0.79	**0.78	**0.58	**0.67	ك 45
0.590	0.529	0.719	0.750	**0.89	**0.78	**0.74	**0.79	**0.78	**0.59	**0.68	ك 52.5
0.593	0.560	0.761	0.757	**0.90	**0.79	**0.75	**0.79	**0.79	**0.59	**0.69	ك 60
0.350	0.364	0.491	0.503	**0.32	**0.55	**0.71	**0.61	**0.45	**0.40	**0.48	ط ك 7.5
0.379	0.351	0.52	0.527	**0.34	**0.58	**0.71	**0.65	**0.47	**0.43	**0.51	ط ك 15
0.401	0.414	0.567	0.554	**0.41	**0.63	**0.73	**0.66	**0.50	**0.42	**0.53	ط ك 22.5
0.419	0.463	0.601	0.584	**0.54	**0.69	**0.72	**0.68	**0.51	**0.41	**0.54	ط ك 30
0.383	0.480	0.573	0.563	**0.53	**0.68	**0.69	**0.67	**0.50	**0.36	**0.51	ط ك 37.5
0.387	0.500	0.590	0.570	**0.55	**0.69	**0.68	**0.67	**0.51	**0.36	**0.53	ط ك 45
0.381	0.501	0.606	0.560	**0.54	**0.68	**0.67	**0.66	**0.50	**0.35	**0.52	ط ك 52.5
0.370	0.529	0.630	0.559	**0.52	**0.69	**0.67	**0.66	**0.51	**0.34	**0.52	ط ك 60
0.376	0.491	0.491	0.637	**0.60	**0.59	**0.60	**0.69	**0.62	**0.64	**0.72	ط ع
0.587	0.243	0.681	0.583	**0.47	**0.52	**0.69	**0.69	**0.63	**0.53	**0.54	مج ك 7.5
0.596	0.233	0.686	0.573	**0.46	**0.51	**0.68	**0.68	**0.62	**0.52	**0.54	مج ك 15
0.604	0.276	0.707	0.630	**0.56	**0.58	**0.71	**0.73	**0.68	**0.56	**0.59	مج ك 22.5
0.611	0.310	0.721	0.681	**0.72	**0.63	**0.71	**0.76	**0.73	**0.60	**0.62	مج ك 30
0.603	0.344	0.701	0.706	**0.77	**0.65	**0.72	**0.79	**0.77	**0.59	**0.65	مج ك 37.5
0.609	0.356	0.719	0.720	**0.80	**0.67	**0.72	**0.79	**0.79	**0.60	**0.67	مج ك 45
0.597	0.359	0.703	0.726	**0.81	**0.67	**0.72	**0.79	**0.79	**0.61	**0.69	مج ك 52.5
0.599	0.377	0.761	0.727	**0.81	**0.66	**0.71	**0.80	**0.79	**0.62	**0.70	مج ك 60
0.183	0.023	0.163	0.044	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	رت

*مستوى المعنوية 0.05

**مستوى المعنوية 0.001

الجدول (10): معادلات خط الانحدار بين نقل التربة (ن) وأفضل أربع مؤشرات أمطار تفسيراً للتباين [(مج (AM)، وك₆₀ (I₆₀)، وطك₃₀ (E₃₀). ومجك₆₀ (AI₆₀)]

المحطة	المعادلة الخطية ن = أ + ب س	ر ²	المعادلة الأسية ن = أس ^ب	ر ²
مح 1	ن = 0.051 + 0.016 مج	**0.80	ن = 0.029 مج ^{1.119}	**0.59
مح 2	ن = 0.054 + 0.061 مج	**0.69	ن = 0.04 مج ^{1.058}	**0.57
مح 3	ن = 0.064 + 0.034 مج	**0.73	ن = 0.071 مج ^{0.933}	**0.66
مح 4	ن = 0.071 + 0.06 مج	**0.75	ن = 0.2 مج ^{1.311}	**0.60
مح 5	ن = 0.072 + 0.168 مج	**0.72	ن = 0.686 مج ^{1.031}	**0.76
مح 6	ن = 0.088 + 0.405 مج	**0.73	ن = 0.122 مج ^{0.944}	**0.75
مح 7	ن = 0.111 + 0.206 مج	**0.72	ن = 0.104 مج ^{1.003}	**0.66
مح 1	ن = 0.054 + 0.066 ك ₆₀	**0.69	ن = 0.017 ك ₆₀ ^{1.275}	**0.73
مح 2	ن = 0.057 + 0.117 ك ₆₀	**0.59	ن = 0.041 ك ₆₀ ^{1.074}	**0.65
مح 3	ن = 0.076 + 0.24 ك ₆₀	**0.79	ن = 0.036 ك ₆₀ ^{1.138}	**0.73
مح 4	ن = 0.082 + 0.235 ك ₆₀	**0.79	ن = 0.022 ك ₆₀ ^{1.311}	**0.74
مح 5	ن = 0.082 + 0.097 ك ₆₀	**0.75	ن = 0.049 ك ₆₀ ^{1.151}	**0.84
مح 6	ن = 0.098 + 0.41 ك ₆₀	**0.79	ن = 0.108 ك ₆₀ ^{1.004}	**0.84
مح 7	ن = 0.127 + 0.154 ك ₆₀	**0.90	ن = 0.054 ك ₆₀ ^{1.216}	**0.80
مح 1	ن = 0.00025 + 0.327 طك ₃₀	**0.54	ن = 0.005 طك ₃₀ ^{0.668}	**0.56
مح 2	ن = 0.000253 + 0.5 طك ₃₀	**0.41	ن = 0.012 طك ₃₀ ^{0.559}	**0.45
مح 3	ن = 0.000320 + 0.44 طك ₃₀	**0.51	ن = 0.021 طك ₃₀ ^{0.516}	**0.56
مح 4	ن = 0.000404 + 0.273 طك ₃₀	**0.68	ن = 0.003 طك ₃₀ ^{0.767}	**0.59
مح 5	ن = 0.000432 + 0.448 طك ₃₀	**0.72	ن = 0.015 طك ₃₀ ^{0.598}	**0.75
مح 6	ن = 0.000505 + 0.801 طك ₃₀	**0.69	ن = 0.032 طك ₃₀ ^{0.536}	**0.71
مح 7	ن = 0.000534 + 0.927 طك ₃₀	**0.54	ن = 0.038 طك ₃₀ ^{0.517}	**0.59
مح 1	ن = 0.000623 + 0.61 مجك ₆₀	**0.70	ن = 0.014 مجك ₆₀ ^{0.656}	**0.75
مح 2	ن = 0.000670 + 0.82 مجك ₆₀	**0.62	ن = 0.034 مجك ₆₀ ^{0.558}	**0.67
مح 3	ن = 0.000878 + 0.69 مجك ₆₀	**0.79	ن = 0.032 مجك ₆₀ ^{0.581}	**0.73
مح 4	ن = 0.000944 + 0.76 مجك ₆₀	**0.80	ن = 0.019 مجك ₆₀ ^{0.666}	**0.74
مح 5	ن = 0.000921 + 1.12 مجك ₆₀	**0.71	ن = 0.044 مجك ₆₀ ^{0.584}	**0.83
مح 6	ن = 0.00103 + 1.72 مجك ₆₀	**0.66	ن = 0.099 مجك ₆₀ ^{0.507}	**0.82
مح 7	ن = 0.00138 + 1.53 مجك ₆₀	**0.81	ن = 0.046 مجك ₆₀ ^{0.625}	**0.79

**مستوى المعنوية 0.001

الجدول (11): نتائج تحليل الانحدار المتعدد بين كميات تناثر التربة وجميع مؤشرات الأمطار على مستوى سبعة المحطات

الحطة							مؤشرات الأمطار
مع7	مع6	مع5	مع4	مع3	مع2	مع1	
			ب**0.097		ا**0.548	ا**0.718	مع
							كع
				0.010			م ط ح
						0.005	ط ح < 25
					ج*0.095		ك7.5
							ك15
		0.014			د*0.026		ك22.5
						0.004	ك30
	ب*0.040	و*0.019				د**0.024	ك37.5
						ب**0.094	ك45
					ب**0.195		ك52.5
ا**0.848		د*0.019				و*0.022	ك60
ب*0.035		ج*0.032	ج*0.022			ج**0.089	ط ك7.5
		ا**0.813					ط ك15
			ا**0.824				ط ك22.5
							ط ك30
	ا**0.783						ط ك37.5
				0.018			ط ك45
0.014							ط ك52.5
				ب*0.047			ط ك60
							طع
0.009		ب*0.049		ا**0.836			مع ك15
						ى*0.018	رت
0.883	0.823	0.932	0.943	0.883	0.864	0.965	مجموع ر ²

**مستوى المعنوية 0.001 *مستوى المعنوية 0.05

أ، ب، ج ترمز إلى تتابع أهمية المؤشرات