



تقدير تعرية التربة في حوض وادي وثيلان جنوبي مدينة الرياض بالمملكة العربية السعودية: دراسة في الجيومورفولوجيا البيئية

أ.د. محمد بوروبة

أستاذ الجغرافيا الطبيعية

شركة البعد المطور لتقنية المعلومات – الرياض

boroba2014@hotmail.com

د. فرحان الجعيدى

أستاذ مشارك- قسم الجغرافيا

كلية الآداب - جامعة الملك سعود

Farh16@ksu.edu.sa

المستخلص :

تاريخ استقبال البحث: ١- ١١- ٢٠٢٠
تاريخ قبول النشر: ٢٥- ١٢- ٢٠٢٠

في غياب القياسات الفعلية لنشاط التعرية المائية، تتناول هذه الدراسة تقدير التعرية بتطبيق الذي يعتمد على المتوسط السنوي للأمطار وعلى المعدل السنوي Gavrilović EPM نموذج جافريلوفيك ومعامل (X_{ai}) ومعامل حماية التربة (Z) لدرجات الحرارة وعلى قيم الجداول المرجعية لمعامل التعرية من جهة وعلى متوسط الانحدار (ϕ) ومعامل تطور شبكة المجاري المائية (γ_i) قابلية التربة للتعرية (I_i) وفارق الارتفاع بين متوسط ارتفاع الحوض المائي O ومحيط الحوض المائي (I_i) للحوض المائي المشتقة بواسطة مخرجات التحليل الرقمي لنموذج (L) وطول الحوض المائي (D) وارتفاع مصبه $(SRTM\ Dem\ 30m)$ الارتفاع الرقمي .

ولقد اظهرت نتائج تقدير عناصر التعرية المائية المحسوبة بواسطة نموذج جافريلوفيك تجانس مما أدى إلى تجانس إجمالي (Gg) ومقدار الحمولة الصلبة السنوية (Wg) إجمالي حجم التعرية السنوي على مستوى مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان التي تعادل $٦٦٣ (Wsp)$ التعرية النوعية السنوي $كم^٢$.

ولقد أظهرت نتيجة الفحص الاحصائي Shapiro-Wilk مدى تماثل التوزيع الطبيعي لعناصر التعرية المائية المذكورة مع التوزيع الطبيعي لكميات الأمطار السنوية. ولقد أكدت نتائج فحوص تجانس التباين بواسطة اختبار Levene وتجانس توزيع بيانات الأمطار والتعرية المائية بواسطة اختبار هارتلي Hartley's $F_{max-ratio}$ والفحص الاحصائي لأهمية الاتجاه العام لتغير الأمطار ونشاط التعرية المائية بواسطة اختبار "t" عدم أهمية التباينات السنوية لهما، عدم أهمية الاتجاه المتناوب لهما خلال الفترة تدر.

الكلمات المفتاحية:

نموذج جافريلوفيك، الأمطار السنوية، إجمالي حجم التعرية السنوي، الحمولة الصلبة السنوية، إجمالي التعرية النوعية السنوي، الفحص الاحصائي، حوض وادي وثيلان، المملكة العربية السعودية.

المقدمة

تلعب الدراسات الجيومورفولوجية دوراً هاماً في تقديم الحلول للمشاكل التي تواجهها عمليات التخطيط والادارة البيئية وتنفيذ المشاريع الهندسية (فرحان، ١٩٨٠؛ سلامة، ٢٠٠٤). وظهر الاهتمام بالجيومورفولوجيا البيئية في الولايات المتحدة منذ نهاية الستينيات الميلادية في قانون سياسة البيئة الطبيعية الذي صدر في عام ١٩٦٩م. وفي عام ١٩٨٥م ألزمت المفوضية الأوروبية الدول الأعضاء بسن التشريعات المناسبة التي تأخذ بعين الاعتبار عملية تقييم الآثار البيئية Environmental impact assessment (EIA) ضمن مقترحات إنشاء المشاريع التطويرية الكبرى. وبالتالي أصبحت الدراسات الجيومورفولوجية أحد أهم ركائز العملية التخطيطية في دول العالم المتقدمة والبنك الدولي وبعض الوكالات المرتبطة به مثل (US Agency for International Development (USAID)، (Cooke and Doornkamp, 1993). وتتجلى أهمية الدراسات الجيومورفولوجية في عملية تقييم الآثار البيئية من خلال تحليل الأشكال الأرضية والعوامل المؤدية إلى تكوين المواد السطحية بواسطة عمليات التعرية. وتعتمد نتائج التحليل على الخرائط الجيومورفولوجية المزودة بتحليل منتظم لكل من العمليات Process والمواد Materials والتفاعل فيما بينهما.

وفي الآونة الأخيرة ساهم التطور المذهل الذي طرأ على تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في توفير البيانات الرقمية التي تساعد في حل الكثير من المشكلات المتعلقة بالجيومورفولوجيا البيئية. وتعمل هذه التقنيات على تسريع عملية التحليل الجيومورفولوجي وبناء النماذج الهيدرولوجية التي تساعد في حل الكثير من المشاكل البيئية خاصة المتعلقة بفيضانات الأودية الداخلة على المناطق السكنية والعمرانية والتي تجري داخل المحميات والمنتزهات الوطنية الكبرى التي يرتادها السواح والزوار بأعداد كبيرة (صورة رقم ١).



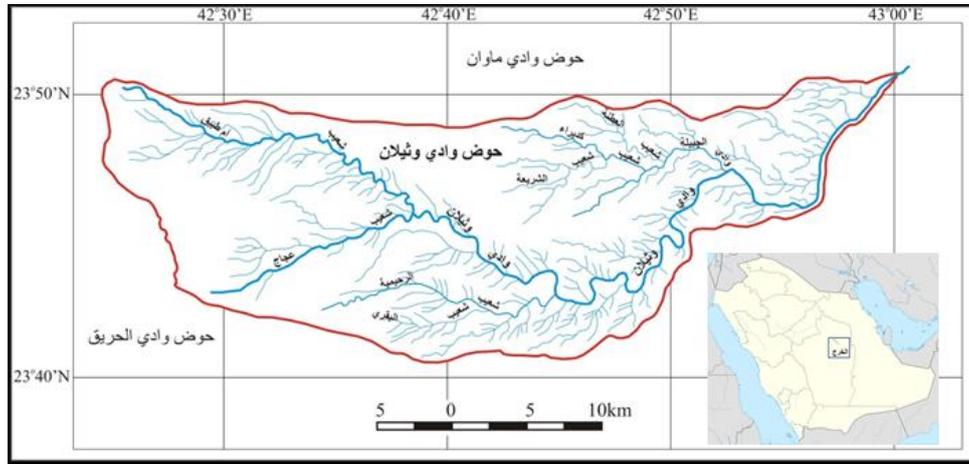
صورة رقم (١): الغطاء الشجري والتنزه في منتزة وادي وثيلان

وتتطلب معرفة العوامل المؤثرة على المخاطر البيئية مثل السيول والتعرية المصاحبة لها توفير قياسات كمية لنشاطها تساهم في بناء تصور علمي للآثار المترتبة عنها قد ينتهي إلى بناء نماذج رياضية تساعد في عملية التقدير بأحواض التصريف التي تفتقد لقياسات فعلية للجريان السطحي وللتعرية المصاحبة له. ويقع منتزه وثيلان الوطني في جنوب مدينة الرياض وهو يخضع حالياً لعمليات التأهيل البيئي ويخضع لحماية بيئية صارمة للاستفادة منه في تطوير النشاط السياحي. وحيث أن وادي وثيلان يخترق هذا المنتزه، لذا فإن هذه الدراسة تهدف إلى محاولة قياس مدى مساهمة الجيومورفولوجيا التطبيقية في التعرف على إحدى أهم مظاهر التدهور البيئي وهي التعرية المائية الناتجة عن النشاط الجيومورفولوجي للوادي من خلال تطبيق نموذج جافريلوفيك EPM Gavrilović في تقدير التعرية المائية خلال الفترة الممتدة بين عامي ١٩٧٥ و ٢٠١٨م (٤٤ سنة) في غياب قياسات فعلية لكمية المواد المنحوتة بواسطة مياه الأمطار والجريان السطحي.

١ - منطقة الدراسة

يعد منتزه وثيلان الوطني أحد أكبر المنتزهات المجاورة للرياض العاصمة ويخترقه وادي وثيلان من الغرب إلى الجنوب الشرقي حتى ينتهي في وادي السوط بين دائرتي العرض $23^{\circ}30'$ و $24^{\circ}00'$ شمالاً و بين خطي الطول $43^{\circ}00'$ و $42^{\circ}00'$ شرقاً. ومن الناحية الجيومورفولوجية يصرف هذا الوادي الجزء الجنوبي لهضبة عليّة الرسوبية. ويحد حوض وادي وثيلان من الشمال حوض وادي ماوان ومن الغرب وادي الحريق ومن الجنوب وادي السوط الذي ينتهي إليه الوادي بالقرب من طريق الرياض الحوطة. وينحدر هذا الوادي بشكل عام باتجاه الجنوب الشرقي حتى ينتهي في وادي السوط. وتبلغ مساحة التصريف للوادي ما يقارب ٦٦٤ كم^٢ بين أقصى إرتفاع (١١٧١م) وأدنى إرتفاع (٥١٦م) وبمتوسط إرتفاع يصل إلى ٨٢٥م وبنسبة متوسط إنحدار تصل ١.٢%. كما يبلغ إجمالي عدد الأودية والمجاري

المائية ٣١٥٤ مجرى بمجموع اطوال يصل إلى حوالي ١٢٧٦ كم. وتتسم خصائص الحوض الشكلية والتضاريسية بنسبة التضرس تبلغ ١٥٧ م/كم وبمعامل للتضاريس النسبية بلغ ٨.٣ م/كم وبمعامل شكل بلغ ٠.١٧. وبنسبتي إستدارة واستطالة بلغتا على التوالي ٠.٤٢ و ٠.٤٦ (الجعيدى وآخرون، ٢٠٠٩). ومن الناحية الجيولوجية يتكون حوض وادي وثيلان من مكاشف صخرية تترتب من الأعلى إلى الأسفل في عدة وحدات جيولوجية متنوعة من حيث التركيب الصخري ومختلفة من حيث العمر الجيولوجي بالإضافة إلى رواسب الزمن الرابع. وتوضح الخريطة الجيولوجية الامتداد الكبير لصخور تكوين الجبيلة Jubaila الذي يعود الى العصر الجوراسي الاعلى بسمك يتراوح بين ٦٠ و ٧٠م. وتتألف صخور هذا التكوين من الحجر الجيري المائل الى اللون الاصفر مع بعض الطبقات الرقيقة من الكلكارينات والدولومايت المتماسك. ويلى صخور تكوين الجبيلة صخور جيرية اخرى تعرف باسم تكوين العرب Arab. وتتألف هذه الصخور التي يبلغ سمكها ما يقارب ١٠٠م من الحجر الجيري البني والبيني الفاتح والدولومايت والكلكارينات مع حدوث تغيير في بعض الصخور المكونة لها في بعض الاماكن وتحويلها إلى بريشيا نتيجة لهبوط الطبقة التي تعرضت للإذابة بفعل المياه.



شكل رقم (١) موقع حوض وادي وثيلان في وسط المملكة والشبكة المائية والأحواض المجاورة

وترتبط الحدود الزمنية لهذه الدراسة بالسلسلة الزمنية للأمطار اليومية المسجلة خلال الفترة الممتدة من ١ يناير ١٩٧٥ إلى ٣١ ديسمبر ٢٠١٨ بمحطتي حوطة بني تميم والحريق المطريتين التابعتين لوزارة البيئة والمياه والزراعة. وتشتمل الحدود الزمنية على ٤٤ قراءة لمجموع الأمطار السنوية.

٢- الدراسات السابقة

تعتبر ظاهرة التعرية المائية من أهم مظاهر التدهور البيئي بمختلف مناطق العالم لارتباطها الوثيق بالكثير من العوامل الطبيعية والبشرية المؤثرة عليها. ولقد تم تطوير العديد من النماذج الرياضية كحلول بديلة لتقدير نواتج الارسابات التي تحدثها التعرية المائية المرتبطة بنشاط الجريان السطحي في أحواض التصريف التي تقتقر لقياسات فعلية للتعرية بمختلف أشكالها كالحمولة الصلبة ونسبة تعكر مياه

الجريان السطحي وارتفاع مستويات التوحد بالسدود المائية وتطور عمق الحفر الرأسى لمجري المايئة وغيرها. ومن النماذج الأكثر استخداماً الآن في تقدير تعرية التربة نموذج المعادلة العالمية لتعرية التربة المعروف اختصاراً بمسمى¹ USLE (Wishmeier and Smith, 1978) ونموذج المعادلة العالمية لتعرية التربة المعدل المعروف اختصاراً بمسمى² MUSLE (Williams, 1975) ونموذج مشروع تقدير التعرية المائية المعروف اختصاراً بمسمى³ WEPP (Flanagan et al., 2007) ونموذج معادلة تعرية التربة العالمية المعروف اختصاراً بمسمى⁴ RUSLE (Renard et al., 1991) ونموذج هيئة جنوب غرب المحيط الهادئ المشتركة المعروف اختصاراً بمسمى⁵ PSIAC (PSIAC, 1968) والذي تم تطويره من طرف نفس الهيئة في عام ١٩٨٢ ليصبح بمسمى⁶ MPSIAC.

ويعتبر نموذج جافريلوفيك (Gavrilović method (Erosion Potential Method, EPM) من الطرق التجريبية الكمية لتقدير التعرية المائية بأحواض التصريف (Gavrilović, 1988). وقد شاع تطبيق هذا النموذج لأول مرة على مساحة التصريف لحوض وادي مورافا Morava بصربيا ضمن دراسة استهدفت إنجاز خرائط أشكال التعرية وتقدير الرواسب الناتجة عن التعرية المائية وتصنيف المجاري المائية. ولقد تم تطبيق هذا النموذج على نطاق واسع في دول البلقان (Bemporad et al. 1997; Globevnik et al. 2003; Fanetti & Vezzo 2007; Solaimani et al. 2009; Amiri et al. 2012; Kayimierski et al. 2013; Spalević et al. 2014; Dragičević et al. 2014). ثم شاع تطبيقه في دول أخرى مثل سويسرا (De Cesare et al., 1998) واليونان (Dalaris et al., 2013 ; Kastradis & Kamperidou, 2015 ; Efhimiou et al., 2016 ; 2017) وإيطاليا (Milanesi et al., 2015 ; Auddino et al., 2015) وإيران وبدول أمريكا اللاتينية (Lense et al., 2019 ; Da Silva et al., 2014 ; Sakuno et al., 2020) والصين (Mushtak and Chen, 2005) وتايوان (Lin et al., 2002) ونيبال (Chalise et al., 2019).

ونظراً لاعتماد تطبيق هذا النموذج على متطلبات توفرها بسهولة مخرجات التحليل الرقمي لنماذج الارتفاع الرقمي DEM تزايد استخدام هذا النموذج بمختلف دول العالم بواسطة التوظيف المتكامل لقياسات الأمطار وتقنية الاستشعار عن بعد المستخدمة في تحديد معامل حماية التربة (Y_{ai}) التي يوفرها الغطاء النباتي الطبيعي ونظم المعلومات الجغرافية في تحديد فارق الارتفاع (D) وانحدار سطح الأرض (I_i) وطول محيط الحوض المائي (O) ومساحة تصريفه (F) واستخلاص معامل تطور شبكة المجاري المائية (\emptyset) كمتطلبات أساسية لتطبيق معادلة جافريلوفيك باتباع عدة خطوات عملية متسلسلة ومتراصة ومتاحة بواسطة أدوات المحلل المكاني Spatial Analyst التي يوفرها برنامج (Elhag et al., 2019 ; Minčev & Blinkov, 2007; Noor et al., 2016; ArcGIS Emmanouloudis et al., 2003; Silva Tavares et al., 2019).

² - USLE : Universal Soil Loss Equation.

³ - MUSLE : Modified Universal Soil Loss Equation.

⁴ - WEPP : Water Erosion Prediction Project.

⁵ - RUSLE : Revised Universal Soil Loss Equation.

⁶ - PSIAC : Pacific Southwest Inter-Agency Committee.

⁷ - MPSIAC : Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee.

وتعتبر الدراسات الجيومورفولوجية التي تطرقت إلى التعرية المائية في الأحواض المائية قليلة في الدول العربية. ولقد اعتمدت معظم هذه الدراسات على تطبيق نماذج مختلفة في تقدير تعرية التربة تختلف عن نموذج جافريلوفيك، نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر دراسات (السامرائي وآخرون، ٢٠١٤) عن تأثير العمليات المورفومناخية والمورفوديناميكية (عملية التجوية والتعرية المائية) على انجراف التربة في حوض كلاله بشمال شرق العراق والتي اعتمدت على قياسات التعرية الأخدودية Rills erosion بتطبيق طريقة Bergsam و (حبيب والشهابي، ٢٠١٢) بسوريا عن تحليل تأثير ظاهرة التصحر على تعرية التربة وتدهورها و (الهيتي والرفاعي، ٢٠١٧) بالعراق و (الحفيان ومحمد، ٢٠١٦) بالمملكة العربية السعودية. ومن جهة أخرى ظهرت بعض الدراسات التي ركزت على تقدير معدل التعرية بتطبيق النموذج العالمي RUSLE كدراسة انجراف التربة بحوض وادي الحسا الأوسط بالأردن (الشباطات وقوقزه، ٢٠١٣) وتقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب بالأردن (المحمد والبليسي، ٢٠١٩) وتقدير الانجراف المائي باستخدام النمذجة الرياضية لمعادلتى WEPP-RUSLE بمنطقة الشيخ بدر بسوريا (صفوان، ٢٠١٧).

وتعد الدراسات العربية التي اعتمدت تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تقدير التعرية المائية وتآكل التربة قليلة، نذكر منها دراسة (Salahaldin et al., 2016) التي استخدمت تقنيات نظم المعلومات الجغرافية في تطبيق نموذج جافريلوفيك (EPM) لتقدير تعرية التربة بمنطقة جرميان بكرديستان العراق ودراسة (Zahnoun et al., 2019) التي اعتمدت على التوظيف المتكامل لنظم المعلومات الجغرافية ونموذج جافريلوفيك في تقدير التعرية المائية وتمثيل أشكالها على الخريطة بحوض وادي كرت السفلي (شرق منطقة الريف-المغرب).

وعلى المستوى المحلي تناولت دراسة الغيلاني في عام ٢٠١٧ التقدير الكمي لتآكل التربة في حوض وادي يللم بتطبيق المعادلة العالمية لفقدان التربة RUSLE وباستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد RS ونظم المعلومات الجغرافية GIS. وقد اعتمدت هذه الدراسة على نتائج تحليل اربعة وثلاثين عينة للتربة تم جمعها عشوائيا من حوض الوادي لحساب معامل التآكل Factor erodibility (K). ولقد انتهت الدراسة إلى إنجاز خريطة انجراف التربة تمثل خمس فئات لخطر انجراف التربة تم تصنيفها باستخدام معامل (K). وقد اظهرت نتائج هذه الدراسة أن ٣.١٩% من حوض وادي يللم يتعرض لانجراف شديد.

كما تطرقت دراسة أخرى قدمها (Azaiez, 2020) إلى تقدير تعرية التربة في حوض وادي مربا بمساحة تصريف تبلغ ٢٨.٣ كم^٢ تمتد بمرتفعات عسير. ولقد توصلت هذه الدراسة إلى تحديد الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لحوض التصريف. وأظهرت نتائج هذه الدراسة أن المعامل المطري الذي يمثل تركيز تساقط الأمطار في الزمن يتراوح بين ١٠٨ و ٢١٦ خلال السنة الرطبة وبين ٦ و ٣٧.٥ خلال السنة الجافة وأن معامل قابلية التربة للتعرية (K) يتراوح بين ٥ و ٢٤. وعليه فإن معدل تعرية التربة بلغ أقصاه بما يعادل ٧٨ طن/هكتار/سنة. ولقد تبين أن ١٥% فقط من مساحة التصريف لحوض وادي مربا تتعرض للتعرية الشديدة نظراً لانتشار الزراعة التقليدية والاعتناء بالتربة على المدرجات الزراعية. وتقدير تعرية التربة بحوض وادي يللم بالمملكة العربية السعودية (Bahrawi et al., 2016).

وتعتبر دراسة (الغامدي، ٢٠٠٩) التي تطرق فيها إلى تطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية بحوض وادي نعمان بواسطة تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية رائدة في دراسة ظاهرة التدهور البيئي الذي يحدثه التطور المتزايد لنشاط التعرية بأحواض التصريف في المملكة السعودية. ولقد أظهرت نتائج الدراسة أن ٣٠% من مساحة التصريف للحوض المدروس تتعرض إلى تعرية شديدة بمعدل يزيد عن ٨٠٠ م^٣/كم^٢/سنة من المواد المنحوتة، في حين بلغ المعدل السنوي للتعرية ٢٨ م^٣/كم^٢/سنة لإجمالي مساحة التصريف

٣- أسباب اختيار الموضوع

تكمن أهمية موضوع الدراسة في إمكانية التوظيف المتكامل لمخرجات التحليل الرقمي لنموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m لحوض وادي وثيلان المتاحة في الموقع الإلكتروني لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية [USGShttps://earthexplorer.usgs.gov](https://earthexplorer.usgs.gov) وبيانات الأمطار السنوية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٨ بالمحطات التي تقع بالقرب من حوض الوادي وهما محطة الحريق R104-463 (الجدول رقم ١) ومحطة الحوطة R115-472 لتقدير نشاط التعرية المائية بتطبيق نموذج جافريلوفيك EPM Gavrilović في غياب قياسات فعلية للحمولة الصلبة وكمية الرواسب المنحوتة بوادي وثيلان وروافده.

٤- أهداف الدراسة

تهدف الدراسة إلى تحقيق أربعة أهداف هي :

- ١- تحليل توزيع كميات الأمطار بمحطتي حوطة بني تميم والحريق من جهة واستخدامها في حساب المتوسط السنوي الموزون لأمطار حوض وادي وثيلان من جهة ثانية.
- ٢- تحديد الأهمية الإحصائية لتباين كميات الأمطار بمحطتي حوطة بني تميم والحريق خلال الفترة المدروسة.
- ٣- تحليل تباينات توزيع إجمالي ناتج التعرية النوعية لحوض وادي وثيلان وتحديد أهميتها الإحصائية.
- ٤- تحديد اتجاه التغيير العام لنشاط التعرية المائية بحوض وادي وثيلان إلى الارتفاع بمرور الزمن.

٥- مشكلة الدراسة

تتمثل مشكلة الدراسة في جانبين هما :

- (أ)- صعوبة إجراء القياسات الحقلية لكمية الرواسب المنقولة بمياه جريان وادي وثيلان وروافده خلال فترات هطول الأمطار التي كثيراً ما يصاحبها جريان سيلبي يتسم بالخطورة، مما يستدعي توظيف بدائل أخرى لتقدير كميات الحمولة الصلبة للتعرية المائية.

(ب)- عدم توفر بيانات لقياسات فعلية للتعرية المائية بسبب افتقار حوض وادي وثيلان لمحطة هيدرومترية لقياس الجريان السطحي ونسبة تعكر مياهه.

٦- تساؤلات الدراسة

تبعاً للأهداف المذكورة تتلخص تساؤلات الدراسة في ما يلي :

١- ما هو شكل توزيع كميات الأمطار بمحطتي حوطة بني تميم والحريق والمتوسط السنوي الموزون لها بحوض وادي وثيلان؟.

٢- ما هي الأهمية الاحصائية لتباين كميات الأمطار بمحطتي حوطة بني تميم والحريق خلال الفترة المدروسة؟

٣- ما هي تباينات توزيع إجمالي ناتج التعرية النوعية لحوض وادي وثيلان وهل هي حقيقية؟

٤- ما هو اتجاه التغيير العام لنشاط التعرية المائية بمرور الزمن بحوض وادي وثيلان؟

٧- منهج الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج التحليلي الاستقرائي الذي يعتمد على استخدام البيانات الأولية المتاحة في المراجع والمقالات العلمية المنشورة وبيانات وتقارير الشركات الاستشارية والمعلومات المستخلصة من الزيارة الحقلية الإستطلاعية لمنطقة الدراسة. كما تعتمد منهجية هذه الدراسة على منهج التحليل الكمي الاستقرائي باستخدام أدوات التحليل Analyze المتاحة في برنامج SPSS لتحليل الخصائص الاحصائية للبيانات المطرية والتعرية المائية وتحليل بيانات نموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m لحوض وادي وثيلان.

٨- أساليب الدراسة

تعتمد منهجية هذه الدراسة على أساليب التحليل الكمي الاستقرائي باستخدام أدوات التحليل Analyze المتاحة في برنامج SPSS باتباع الخطوات العملية التالية :

(١)- التحليل الاحصائي لبيانات الأمطار والتعرية المائية للفترة ١٩٨٥-٢٠١٨ بالمحطات التي تقع بالقرب من حوض الوادي وهما محطة الحريق R104-463 (الجدول رقم ١) ومحطة الحوطة R115-472 باستخدام أدوات التحليل Analyze المتاحة ببرنامج SPSS. وتتلخص منهجية التحليل الاحصائي في الخطوات العملية التالية :

(أ)- تحليل شكل توزيع البيانات المطرية Normality test واختبارها للفحص الاحصائي بواسطة اختبار شاببيرو- ويلك Shapiro-Wilk للتأكد من أهميتها الاحصائية.

(ب)- فحص تجانس التباين Homogeneity of variances test لبيانات الأمطار والتعرية المائية واختبارها للفحص الاحصائي بواسطة اختبار Levene للتأكد من أهميتها الاحصائية.

(ج)- فحص التباين الأحادي ANOVA لبيانات الأمطار والتعرية المائية في تحديد معنوية الاختلاف بين متوسطات الأمطار والتعرية المائية السنوية.

(د)- تحليل اتجاه التغير العام للبيانات المطرية وللتعرية المائية بتطبيق طريقة المتوسطات النصفية Semi-Averages على بيانات الفترتين (١٩٧٥-١٩٩٦) و (١٩٩٧-٢٠١٨) لتحديد اتجاه التغير العام واخضاعه لفحص دلالة الفروق بواسطة اختبار "t" ستودنت للتأكد من الأهمية الاحصائية لاتجاهات التغير الحاصلة.

(هـ)- فحص تجانس بيانات التعرية المائية بتطبيق طريقة هارتلي نسبة Hartley's F_{max} -ratio لفرق التباين بين كل فترتين في المحطة الواحدة. وتتطلب هذه الطريقة تقسيم عدد السنوات المدروسة على فترتين متساويتين إذا كان عدد السنوات زوجياً أو متماثلتين إذا كان عدد السنوات فردياً. وتحسب قيمة نسبة Hartley's F_{max} -ratio بالعلاقة التالية :

$$F_{max} - ratio = \frac{\sigma_{max}^2}{\sigma_{min}^2} \quad (1)$$

بحيث يمثل :

σ_{min}^2 : مربع التباين الأدنى.

σ_{max}^2 : مربع التباين الأقصى.

بعد حساب نسبة F_{max} -ratio تقارن قيمتها المحسوبة بقيمة F_{max} -ratio الحرجة في جدول خاص بذلك عند مستوى الأهمية ودرجة الحرية المناسبين . ويشترط أن تكون قيمة F_{max} -ratio المحسوبة أقل من قيمة F_{max} -ratio الحرجة لكي تكون كميات الأمطار المسجلة بالمحطة متجانسة إحصائياً.

(٢) - تقدير وتحليل نشاط التعرية المائية

تتلخص الخطوات العملية لتقدير وتحليل نشاط التعرية المائية في ما يلي :

(أ)- التحليل الرقمي لبيانات نموذج الارتفاع الرقمي SRTM Dem 30m لحوض وادي وثيلان الذي تم الحصول عليه مجاناً من بيانات STRM المتوفرة في الموقع الإلكتروني لهيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS <https://earthexplorer.usgs.gov> باستخدام أدوات المحلل المكاني Spatial Analyst المتاحة ببرنامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS. ويهدف هذا التحليل إلى الحصول على متطلبات تطبيق نموذج جافريلوفيك Gavrilović التي يمثلها الجدول ١ : (Gavrilović, 1988 ; Brebbia, 2011)

(أ)- تقدير إجمالي التعرية النوعي السنوي :

يقدر إجمالي التعرية النوعي السنوي الذي ينتج من التعرية المائية سنوياً بتطبيق المعادلة التالية :

$$W_{sp} (m^3/km^2/year) = T \cdot H \cdot \pi \cdot (\hat{Z}^{1/3}) \quad (1)$$

بحيث يمثل :

. W_{sp} ($m^3/km^2/year$) : حجم التعرية النوعية السنوي (الرواسب) ($m^3/km^2/year$).. H : المتوسط السنوي للأمطار (مم).. π : عدد ثابت يساوي ٣.١٤١٦ .

الجدول ١ : متطلبات حساب معدل التعرية المائية بتطبيق نموذج جافريلوفيتش

المصدر	وحدة القياس	الرمز	المتطلب	وحدة القياس	الرمز	المتغير
بيانات درجة الحرارة	درجة الحرارة المئوية ($^{\circ}C$)	T	المعامل الحراري	$(m^3/km^2/year)$	W_{sp}	إجمالي التعرية النوعية السنوي
بيانات الأمطار	(مم)	H	المتوسط السنوي للأمطار			
---	عدد ثابت	π	عدد ثابت			
معادلة النموذج	---	\hat{Z}	معامل التعرية			
قيمة معيارية جدولية	---	X_{ai}	معامل حماية التربة	---	\hat{Z}	معامل التعرية
قيمة معيارية جدولية	---	Y_i	معامل قابلية التعرية للتربة			
قيمة معيارية جدولية	---	ϕ	معامل تطور اشكال التعرية			
مخرجات DEM	نسبة مئوية	I_i	متوسط الانحدار (%)			
معادلة النموذج	$(m^3/km^2/year)$	W_{sp}	إجمالي التعرية السنوي	$(m^3/year)$	W_g	معدل حجم التعرية
مخرجات DEM	كلم ^٢	F	مساحة الحوض المائي			
معادلة النموذج	$(m^3/year)$	W_g	معدل حجم التعرية	$(m^3/year)$	Gg	معدل الحمولة الصلبة السنوي
معادلة النموذج	(م/كم)	Ru	معامل الاحتفاظ بالرواسب			
مخرجات DEM	كم	O	محيط الحوض	(م/كم)	Ru	معامل الاحتفاظ بالرواسب
مخرجات DEM	م	Z'	متوسط الارتفاع للحوض			
مخرجات DEM	م	z	الارتفاع الأدنى للحوض			
مخرجات DEM	كم	L	طول الحوض المائي			

T : المعامل الحراري ($^{\circ}m$) وهو يساوي :

$$T = (0.1 t + 0.1)^{0.5} \quad (2)$$

بحيث يساوي t المتوسط السنوي لدرجة الحرارة ($^{\circ}m$) .. \hat{Z} : معامل التعرية وهو يحسب بتطبيق المعادلة التالية :

$$\hat{Z} = X_{ai} \cdot Y_i (\phi + I_i^{0.5}) \quad (3)$$

بحيث يمثل :

. I_i : متوسط الانحدار (%) .. X_{ai} : معامل حماية التربة وهو يحسب تبعاً لنوعية الغطاء النباتي من الجدول رقم ٢ :

Tab 2 : Soil cover coefficient values

Coefficient of soil cover	X_{ai}
Mixed and dense forest	0.05 - 0.20
Thin forest with grove	0.05 - 0.20
Coniferous forest with little grove, scarce bushes, bushy prairie	0.20 - 0.40
Damaged forest and bushes, pasture	0.40 - 0.60
Damaged pasture and cultivated land	0.60 - 0.80
Areas without vegetal cover	0.80 - 1.00

Y_i : معامل قابلية التربة للتعرية وهو يحسب من الجدول رقم ٣ :

Tab 3 : Soil resistance coefficient values

Coefficient of soil resistance	Y_i
Hard rock, erosion resistant	0.20 - 0.60
Rock with moderate erosion resistance	0.60 - 1.00
Weak rock, schistose, stabilized	1.00 - 1.30
Sediments, moraines, clay and other rock with little resistance	1.30 - 1.80
Fine sediments and soils without erosion resistance	1.80 - 2.00

\emptyset : معامل تطور شبكة المجاري المائية وهو يحسب من الجدول رقم ٤ :

Tab 4 : Type and extent of erosion coefficient values

Coefficient of type and extent of erosion	\emptyset
Little erosion on watershed	0.10 - 0.20
Erosion in waterways on 20–50% of the catchment area	0.30 - 0.50
Erosion in rivers, gullies and alluvial deposits, karstic erosion	0.60 - 0.70
50–80% of catchment area affected by surface erosion and landslides	0.80 - 0.90
Whole watershed affected by erosion	0.90 - 1.00

وقد اقترح 'Gavrilovic' تصنيفاً لمستويات التعرية يلخصه الجدول رقم 5:

Tab 5 : Classification of Z coefficient values

Coefficient of type and extent of erosion	Z
Very low	< 0.19
Low	0.20 - 0.40
Moderate	0.41 - 0.70
High	0.71 - 1.00
Very high	> 1.00

(ب)- تقدير إجمالي حجم التعرية السنوي :

يقدر معدل حجم التعرية السنوي لإجمالي مساحة التصريف للحوض المائي بتطبيق المعادلة التالية :

$$W_g \text{ (m}^3\text{/year)} = W_{sp} \text{ (m}^3\text{/km}^2\text{/year)} \cdot F \quad (4)$$

بحيث تمثل F مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢).

(ج)- معدل الحمولة الصلبة السنوي :

اقترح جافريلوفيك تقدير معدل الحمولة الصلبة السنوي لإجمالي مساحة التصريف للحوض المائي بتطبيق المعادلة التالية : (Gavriločić, 1976)

$$G_g \text{ (m}^3\text{/year)} = W_g \cdot R_u \quad (5)$$

بحيث يمثل R_u معامل الاحتفاظ بالرواسب وهو يحسب بتطبيق المعادلة التالية :

$$R_u = \frac{4(O.D)^{0.5}}{L+10} \quad (\text{Gavriločić, 1976}) \quad (6)$$

بحيث يمثل O محيط الحوض المائي (كلم) و D فارق الارتفاع بين متوسط ارتفاع الحوض المائي وارتفاع مصبه (متر) و L طول الحوض المائي (كلم).

٩- النتائج والمناقشة

تتلخص نتائج هذه الدراسة في ما يلي :

(١)- تحليل خصائص البيانات المطرية

يتطلب تطبيق نموذج جافريلوفيك EPM Gavriločić لتقدير الحمولة الصلبة النوعية عنصر الأمطار كأحد أهم المتغيرات الأساسية. وعليه فإن هذه الدراسة تعتمد على متوسط بيانات الأمطار السنوية للفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ بمحطتي حوطة بني تميم والحريق.

ولتحديد كمية الأمطار التي تتساقط على مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان تم تحديد التوزيع المكاني النسبي لمساحة التغطية لمحطتي الحريق وحوطة بني تميم اللتين تغطي مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان بتطبيق طريقة مضلعات تيسن Thiessen polygons المستخدمة في حساب المتوسط المطري الموزون (الجدول ٦).

الجدول ٦ : التغيرات السنوية لكميات الأمطار و لمتوسطها السنوي الموزون

بحوض وادي وثيلان*

الأمطار السنوية (ملم)			السنة	الأمطار السنوية (ملم)			السنة
المتوسط الموزون	محطة الحريق	محطة بني تميم		المتوسط الموزون	محطة الحريق	محطة بني تميم	
166.2	154.5	264.5	1997	89.9	89.5	93.0	1975
66.1	67.8	52.0	1998	82.7	90.5	17.0	1976
7.0	7.0	7.0	1999	50.4	52.0	36.9	1977
2.6	2.7	2.0	2000	24.9	25.5	19.7	1978
41.0	44.0	16.0	2001	24.2	25.0	17.8	1979
14.0	15.0	6.0	2002	21.1	15.0	73.0	1980
80.9	83.0	63.5	2003	34.5	34.0	38.5	1981
158.9	150.0	234.0	2004	92.0	96.0	58.0	1982
44.4	44.0	48.1	2005	75.5	78.0	54.6	1983
40.4	32.0	111.0	2006	24.1	23.0	33.0	1984
30.1	32.0	14.5	2007	30.0	31.0	22.0	1985
47.0	47.0	46.8	2008	132.8	141.8	56.5	1986
62.1	63.0	54.7	2009	14.6	10.0	53.0	1987
118.7	125.0	66.0	2010	83.1	89.0	33.0	1988
81.8	87.0	38.4	2011	92.1	99.5	30.0	1989
93.1	97.0	60.1	2012	39.9	43.0	13.3	1990
117.8	118.0	115.8	2013	26.4	27.0	21.5	1991
44.4	45.0	39.8	2014	80.7	87.0	28.0	1992
94.5	102.5	27.0	2015	80.5	86.0	34.4	1993
38.8	42.2	10.2	2016	21.4	21.0	24.4	1994
85.5	87.5	68.2	2017	174.5	172.0	196.0	1995
4.2	4.0	6.0	2018	143.2	145.0	128.0	1996

ولقد أظهرت هذه الطريقة أن مساحة التغطية التابعة لمحطة بني تميم المطرية (R115-472) لا تمثل سوى ١٠.٦% ، بينما تمثل مساحة التغطية التابعة لمحطة الحريق (R104-463) النسبة الأكبر بما يعادل ٨٩.٤% من إجمالي مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان (٦٦٣ كم^٢). ونظراً لما يتصف به نظام تساقط الأمطار بحوض وادي وثيلان من تفاوت في كميات الهطول المطري وتذبذب تكرارها وتركيزها في الزمن وتباين توزيعها من مكان لآخر، تم تحليل الخصائص الاحصائية للبيانات المطرية لمحطتي الحريق وحوض بني تميم وللمتوسط السنوي الموزون للفترة المدروسة بواسطة أدوات التحليل Analyze المتاحة في برنامج SPSS وتحليل الاتجاه العام لتغيراتها بتطبيق طريقة المتوسطات النصفية

Semi Averages Method مع إخضاعها لفحص الأهمية الاحصائية بواسطة اختبار "t" ستودنت للتأكد من معنويتها.

ويخلص الجدول رقم ٧ الخصائص الاحصائية للأمطار السنوية بمحطتي الحريق وبنى تميم ومتوسطها الموزون المناسب لمساحة التصريف لحوض وادي وثيلان.

وتوضح بيانات الجدول ٩ التباينات الموجودة بين كميات الأمطار السنوية المرصودة خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ بمحطتي حوطة بنى تميم والحريق، بحيث نجد ان المجموع التراكمي للأمطار محطة الحريق يفوق مثيله بمحطة بنى تميم بما يعادل ٤٩٧.٨ ملم، أي ما يعادل ١١.٣ ملم/سنة. كما أن نسبة الفرق بين المتوسط السنوي للأمطار المحطتين بلغت ١٧.٠% وبفارق في الانحراف المعياري يصل إلى ٢٠.١%.

الجدول ٧ : الخصائص لكميات الأمطار السنوية للفترة ١٩٧٥-٢٠١٨

المتغير	الرمز	محطة بنى تميم	محطة الحريق	المتوسط الموزون
التكرار (سنة)	N	44	44	44
المتوسط (ملم)	Mean	55.3	66.6	65.4
الخطأ المعياري للمتوسط (ملم)	SE Mean	8.6	6.8	6.8
الوسيط (ملم)	Median	38.5	57.5	56.3
المنوال (ملم)	Mode	6.0	15.0	44.4
المدى (ملم)	Range	262.5	169.3	171.9
الكمية الدنيا (ملم)	Minimum	2.0	2.7	2.6
الكمية القصوى (ملم)	Maximum	264.5	172.0	174.5
المجموع التراكمي (ملم)	Sum	2433.2	2931.0	2878.0
الانحراف المعياري (ملم)	SD	٥٦.٨	٤٥.٤	٤٥.٠
الخطأ المعياري للانحراف المعياري (ملم)	SE SD	٦.٥	٤.٨	٤.٨
معامل التباين	Coefficient of variation	١.٠٣	٠.٦٨	٠.٦٩

ونظراً لكبر مساحة التغطية لمحطة الحريق مقارنة مع مثيلتها لمحطة حوطة بنى تميم فإن تغيرات كميات الأمطار السنوية للمتوسط الموزون ترتبط بوضوح بكميات الأمطار لمحطة الحريق، كما تدل عليه قيمة معامل الارتباط التي تصل إلى ٩٩.٧% عند مستوى الدلالة ٠.٠٠٠ ودرجة الحرية ٤١.

ولتحديد خصائص توزيع الأمطار السنوية والمتوسط الموزون لها تم تقسيم هذه الأخيرة إلى ٣ فئات (أقل من ٥٠ ملم/سنة) و (٥٠-١٠٠ ملم/سنة) و (أكبر من ١٠٠ ملم/سنة) ثم حساب التكرار النسبي لها وفحصه بواسطة اختبار شابيرو- ويلك Shapiro-Wilk test لأن حجم كل فئة لا يتعدى ٣٠ قيمة (الجدول رقم ٨).

الجدول ٨ : نتائج اختبار Shapiro-Wilk لفحص التوزيع الطبيعي للأمطار السنوية خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨

المحطة	الفئة	التكرار N	%	درجة الحرية	مستوى الدلالة Sig.	نوع التوزيع
حوطة بني تميم	أقل من ٥٠	٢٦	٥٩.١	٢٦	٠.٦١٤	طبيعي
	٥٠ إلى ١٠٠	١٢	٢٧.٣	١٢	٠.٠١٧	غير طبيعي
	أكبر من ١٠٠	٦	١٣.٦	٦	٠.٢٤٤	طبيعي
الحريق	أقل من ٥٠	٢١	٤٧.٧	٢١	٠.١٨١	طبيعي
	٥٠ إلى ١٠٠	١٥	٣٤.١	١٥	٠.٠٣٩	غير طبيعي
	أكبر من ١٠٠	٨	١٨.٢	٨	٠.٩٤٦	طبيعي
المتوسط لموزون	أقل من ٥٠	٢٣	٥٢.٣	٢٣	٠.٨٥٩	طبيعي
	٥٠ إلى ١٠٠	١٤	٣١.٨	١٤	٠.٢٤٢	طبيعي
	أكبر من ١٠٠	٧	١٥.٩	٧	٠.٤٨١	طبيعي

ولقد أظهرت نتائج اختبار شابيرو- ويلك لفحص توزيع كميات الأمطار السنوية أن أمطار فنتي (الأقل من ٥٠ ملم/سنة) و (الأكبر من ١٠٠ ملم/سنة) تتبع التوزيع الطبيعي بمستوى دلالة أكبر من ٠.٠٥ عند درجتي الحرية ٢٦ و ٦ بمحطة حوطة بني تميم وعند درجتي الحرية ٢١ و ٨ بمحطة الحريق. ويشكل مجموع تكرار هاتين الفئتين ٣٢ قيمة بمحطة حوطة بني تميم و ٢٩ قيمة بمحطة الحريق، أي ما يعادل نسبة قدرها على التوالي ٧٢.٧% و ٦٥.٩% من إجمالي كميات الأمطار السنوية للفترة المدروسة. في حين تتسم كميات المتوسط الموزون بتوزيع طبيعي كما يدل عليه مستوى الدلالة الذي يفوق ٠.٠٥ عند مختلف درجات الحرية. وللتأكد من أهمية التباينات بين أمطار المحطتين ومدى تأثيرها على المتوسط الموزون للأمطار حوض وادي وثيلان تم فحص الأهمية الاحصائية لدلالة الفروق بين كميات الأمطار السنوية بتطبيق اختبار "٢" ستودنت (الجدول ٩).

الجدول ٩ : نتائج اختبار "٢" ستودنت لفحص الفروق بين كميات الأمطار السنوية للفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ بمحطتي حوطة بني تميم والحريق

القيمة	الرمز	المتغير
٤٩٧.٨	Σd	المجموع التراكمي للفروق (ملم)
77931.2	Σd^2	المجموع التراكمي لتربيعات الفروق
٤١.٠	Sd'	متوسط الانحرافات المعيارية (ملم)
٦.٢	SEd'	الخطأ المعياري لمتوسط الفروق (ملم)
١.٨٣٠	"٢"	الفحص الاحصائي
٤٣	df	درجة الحرية
٠.٠٧٤	Sig.	مستوى الدلالة

وتبلغ قيمة "F" ستودنت الجدولية ٢.٠١٥ عند درجة الحرية ٤٣ ومستوى الدلالة ٠.٠٥ وهي أكبر من قيمة "F" للفحص الاحصائي المحسوبة ١.٨٣٠. وعليه فإن هذه النتيجة تؤكد أن الفروق بين كميات الأمطار السنوية ومتوسطها بمحطتي حوطة بني تميم والحريق خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ ليس لها أية أهمية احصائية عند مستوى الدلالة ٠.٠٥ ودرجة الحرية ٤٣.

كما تظهر نتيجة اختبار Levene لفحص تجانس التباين لمتوسطات الأمطار السنوية بمحطتي حوطة بني تميم والحريق والمتوسط الموزون لأمطار حوض وادي وثيلان أن قيمة مستوى الدلالة بلغت ٠.٩٦٨، وهي أكبر من القيمة الحرجة ٠.٠٥ عند درجتي الحرية ٢ بالنسبة

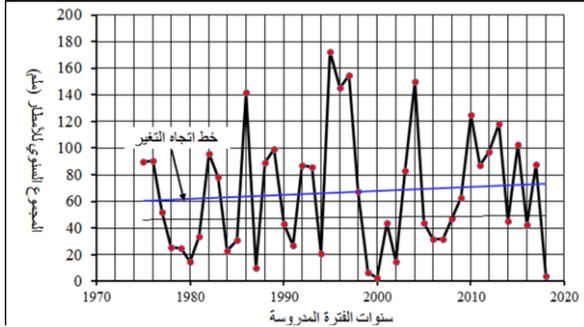
لعدد الحالات و ١٢٩ بالنسبة لعدد القراءات. وتدل هذه القيمة على تجانس تباين المتوسطات السنوية لأمطار الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨. وتؤكد هذه النتيجة قيمة مستوى الدلالة لاختبار التباين الأحادي ANOVA التي بلغت ٠.٥٠٠ عند نفس درجتي الحرية، وهي تدل على معنوية الاختبار وعلى عدم وجود اختلاف حقيقي ذي أهمية احصائية بين المتوسطات السنوية للأمطار.

(٢) - تحليل اتجاه التغير العام للبيانات المطرية

الجدول ١٠ : نتائج اختبار "F" لفحص اتجاه التغير العام لكميات الأمطار السنوية خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨

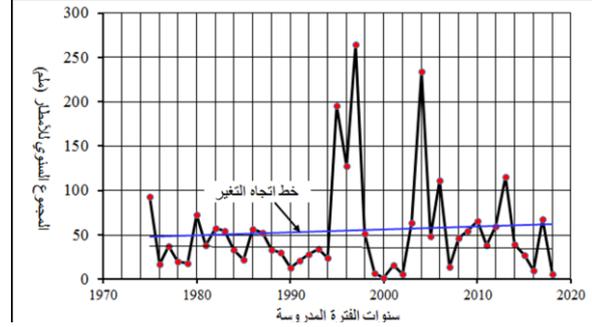
المتغير	الرمز	حوطة بني تميم	الحريق
متوسط الفترة الأولى (ملم)	X ₁ '	٤٩.٢	٦٧.٣
متوسط الفترة الثانية (ملم)	X ₂ '	٦١.٤	٦٥.٩
الانحراف المعياري للفترة الأولى (ملم)	S ₁	٤٢.٨	٤٦.٤
الانحراف المعياري للفترة الثانية (ملم)	S ₂	٦٨.٦	٤٥.٣
تكرار الفترة الأولى	N ₁	٢٢	٢٢
تكرار الفترة الثانية	N ₂	٢٢	٢٢
درجة الحرية	df	٤٠	٤٠
قيمة "F" المحسوب	t _c	٠.٠٤١	٠.٠٠٧
قيمة "F" الجدولية	t _{t0.05}	٢.٠٢١	٢.٠٢١

لتحليل اتجاه التغير العام للبيانات المطرية وللتعرية المائية تم تقسيم الفترة المدروسة (٤٤ سنة) إلى فترتين متساويتين هما (١٩٧٥-١٩٩٦) للفترة الأولى و (١٩٩٧-٢٠١٨) للفترة الثانية وحساب المتوسط السنوي لكل فترة واخضاعه لفحص الأهمية الاحصائية باستخدام اختبار "F" ستودنت للعينات المستقلة للتأكد من اتجاه التغير الحاصل (الجدول ١٠ والأشكال ٢، ٣، ٤).



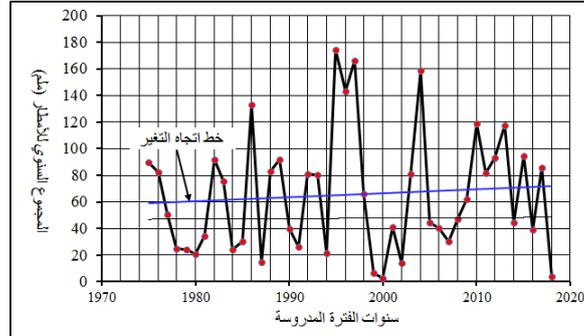
الشكل ٣ : اتجاه التغير العام لكميات الأمطار السنوية

بمحطة الحريق خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨



الشكل ٢ : اتجاه التغير العام لكميات الأمطار السنوية

بمحطة حوطة بني تميم خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨



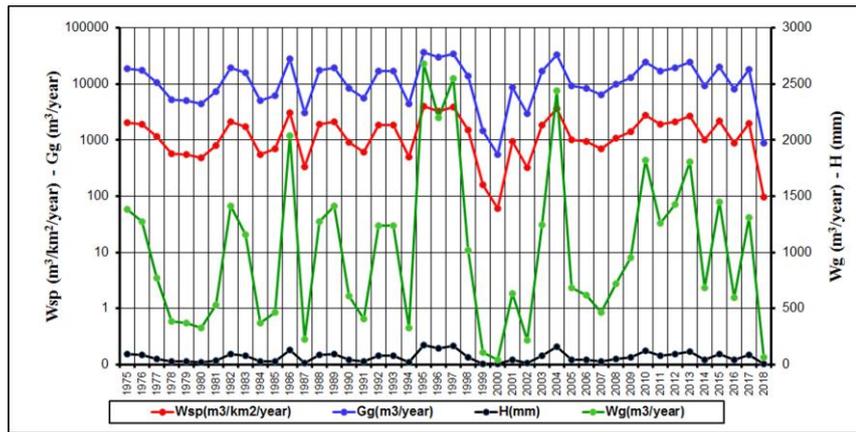
الشكل ٤ : اتجاه التغير العام للمتوسط الموزون للأمطار السنوية بحوض وادي وثيلان خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨

ويتبين من بيانات الجدول رقم ١٠ أن قيمة اختبار "t" المحسوبة أقل من مثلتها الجدولية عند درجة الحرية ٤٠ ومستوى الدلالة ٠.٠٥ بمحطتي حوطة بني تميم والحريق. وعليه فهي تدل على عدم أهمية الاتجاه المتزايد لكميات الأمطار السنوية خلال الفترة المدروسة.

(٣)- تقدير إجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp)

يرتبط تقدير إجمالي التعرية النوعية السنوي بواسطة نموذج جافريلوفيك EPM بثلاثة متغيرات أساسية هي كمية الأمطار (H) والمعامل الحراري (T) ومعامل التعرية (\bar{Z}) الذي يعتمد على متوسط الانحدار (I_i) ومعامل حماية التربة (X_{ai}) ومعامل قابلية التربة للتعرية (Y_i) ومعامل تطور شبكة المجاري المائية (\emptyset).

ولقد تم حساب متغير الأمطار باستخدام المتوسط الموزون للأمطار السنوية من بيانات الفترة ١٩٨٥-٢٠١٨م بمحطتي الحريق وحوطة بني تميم (الجدول الملحق ١ والجدول الملحق ٢). كما تم حساب المعامل الحراري باستخدام درجات الحرارة للفترة المذكورة من بيانات المحطة المناخية لمطار الأمير نايف ببريدة (40405) التي تعتبر أقرب محطة لحوض وادي وثيلان. في حين تم حساب بقية المتغيرات الأخرى باستخدام جداول القيم المرجعية التي اقترحها جافريلوفيك. ويلخص الجدول رقم ١١ والشكل ٥ نتائج تقدير عناصر التعرية المائية السنوية خلال الفترة المدروسة.



الشكل ٥ : التغيرات السنوية لمعدلات الحمولة الصلبة والتعرية المائية بحوض وادي وثيلان (مقياس لوغاريتمي)

الجدول ١١ : التغيرات السنوية لمعدلات الحمولة الصلبة والتعرية المائية بحوض وادي وثيلان

H	Wsp	Wg	Gg	السنة	H	Wsp	Wg	Gg	السنة
(مم)	(م ^٣ /كلم ^٢ /سنة)	(ألف م ^٣ /سنة)	(م ^٣ /سنة)		(مم)	(م ^٣ /كلم ^٢ /سنة)	(ألف م ^٣ /سنة)	(م ^٣ /سنة)	
166.2	3850.9	2553.2	34952.9	1997	89.9	2082.9	1380.9	18905.0	1975
66.1	1532.5	1016.1	13909.9	1998	82.7	1916.9	1270.9	17398.4	1976
7.0	162.2	107.6	1472.5	1999	50.4	1168.2	774.5	10602.9	1977
2.6	61.3	40.6	556.1	2000	24.9	576.7	382.3	5234.2	1978
41.0	951.0	630.5	8631.4	2001	24.2	561.7	372.4	5098.2	1979
14.0	325.5	215.8	2954.7	2002	21.1	490.1	325.0	4448.6	1980
80.9	1875.7	1243.6	17024.8	2003	34.5	799.0	529.8	7252.5	1981
158.9	3682.8	2441.7	33426.5	2004	92.0	2131.5	1413.2	19346.9	1982
44.4	1029.9	682.8	9347.6	2005	75.5	1750.1	1160.3	15885.2	1983
40.4	935.7	620.4	8492.9	2006	24.1	557.6	369.7	5061.2	1984
30.1	698.6	463.2	6341.2	2007	30.0	696.3	461.7	6320.4	1985
47.0	1088.8	721.9	9882.3	2008	132.8	3076.8	2039.9	27926.6	1986
62.1	1439.7	954.5	13067.4	2009	14.6	337.4	223.7	3062.4	1987
118.7	2752.1	1824.6	24979.0	2010	83.1	1925.1	1276.3	17473.1	1988
81.8	1896.9	1257.7	17217.4	2011	92.1	2135.3	1415.7	19380.8	1989
93.1	2157.4	1430.4	19581.8	2012	39.9	923.6	612.4	8383.1	1990
117.8	2729.4	1809.6	24773.0	2013	26.4	612.2	405.9	5557.0	1991
44.4	1030.1	683.0	9350.1	2014	80.7	1871.4	1240.7	16985.5	1992
94.5	2190.1	1452.0	19878.1	2015	80.5	1866.4	1237.4	16940.1	1993
38.8	899.4	596.3	8163.5	2016	21.4	495.0	328.2	4493.3	1994
85.5	1980.5	1313.1	17975.9	2017	174.5	4045.2	2682.0	36716.5	1995
4.2	97.6	64.7	886.0	2018	143.2	3318.8	2200.3	30122.7	1996

Wsp : إجمالي التعرية النوعية السنوي ، Wg : معدل حجم التعرية ، Gg : معدل الحمولة الصلبة السنوي ، H : المجموع السنوي للأمطار (مم).

(٤)- الخصائص الاحصائية لعناصر التعرية المائية

قبل الشروع في تحليل التغيرات الزمنية للتعرية المائية تم تحليل الخصائص الاحصائية لبيانات إجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) ومعدل حجم التعرية (Wg) ومعدل الحمولة الصلبة السنوي (Gg) (الجدول رقم ١٢).

وتوضح بيانات الجدول رقم ١٢ الخصائص الاحصائية لعناصر التعرية المائية خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ بحوض وادي وثيلان، بحيث نجد أن المجموع التراكمي للرواسب التي أنتجتها التعرية المائية بلغ ٤٤.٢٢٦٤ مليون م^٣/كلم^٢ بالنسبة لإجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، وهو يمثل كمية الرواسب التي أنتجتها التعرية المائية على مستوى إجمالي مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان على مدى ٤٤ سنة. كما بلغ المجموع التراكمي لإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) ما يعادل ٦٦.٧١

ألف م^٣ ، وهو يمثل إجمالي ما فقده كل ١ كلم^٢ من مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان من الرواسب والمواد الصخرية بواسطة نشاط التعرية المائية خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨. وعليه فإن المجموع التركيبي للحمولة الصلبة السنوية بلغ خلال الفترة المذكورة ما يعادل 605.5 ألف م^٣.

ومن ما تقدم نجد أن المتوسط السنوي للرواسب التي أنتجت التعرية المائية بلغ ١.٠٠٥١ مليون م^٣/كلم^٢ بالنسبة لإجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، و ١.٥٢ ألف م^٣/كلم^٢/سنة بالنسبة لإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) ، و ١٣.٨ ألف م^٣ بالنسبة للحمولة الصلبة السنوية (Gg) خلال الفترة المذكورة. وقد بلغ نشاط التعرية اقصاه خلال عام ١٩٩٥ بما يعادل 2.682 مليون م^٣ بالنسبة لإجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، و ٤.٠٤٥ ألف م^٣/كلم^٢/سنة بالنسبة لإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) ، و ٣٦.٧٢ ألف م^٣ بالنسبة للحمولة الصلبة السنوية (Gg). وتحليل هذه التباينات والتأكد من أهميتها تم فحص الخصائص الاحصائية لبيانات توزيع عناصر التعرية المائية.

الجدول ١٢ : الخصائص الاحصائية لعناصر التعرية المائية

خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨ بحوض وادي وثيلان

المتغير	Wsp (m ³ /km ² /year)	Gg (m ³ /year)	Wg (1000 m ³ /year)
التكرار	٤٤	44	44
المتوسط	1516.1	13760.4	1005.1
الخطأ المعياري للمتوسط	157.1	1426.2	104.2
الوسيط	1303.91	11835.2	864.5
المنوال	61.3	556.1	40.6
الانحراف المعياري	1042.3	9460.4	691.0
معامل التباين	0.69	0.69	0.69
المدى	3984.0	36160.4	2641.4
الكمية الدنيا	61.3	556.1	40.6
الكمية القصوى	4045.2	36716.5	2682.0
المجموع التراكمي	66706.5	605459.4	44226.4

الجدول ١٣ : نتائج اختبار هارتلي F_{max-ratio} لفحص تجانس بيانات التعرية المائية

الفترة	التباين	Wsp (10 ³ m ³ /km ² /year)	Wg (10 ⁶ m ³ /year)	Gg (10 ³ m ³ /year)
١٩٧٥-	الانحراف المعياري	١.٠٧	٠.٧١	٩.٧٥
١٩٩٦	التباين	١.٠٣	٠.٦٩	٩.٣٩
١٩٩٧-	الانحراف المعياري	١.١٥	٠.٥١	٩٥.١٢
٢٠١٨	التباين	١.٠٧	٠.٤٧	٨٨.١٤
	اختبار هارتلي	١.٠٨	١.٠٨	١.٠٨
	الأهمية الاحصائية	غير مهم	غير مهم	غير مهم

(٥)- فحص تجانس بيانات التعرية المائية

لتحديد تجانس بيانات عناصر التعرية المائية خلال الفترة المدروسة، تم تقسيم السلسلة الزمنية للبيانات إلى فترتين متساويتين (٢٢ سنة/فترة)، تمتد الفترة الأولى من ١٩٧٥ إلى ١٩٩٦ وتمتد الفترة الثانية من ١٩٩٧ إلى ٢٠١٨ (الجدول رقم ١٣). ولقد تم تطبيق اختبار هارتلي $F_{\max\text{-ratio}}$ لمقارنة تجانس توزيع بيانات الفترتين واختبار Levene لفحص أهمية تجانس توزيعها وطريقة المتوسطات النصفية مع إخضاعها لفحص "٤" ستودنت للتأكد من أهمية الاتجاه التغير العام لنشاط التعرية خلال الفترة المدروسة.

وتبلغ قيمة اختبار هارتلي $F_{\max\text{-ratio}}$ الجدولية ٣.٤٩ عند درجتي الحرية ٢ بالنسبة لعدد الحالات (الفترات) و ٢١ بالنسبة لعدد القراءات، وهي أكبر من قيمة $F_{\max\text{-ratio}}$ المحسوبة ١.٠٨ بالنسبة لعناصر التعرية المائية. وعليه فإن الفروق بين توزيع إجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، وإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) و الحمولة الصلبة السنوية (Gg) خلال الفترتين غير مهم وليست له أية أهمية احصائية وتدل على تجانس نشاط التعرية المائية بحوض وادي وثيلان.

(٦)- فحص أهمية تجانس نشاط التعرية المائية

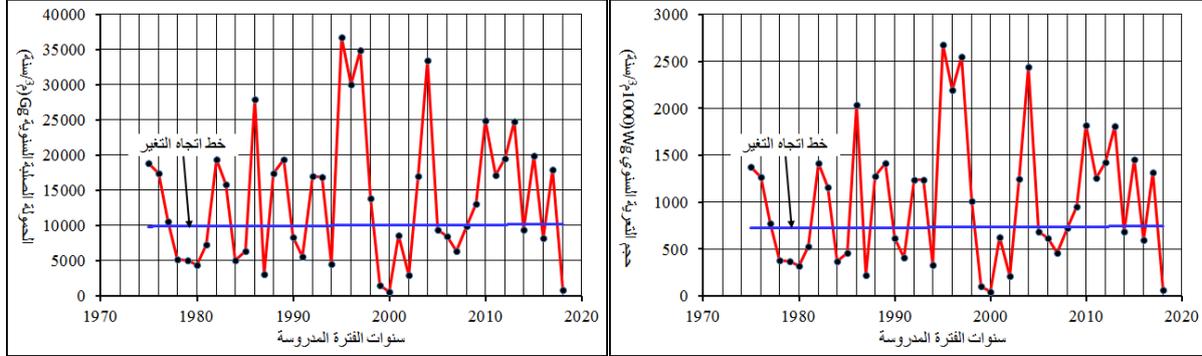
لتحديد أهمية تجانس نشاط التعرية المائية بحوض وادي وثيلان تم تطبيق اختبار Levene لفحص تجانس التباين لإجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، وإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) و الحمولة الصلبة السنوية (Gg) خلال الفترتين ١٩٩٦-١٩٧٥ و ٢٠١٨-١٩٩٧. ولقد أكدت نتيجة هذا الفحص أن قيمة مستوى الدلالة يساوي ٠.٩٨٨ عند درجتي الحرية ١ بالنسبة للفترات و ٤٢ بالنسبة لعدد القياسات، وهي أكبر من القيمة الحرجة ٠.٠٥. وتدل هذه النتيجة على تجانس تباين عناصر التعرية المائية (إجمالي حجم التعرية السنوي (Wg)، وإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) و الحمولة الصلبة السنوية (Gg)) خلال الفترتين. وقد يعزى ها التجانس إلى تماثل الظروف المناخية وتجانس الخصائص التضاريسية والتكوينات الصخرية لحوض وادي وثيلان. كما أن اعتماد نموذج جافريلوفيك على المتوسط السنوي للأمطار قد يكون له دور في تجانس نشاط التعرية المائية لأن فحص توزيع كميات الأمطار أظهر كذلك تجانس تباينها بمحطتي حوطة بني تميم والحريق والمتوسط السنوي الموزون خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨.

(٧)- فحص اتجاه التغير العام لنشاط التعرية المائية

لتحديد اتجاه التغير العام لنشاط التعرية بحوض وادي وثيلان خلال الفترة المدروسة، تم تطبيق طريقة المتوسطين النصفين على بيانات إجمالي حجم التعرية السنوي (Wg) وإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) و الحمولة الصلبة السنوية (Gg) خلال الفترتين ١٩٩٦-١٩٧٥ و ٢٠١٨-١٩٩٧ مع إخضاع نتائجها لفحص الأهمية الاحصائية "٤" ستودنت للتأكد من أهمية اتجاهات نشاط كل عنصر منها بحوض وادي وثيلان. ولقد أعطى هذا الفحص النتائج التالية :

(الجدول رقم ١٤)

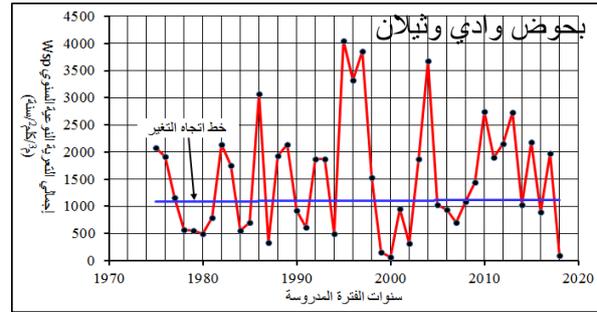
ويتبين من بيانات الجدول رقم ١٤ أن قيمة اختبار "t" المحسوبة لإجمالي حجم التعرية السنوي (Wg) وإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) والحمولة الصلبة السنوية (Gg) أقل من مثيلتها الجدولية عند درجة الحرية ٤٠ ومستوى الدلالة ٠.٠٥ وهي تدل على عدم أهمية الاتجاه المتزايد لنشاط التعرية المائية خلال الفترة المدروسة (الأشكال ٦ و ٧ و ٨).



الشكل ٧ - اتجاه التغير لحجم التعرية السنوي

بحوض وادي وثيلان

الشكل ٦ - اتجاه التغير للحمولة الصلبة النوعية



الجدول ١٤ : نتائج اختبار "t" لفحص اتجاه التغير العام لنشاط التعرية المائية

بحوض وادي وثيلان خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨

Gg (10 ³ m ³ /year)	Wg (10 ⁶ m ³ / year)	Wsp (10 ³ m ³ /km ² /year)	الرمز	المتغير
١٣.٧٥٤٣	١.٠٠٤٧	١.٥١٥٤	X ₁ '	متوسط الفترة الأولى (ملم)
١٣.٧٦٦٦	١.٠٠٥٦	١.٥١٦٧	X ₂ '	متوسط الفترة الثانية (ملم)
٩.٣٨٨٥	٠.٦٨٥٨	١.٠٣٤٤	S ₁	الانحراف المعياري للفترة الأولى (ملم)
٩.٧٥٢٨	٠.٧١٢٤	١.٠٧٤٥	S ₂	الانحراف المعياري للفترة الثانية (ملم)
٢٢	٢٢	٢٢	N ₁	تكرار الفترة الأولى
٢٢	٢٢	٢٢	N ₂	تكرار الفترة الثانية
٤٠	٤٠	٤٠	df	درجة الحرية
٠.٠٠٠٤	٠.٠٠٠٥	٠.٠٠٠٣	t _c	قيمة "t" المحسوبة
٢.٠٢١	٢.٠٢١	٢.٠٢١	t _{t(0.05)}	قيمة "t" الجدولية

ويشكل تكرار عدد السنوات التي تتسم بنشاط للتعرية المائية يفوق المتوسط ٢١ سنة بمجموع تراكمي يعادل ٣٣.٧ مليون م^٣ من إجمالي المجموع التراكمي لحجم التعرية السنوي (Wg) وما يعادل ٤٦٠.٨ ألف م^٣ من إجمالي الحمولة الصلبة السنوية (Gg). وعليه فإن المجموع التراكمي لإجمالي التعرية النوعية السنوي (Wsp) يصل إلى ٥٠.٨ ألف م^٣/كم^٢، وهي كمية الرواسب والمواد الصخرية التي فقدها كل ١ كلم^٢ من مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان خلال الفترة ١٩٧٥-٢٠١٨.

الخلاصة

لقد ساعد توفر بيانات درجات الحرارة بالمحطة المناخية لمطار الملك خالد (٤٠٤٣٧) على حساب المعامل الحراري وتوفر البيانات المطرية السنوية بمحطتي الحريق وحوطة بني تميم على حساب المتوسط السنوي للأمطار على مستوى مساحة التصريف لحوض وادي وثيلان خلال الفترة المدروسة ومن ثم تقدير إجمالي التعرية النوعي (W_{sp}). كما أن مخرجات نموذج الارتفاع الرقمي DEM ساعدت في حساب متوسط الانحدار المطلوب في تقدير معامل التعرية Z̄ وفي حساب مساحة التصريف المطلوب في حجم التعرية السنوي (Wg) وفي حساب محيط الحوض المائي والارتفاعين الأدنى والمتوسط وطول الحوض وهي متطلبات حساب معامل الاحتفاظ بالرواسب (Ru) وعدل الحمولة الصلبة السنوي (Gg).

وساعدت أيضاً مخرجات أدوات التحليل Analyze المتاحة ببرنامج SPSS على:

- تحديد الخصائص الاحصائية لبيانات الأمطار وعناصر التعرية المائية الأساسية لنموذج جافريلوفيك (Gg, Wg, Wsp).
- تحديد خصائص توزيع البيانات المطرية Normality test واخضاعها للفحص الاحصائي بواسطة اختبار شابيرو- ويلك Shapiro-Wilk للتأكد من أهميتها الاحصائية.
- فحص تجانس التباين Homogeneity of variances test لبيانات الأمطار والتعرية المائية واخضاعها للفحص الاحصائي بواسطة اختبار Levene للتأكد من أهميتها الاحصائية.
- فحص التباين الأحادي ANOVA لبيانات الأمطار والتعرية المائية في تحديد معنوية الاختلاف بين متوسطات الأمطار والتعرية المائية السنوية.
- تحليل اتجاه التغير العام للبيانات المطرية وللتعرية المائية بتطبيق طريقة المتوسطات النصفية Semi-Averages على بيانات الفترتين (١٩٧٥-١٩٩٦) و (١٩٩٧-٢٠١٨) لتحديد اتجاه التغير العام واخضاعه لفحص دلالة الفروق بواسطة اختبار "t" ستودنت للتأكد من الأهمية الاحصائية لاتجاهات التغير الحاصلة.
- فحص تجانس بيانات التعرية المائية بتطبيق طريقة هارتلي نسبة Hartley's F_{max}-ratio لفرق التباين بين كل فترتين في المحطة الواحدة.

النتائج

توصلت هذه الدراسة إلى النتائج التالية :

- ١- بلغ المتوسط السنوي الموزون لأمطار حوض وادي وثيلان ٦٥.٤ ملم/سنة.
- ٢- أظهر اختبار شايبير-ويلك أن ٧٢.٧% من أمطار محطة حوطة بني تميم و ٦٥.٩% من أمطار محطة الحريق تتبع التوزيع الطبيعي عند مستوى الدلالة ٠.٠٥.
- ٣- أظهرت نتيجة فحص الفروق بين كميات الأمطار السنوية بمحطتي حوطة بني تميم والحريق أن قيمة اختبار "٢" ستودنت أصغر من القيمة الحرجة الجدولية وأن قيمة مستوى الدلالة لها أكبر من القيمة الحرجة ٠.٠٥، وهي تدل على عدم أهمية الفروق بين كميات الأمطار السنوية بالمحطتين.
- ٤- أظهرت نتيجة فحص تجانس التباين بين كميات الأمطار السنوية بمحطتي حوطة بني تميم والحريق أن قيمة مستوى الدلالة لاختبار Levene أكبر من القيمة الحرجة ٠.٠٥، وهي تؤكد تجانس التباين بين متوسط الأمطار السنوية بالمحطتين والمتوسط اسنوي الموزون بحوض وادي وثيلان.
- ٥- تبين أن قيمة "٢" ستودنت لفحص اتجاه التغير العام لكميات الأمطار السنوية أظغر من القيمة الحرجة لها ٢.٠٢١ عند مستوى الدلالة ٠.٠٥، وهي تدل على عدم أهمية الاتجاه المتزايد خلال ٤٤ سنة الماضية.
- ٦- بلغ متوسط إجمالي التعرية النوعي السنوي (Wsp) ١.٥١٦١ ألف م^٣/كم^٢ ومعدل الحمولة الصلبة السنوي (Gg) ١.٣٧٦ ألف م^٣ ومعدل حجم التعرية السنوي (Wg) ١.٠٠٥ مليون م^٣، في حين بلغ نشاط التعرية ذروته خلال عام ١٩٩٥ بما يعادل ٤.٠٥ ألف/كم^٢ بالنسبة لإجمالي التعرية النوعي السنوي و ٢.٦٨٢ مليون م^٣ بالنسبة لحجم التعرية السنوي و ٣٦.٧٢ ألف م^٣ بالنسبة لمعدل الحمولة الصلبة السنوي.
- ٧- أظهرت نتائج اختبار هارتلي F_{max-ratio} لفحص تجانس توزيع بيانات عناصر التعرية المائية إجمالي التعرية النوعي السنوي (W_{sp}) ومعدل الحمولة الصلبة السنوي (G_g) ومعدل حجم التعرية السنوي (W_g) أن الفروق بين توزيع هذه العناصر خلال الفترتين (١٩٧٥-١٩٩٦) و (١٩٩٧-٢٠١٨) غير مهمة احصائياً وهي تدل على تجانس عمليات التعرية المائية بحوض وادي وثيلان خلال ٤٤ سنة الماضية. ولقد أكدت هذه النتيجة كذلك نتائج اختبار Levene لفحص أهمية تجانس نشاط التعرية المائية خلال الفترة المذكورة.
- ٨- أكدت نتيجة اختبار "٢" ستودنت لفحص الأهمية الاحصائية لاتجاه التغير العام لنشاط التعرية عدم أهمية الاتجاه المتزايد لها خلال الفترة المدروسة. وتتوافق هذه النتيجة مع نتيجة فحص اتجاه التغير العام لكميات الأمطار السنوية.

ومن خلال ما تقدم يتبين أن تطبيق نموذج جافريلوفيك EPM بإمكانه أن يعطي نتائج أفضل عند استخدام كميات الأمطار اليومية القصوى بدلاً عن المجموع السنوي للأمطار الذي يعتمد عليه هذا النموذج نظراً لطبيعة نظام تساقط الأمطار بمناطق المملكة. وبالتالي فإنه بالإمكان معايرة هذه النتائج وتأكيداها أو تعديلها بدراسات أخرى مماثلة تشمل مختلف أحواض التصريف بالمملكة العربية. كما أن هذه الدراسة وغيرها من الدراسات المماثلة بإمكانها أن تشكل قاعدة بيانات هيدرولوجية هامة يمكن الاستفادة منها في الدراسات المناخية والهيدرولوجية والبيئية.

٨- المراجع

٨-١- المراجع العربية

- الجعيدى، فرحان؛ العثمان، عبدالعزيز؛ بوروبه، محمد والفتاح، محمد (٢٠٠٩). دراسة السيول بمحافظة الخرج، تقرير غير منشور، مكتب ابا الخيل مهندسون استشاريون، بلدية محافظة الخرج.
- حبيب، حسن؛ الشهابي، عمران محمود (٢٠١٢). تحسين الخصائص الفيزيائية للتربة في منطقة بلي في جنوب سوريا للحد من تدهور الأراضي، مجلة جامعة دمشق للعلوم الزراعية، المجلد (٢٨)، العدد ١ : ٢٩-١٥.
- الحفيان، عوض إبراهيم؛ محمد، أمل الماجي (٢٠١٦). أثر التصحر على تدهور النظم البيئية بمحافظة بيشة (المملكة العربية السعودية)، المجلة المصرية للتغير البيئي، المجلد (٨)، العدد ٢ : ١٠٦-٨٩.
- السامرائي، سحاب خليفة؛ أحمد، أن رجب؛ قوام، قدس أسامة (٢٠١٤). أثر العمليات المورفومناخية والمورفوديناميكية (عملية التجوية والتعرية المائية) على انجراف التربة في حوض كلاله، مجلة سر من رأى، المجلد (١٠)، العدد ٣٩ : ١١٥-١٥٠.
- الشباطات، علي؛ قوقزة، موسى (٢٠١٣). انجراف التربة في حوض وادي الحسا الأوسط (الطفيلة)، مجلة اتحاد الجامعات العربية للآداب، المجلد (١٠)، العدد ١ ج : ٧٠٩-٧٤٣.
- صفوان، محمد (٢٠١٧). تقدير الانجراف المائي باستخدام النمذجة الرياضية WEPP-RUSLE منطقة الدراسة الشيخ بدر (سوريا)، ريغا، نور للنشر، جمهورية لاتفيا.
- صفوان، محمد؛ كبيبو، عيسى، الشهابي، عمران؛ محفوض، إيلين (٢٠١٦). استخدام برنامج WEPP لتقدير كميات التربة المنجرفة في المنطقة الساحلية بسورية، مجلة جامعة البعث، المجلد (٣٨)، العدد ١٣ : ١٦٥-١٩١.
- الغامدي، سعد أبوراس (٢٠٠٩). تطبيق نموذج جافريلوفيك لتقدير مخاطر التعرية المائية في حوض وادي نعمان بوسائل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، المجلة المصرية للتغير البيئي، العدد الأول : ٣-٣٣.
- الغيلاني، ابتسام محمد (٢٠١٧). تقدير فقدان التربة باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد في البيئات الجافة لنظام الوادي بالمملكة العربية السعودية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية - العلوم، جامعة الملك عبد العزيز، جدة.

- المحمد، هيفاء أحمد ؛ البليبيسي، حسام هشام (٢٠١٩). تقدير تدهور التربة في حوض وادي العرب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد، مجلة "دراسات" : العلوم الانسانية والاجتماعية، المجلد (٤٦)، العدد ١ ، الملحق ٢ : ١٢٥-١٣٩.

- الهيتي، عبد السميع جاسم ؛ الرفاعي، مثنى خليل (٢٠١٧). تقييم حالة التصحر في مشروع شرق الحفار، مجلة الأنبار للعلوم الزراعية، المجلد (١٥)، العدد ١ : ١١-٢١.
٢-٨- المراجع الأجنبية

- Amiri, F., Shariff.; A.M. and Tabatabaie, T. (2012) : Monitoring land suitability for mixed livestock grazing using Geographic Information System (GIS), Application of Geographic Information Systems, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol.(7), Issue 3 : Saudi Society for Geosciences, Article published on line.

- Auddino, M. ; Dominici, R & Viscomi, A. (2015). Evaluation of yield sediment in the Sfalassà Fiumara (southwestern, Calabria) by using Gavrilović method in GIS environment, *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. **33**, pp. 3-7.

- Azaiez, N. ; Ansar, A. ; Baazaoui, N. and Qhtani, N. (2020). Assessment of soil loss in the Mirabah basin: An overview of the potential of agricultural terraces as ancestral practices (Saudi Arabia), *Open Journal of Soil Science*, **10** : 159-180.

- Bahrawi, J.A. ; Elhag, M. ; Aldhebani, A.Y. ; Galal, H.K. ; Hegazy, A.K. ; and Ebtisam Alghailani, E. (2016). Soil Erosion Estimation Using Remote Sensing Techniques in Wadi Yalamlam Basin, Saudi Arabia, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume **2016**, Article ID 9585962, 8 pages.

- Bemporad, G.A.; Alterach, J.; Amighetti, F.F.; Peviani, M.; Saccardo, I. (1997): A distributed approach for sediment yield evaluation in Alpine regions, *Journal of Hydrology*, **197**, 1-4 : 370-392.

- Brebbia, C.A. (2011). River basin management VI, Wessex Institute of Technology, WIT Press, Southampton, U.K.

- Chalise, D. ; Kumar, L. ; Spalevic, V. and Goran Skataric, G. (2019). Estimation of Sediment Yield and Maximum Outflow Using the IntErO Model in the Sarada River Basin of Nepal, *Water* 2019, **11**, 952 : 1-15.

- De Cesare, G. ; Beyer Portner, N.A. ; Boillat, J.L. and A. Schleiss, A. (1998). Modelling of erosion and sedimentation based on field investigations in Alpine reservoirs of hydropower schemes, Paper in: Proceedings, *3rd International Conference on Hydrosience and Engineering*, Cottbus/Berlin, Vol. **3**, September 1998.

- Dalaris, M.; Psilovikos, A. ; Sapountzis, M. and Mourtzios, P. (2013): Water erosion assessment in Skiathos island using the Gavrilović method, *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume **22** , No 10: 2943-2952.
- Dragičević, N.; Whyatt, D.; Davies, G.; Karleuša, B. and Ožanić, N. (2014) : Erosion model sensitivity to Land cover inputs: case study of the Dubračina catchment, Croatia. In: Proceedings of the GIS Research UK, 22nd Annual Conference GISRUUK 2014, Glasgow, pp 340 -348.
- Efhimiou, N. ; Lykoudi, E. and Karavitis, C. (2016). Assessment of soil susceptibility to erosion using the EPM and RUSLE models: the case of Venetikos river catchment, *Global NEST Journal*, Vol. **18**, No 1: 164-179.
- Efhimiou, N.; Lykoudi, E. and C. Karavitis, C. (2017). Comparative analysis of sediment yield estimations using different empirical soil erosion models, *Hydrological Sciences Journal*, Vol. **62**:16, 2674-2694.
- Elhag, M.; Tatjana Kojchevska, T. Slivena Boteva, S. (2019): EPM for Soil Loss Estimation in Different Geomorphologic Conditions and Data Conversion by Using GIS, *IOP Conf. Series: Earth Environent Sciences* **221** , 13 pages.
- Emmanouloudis, D.A.; Odysseas, P.C. and Evangelos, I.F. (2003): Quantitative estimation of degradation in the Aliakmon River basin using GIS, Erosion Prediction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques (Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo. July 2003). IAHS Publ. no. 279, 2003.
- Fanetti, D., Vezzoli, L.(2007) : Sediment input and evolution of lacustrine deltas: the Breggia and Greggio rivers case study (lake Como, Italy), *Quaternary International*, 173-174 : 113-124.
- Flanagan, D.C.; Gilley, J. E. and Franti, T. G. (2007): Water erosion prediction project (WEPP): Development and History, Model capabilities and Future enhancements, *Transactions of the ASABE* (American Society of Agricultural and Biological Engineers), Vol. **50** (5): 1603-1612.
- Gavrilović, S. (1988). The use of an empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams International, Conference of River Regime, 18–20 May, Wallingford, England 1988 pp. 411–422.

- Gavrilović, S., (1976). Bujicani tokovi I erozija (Torrents and Erosion in Serbia), 159-311, Gradevinski Kalendar 1976, Beograd, Serbia.
- Globevnik, L.; Holjević, D. ; Petkovseki, G. and Rubinić, J. (2003). Applicability of the Gavrilovic method in erosion calculation using spatial data manipulation techniques, *Erosion prediction in ungauged basins: Integrating Methods and Techniques* (Proceedings of symposium, HS01 held during IUGO2003 at Sapporo. July 2003, IAHS Publ. no. 279: 224-233.
- Kastridis, A. and Kamperidou, , V. (2015). Influence of Land Use Changes on Alluviation of Volvi Lake Wetland (North Greece), *Soil & Water Researches*, Vol.10, (2): 121-129.
- Lin, C.Y. ; Lin, W.T. and Chou, W.C. (2002). Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil and Tillage Research* 68:143-152.
- Milanesi, L. ; Pilotti, M. and Clerici, A. (2015). The Application of the Erosion Potential Method to Alpine Areas: Methodological Improvements and Test Case, *Engineering Geology for Society and Territory* ,Volume 3 : 347-350.
- Millward, A. A. and Mersey, J.E. (1999): Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38, 109-129.
- Minčev, I. and Blinkov, I. (2007): GIS Model for assessment water and sediment discharge based on the methodology of Gavrilović, International Conference Erosion and Torrent Control as a Factor in Sustainable River Basin Management, 25-28 September 2007, Belgrade - Serbia.
- Mushtak, T.J. and Chen, X. (2005). Soil degradation risk prediction integrating RUSLE with Geo-Information techniques, the case of Northern Shaanxi province in China, *American Journal of Applied Sciences*, Vol. (2), No. 2 : 550-556.
- Noori, H.; Siadatmousavi, S.M. and Mojaradi, B. (2016): Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed (Iran), *International Soil and Water Conservation Research* 4 : 199-206.
- PSIAC (Pacific Southwest Inter-Agency Committee) (1968): Report of the water management subcommittee on factors affecting sediment yield in the Pacific southwest area and selection and evaluation of measures for reduction of erosion and sediment yield.
- Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G. A. and Porter, J.P. (1991): RUSLE-Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46, 30-33.

- Salahalddin S. Ali.; Al-Umary, F.A.; Salar, S.G.; Al-Ansari,N. and Knutsson,S. (2016) : GIS Based Soil Erosion Estimation Using EPM Method, Garmiyan Area, Kurdistan Region, Iraq, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, **10** : 291-308.
- Silva Tavares, A.; Spalevic, V.; Avanzi, J.C.; Nogueira, D.A.; Naves Silva, M.L. and Luiz Mincato, R. (2019): Modeling of water erosion by the erosion potential method in a pilot sub basin in Southern Minas Gerais, *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, Volume **40**, no. 2 : 555-572.
- Solaimani,K.; Modallaldoust, S. and Sedigheh Lotfi, S. (2009): Soil Erosion Prediction Based on Land Use Changes (A Case in Neka Watershed), *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* **4** (2): 97-104.
- Spalević, V.; Raičić, B.; Djeković, V.; Andjelković, A. and Curović, M. (2014): Calculation of the Soil Erosion Intensity and Runoff of the Lapnjak Watershed, Polimlje, Montenegro. *Agriculture and Forestry*, **60** (2) : 261-271, Podgorica.
- Williams, J.R., 1975. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor, present and prospective technology for predicting sediment yield and sources. ARS-S-40. Brooksville, FL: US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 244-252.
- Wischmeier, W. and Smith, D. (1957): Factors affecting sheet and rill erosion. *Transactions of American Geophysical Union*, **38**(6), 889-896.
- Wischmeier, W.H. and Smith D.D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses- A Guide to Conserving Planning, United States Department of Agriculture, Agriculture Handbook 537.
- Zahnoun, A.A.; Makhchane, M.; Chakir, M.; Al Karkouri, J. and Watfae, A. (2019) : Estimation and cartography the water erosion by integration of the Gavrilovic “EPM” model using a GIS in the Mediterranean watershed: Lower Oued Kert watershed (Eastern Rif, Morocco), *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, Volume (5), Issue 6: 367-374.

الجدول الملحق ١: كميات الأمطار الشهرية والسنوية بمحطة الحريق (R104-463)

السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
1975	31.0	0.0	32.0	18.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	89.5
1976	0.0	10.0	44.5	26.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	90.5
1977	8.0	1.0	15.0	6.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	52.0
1978	0.0	9.5	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.5
1979	5.0	0.0	3.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	25.0
1980	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	15.0
1981	0.0	4.0	28.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.0
1982	5.0	22.0	15.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	13.0	0.0	96.0
1983	0.0	0.0	56.0	10.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0
1985	2.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.0	31.0
1986	0.0	4.0	19.8	116.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	141.8
1987	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1988	0.0	61.0	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	89.0
1989	0.0	3.0	46.0	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	99.5
1990	0.0	14.0	0.0	15.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.0
1991	11.0	0.0	11.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	27.0
1992	27.0	13.0	24.0	8.0	2.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	2.0	5.0	87.0
1993	2.0	3.0	8.0	31.0	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	86.0
1994	0.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	21.0
1995	2.0	7.0	88.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.0	172.0
1996	35.0	3.0	50.0	46.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	145.0
1997	5.0	0.0	51.0	32.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	48.5	0.0	154.5
1998	14.8	0.0	37.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	67.8
1999	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
2000	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
2001	0.0	0.0	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	44.0
2002	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	15.0
2003	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.0	83.0
2004	35.0	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	150.0
2005	5.0	30.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0
2006	0.0	0.0	6.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	7.0	32.0
2007	3.0	19.0	1.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.0
2008	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	38.0	0.0	47.0
2009	0.0	0.0	1.0	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.0	63.0
2010	0.0	0.0	0.0	42.0	83.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0
2011	30.0	0.0	10.0	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	87.0
2012	0.0	1.0	0.0	63.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	27.0	2.0	97.0
2013	0.0	0.0	5.0	38.0	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	118.0
2014	18.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	1.0	45.0

102.5	53.5	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	24.0	0.0	4.0	2015
42.2	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	18.0	9.0	0.0	0.0	2016
87.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.5	0.0	2017
4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	2018

الجدول الملحق ٢ : كميات الأمطار الشهرية والسنوية بمحطة حوطة بني تميم (R115-472)

السنة	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
1975	22.4	17.8	14.8	18.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.8	93.0
1976	0.0	0.7	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0
1977	5.9	0.7	12.7	4.9	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	36.9
1978	0.0	6.5	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7
1979	3.7	0.0	2.6	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	17.8
1980	7.0	45.0	7.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	73.0
1981	0.0	3.5	22.0	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.5
1982	6.0	29.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	58.0
1983	0.0	0.0	47.6	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.6
1984	0.0	4.0	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
1985	3.5	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	22.0
1986	0.0	0.0	0.0	56.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.5
1987	0.0	7.0	35.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0
1988	0.0	23.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0
1989	0.0	0.0	26.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	30.0
1990	3.0	5.0	4.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3
1991	7.0	1.5	9.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	21.5
1992	5.0	0.0	6.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	28.0
1993	0.0	0.0	4.5	18.0	11.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.4
1994	0.0	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	2.1	24.4
1995	5.0	1.5	85.5	24.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	196.0
1996	35.0	33.5	43.5	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	128.0
1997	0.0	0.0	117.0	45.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.5	0.0	61.0	264.5
1998	9.0	0.0	32.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0
1999	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
2000	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
2001	0.0	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
2002	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	6.0
2003	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0	63.5
2004	23.0	0.0	0.0	211.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	234.0
2005	5.0	30.0	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1
2006	0.0	0.0	25.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	11.0	111.0
2007	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5
2008	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	0.0	46.8
2009	0.0	6.0	0.0	34.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	54.7
2010	0.0	0.0	0.0	22.5	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	66.0
2011	27.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.4
2012	0.0	0.0	1.5	34.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7	0.0	60.1
2013	0.0	0.0	7.0	38.5	44.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.6	0.0	115.8
2014	7.5	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	5.5	39.8
2015	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.5	0.0	27.0
2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	10.2
2017	0.0	23.9	19.0	0.0	25.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.2
2018	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0

**Soil erosion estimation in Wadi Thilan basin, south of Riyadh
In the Kingdom of Saudi Arabia:
A study in environmental geomorphology**

Dr.. Farhan Al Juaidi,

Prof. Mohamed Bourouba

Abstract

In the absence of actual measurements of the soil erosion processes, this study deals with the estimation of erosion by applying the Gavrilović 'EPM' model, based on the average yearly of rainfall, the temperature coefficient, and the values of the reference tables for the soil cover coefficient (X_{ai}), the soil resistance coefficient (Y_i) and the and the coefficient of the extent (\emptyset). The mean slope of the watershed (I_i), and the perimeter of the basin (O), difference between the mean and the outlet elevations (D) and the basin length (L) can be computed by the outputs the DEM digital elevation model analysis.

The Shapiro-Wilk statistical test showed the normality of the annual erosion total (W_g), the actual sediment yield (solid transport, G_g) and the average annual specific production of sediments (W_{sp}) in the total drainage area of wadi Wuthaylan equivalent to 663 km². Also, this statistical test revealed the distribution conformity of the soil erosion and the rainfall distribution.

The results of the statistical tests of Levene test, Hartley's $F_{\max-ratio}$ t-student of the variances of rainfall, soil erosion and their increasing trends are not significant during the two periods (1975-1996) and (1997-2018).

Key-words:

Gavrilović 'EPM' model, Annual rainfall, Average annual specific production of sediments, Annual erosion total, Actual sediment yield, Statistical test, Wadi Wuthaylan basin, Saudi Arabia.