



تطبيق نموذج RUSLE لتقدير انجراف التربة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات  
الجغرافية في حوضي (ذمار- يريم) - اليمن

**Application of the RUSLE model to estimate soil erosion using remote  
sensing and GIS in the two basins (Dhamar-Yarim) - Yemen**

**Mohammad Naji Ali Al-Shami**

*Researcher - Faculty of Arts and Humanities - Department of  
Geography and Geoinformatics - Sana'a University*

**محمد ناجي علي الشامي**

*باحث - كلية الآداب والعلوم الإنسانية - قسم الجغرافيا  
والجيوانفورماتكس- جامعة صنعاء*

**الملخص:**

تعتبر مشكلة انجراف التربة من المشاكل التي تعاني منها كثير من دول العالم خاصة البلدان ذات التضاريس المعقدة والمناطق الجافة وشبه جافة، حيث أن انجراف التربة يتسبب في فقدان كميات ومساحات واسعة من التربة الخصبة الصالحة للزراعة خاصة في المناطق الجبلية في اليمن، ولذلك فهذا البحث يهدف إلى حساب كمية التربة المنجرفة بتطبيق نموذج المعادلة العالمية لانجراف التربة (RUSLE) باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، وتم استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) وصور الأقمار الصناعية Landsat-9، في حساب كمية التربة المفقودة والتنبؤ بكميات التربة المنجرفة في حوض (ذمار- يريم) في اليمن، وقد اظهرت النتائج أن معدل فقدان التربة في منطقة الدراسة تراوح بين 1-113 طن/هكتار/سنة، بمعدل سنوي بلغ 11.9 طن/هكتار/سنة، وأن إجمالي كمية التربة المفقودة أو المنجرفة سنويا تصل إلى نحو 1025500 طن، وأن المناطق التي ترتفع فيها خطورة الانجراف المائي تبلغ حوالي 3% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتتركز في المناطق الجنوبية كما في حوض يريم، كما أن منطقة الدراسة بشكل عام تصنف بأنها ذات انجراف خفيف حيث أن المناطق التي تقل فيها كمية الانجراف عن 1 طن/هكتار/سنة، تصل مساحتها إلى ما نسبته 73% من إجمالي مساحة المنطقة، كما أن التقنيات الجغرافية الحديثة أداة فعالة ومفيدة توفر الجهد والوقت والمال في دراسة مشكلة انجراف التربة المائي.

**الكلمات المفتاحية:** المعادلة العالمية لانجراف التربة، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، (حوض ذمار-يريم)، اليمن.

**Abstract:**

The problem of soil erosion is one of the problems that many countries of the world suffer from, especially countries with complex topography and arid and semi-arid areas. Soil erosion causes the loss of large quantities and areas of fertile arable soil, especially in the mountainous regions of Yemen. This research aims to calculate the amount of eroded soil by applying the Global Equation of Soil Erosion (RUSLE) model using remote sensing technology and geographic information systems. The Digital Elevation Model (DEM) and Landsat-9 satellite images were used to calculate the amount of soil lost and predict the amount of eroded soil in the (Dhamar-Yarim) basin in Yemen. The results showed that the rate of soil loss in the study area ranged between 1-113 tons/ha/year, at an annual rate of 11.9 tons/ha/year. The total amount of soil lost or eroded annually is about 1,025,500 tons. The areas with a high risk of water erosion amount to about 3% of the total area of the study area, concentrated in the southern regions, as in the Yarim basin. The study area in general is classified as having light erosion, as the areas where the amount of erosion is less than 1 ton/ha/year reaching an area of 73% of the total area of the area. The use of modern geographical techniques is an effective and useful tool that saves effort, time and money in studying the problem of water erosion.

**Keyword:** global equation for soil erosion, geographic information systems, remote sensing, (Dhamar-Yarim Basin), Yemen.

**المقدمة:**

الجافة وشبه الجافة والتي تسبب تدهور التربة،

وتتمثل في ضياع كميات كبيرة من التربة من

جهة وانخفاض قدرتها الانتاجية بسبب فقدان

يعد انجراف التربة المائي احد المشاكل الرئيسية

التي يواجهها النظام البيئي لا سيما في المناطق

دراسة بهدف تقييم خطر الانجراف المائي في احدة الاحواض المائية في الهند باستخدام المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وتبين ان الحد الاعلى من فقد التربة بلغ 17 طن/هكتار/سنة حيث تكثرت الغابات المتدهورة الواقعة على منحدرات شديدة (Parasannakuma et al., 2012)، كما استخدم الباحثون المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة ومفرداتها في تقدير كمية الرواسب في المساقط المائية اعتمادا على معرفة الخصائص البيدرولوجية للمسقط المائي، و أمكن تقييم طرق صيانة التربة الواجب اتباعها، كما أمكن تحديد خطر الانجراف الكامن باستخدام المعادلة العالمية لفقد التربة، وقد حسبت المتغيرات المؤثرة في انجراف التربة باستخدام التقانات الحديثة (Londhe et al., 2010; Hui et al., 2005) العالمية المعدلة لفقد التربة وما زالت احد اهم النماذج التطبيقية التي استخدمت في تقدير كميات التربة المفقودة بالانجراف المائي لان عناصر او مفردات هذه المعادلة مستقاة من العوامل الرئيسية التي تؤثر في الانجراف ( عامل الحت المطري- الطبوغرافيا - قابلية التربة للانجراف - الغطاء النباتي- عامل صيانة التربة) حيث يمكن الحصول على كمية التربة المفقودة بعد تقدير قيم هذه العوامل وضربها في بعضها، غير ان استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS&RS) قد سهل عملية تقدير مفردات المعادلة العالمية ومكن من التحليل المكاني لمناطق الخطورة واثبت فاعليته في مناطق الاحواض المائية وامكن التنبؤ بكميات التربة التي يتم فقدانها نتيجة الانجراف المائي.

عناصر خصوبة التربة (N,P,K) والحبيبات الناعمة) من جهة اخرى، كما تسبب عملية الترسب للترب المنجرفة تراكم كميات كبيرة من الترب، ويعرف الانجراف المائي بأنه انفصال وانتقال مواد التربة بفعل الحت والنقل بسبب مياه الامطار والسيول، واستخدمت الدراسة نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) الذي نشرها العالمان Wischmeier & Smith عام 1979م، من اجل التنبؤ بكميات التربة المفقودة بفعل الانجراف المائي ورسم الخرائط اللازمة لها(بركات، 2018، 13)، وتشير دراسة المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (اكساد) 2002م، بأن الاراضي اليمينية المتدهورة بفعل الانجرافات المائية تقدر بـ 5,1 مليون هكتار، بدرجات تدهور مختلفة منها 644 ألف هكتار تدهور بسيط، 1,847 ألف هكتار متوسط و 2,80 ألف هكتار ذات تدهور شديد، وهذا يشكل خطراً شديداً في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تعتمد على النشاط الزراعي ومنها منطقة الدراسة(المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة(اكساد)، 2002، 90)، وقد استخدمت العديد من النماذج لتقدير كمية التربة المنجرفة بفعل المياه، تباينت فيها من البسيط إلى المعقد وكذلك تباينت من حيث البيانات اللازمة وقدرتها على التنبؤ بفقد التربة، كما تباينت من حيث الطرق التقليدية والطرق الحديثة، فقد استخدم الشامي(2011) معادلات تجريبية تعتمد على الطرق التقليدية في حساب كمية التربة المنجرفة في مديرية نمار وتوصل الى ان معدل الانجراف السنوي بلغ 6 طن/هكتار سنة (الشامي، 2011، 173)، بينما أجريت

## مشكلة الدراسة

تفتقر منطقة الدراسة إلى دراسات تقدير انجراف التربة، كما ان تقدير انجراف التربة بالطرق التقليدية يعد امراً غاية في الصعوبة، مما دعاء الحاجة إلى تبني واستخدام النماذج الرياضية وتقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية لحسابها، ويمكن صياغة مشكلة الدراسة بالتساؤلات التالية: .

1- ما مقدار كمية الانجراف المائي لتربة بمنطقة الدراسة؟

2- ما الاماكن الاكثر تعرضاً لخطر انجراف التربة بمنطقة الدراسة؟

3- ما دور الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة خطر انجراف التربة؟

## أهداف الدراسة

1- الاستعانة بتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة التنبؤ بكميات التربة المنجرفة ورسم الخرائط عن طريق تطبيق نموذج المعادلة العالمية المعدلة لفقدان التربة (RUSLE) لحساب كمية انجراف التربة في منطقة الدراسة.

2- إجراء التحليل الإحصائي المكاني لإنتاج خرائط تظهر خطورة انجراف التربة بفعل المياه في منطقة الدراسة وتصنيف تلك المناطق تبعاً لدرجة خطورة الانجراف.

## أهمية الدراسة

1- تعتبر اول دراسة علمية في منطقة الدراسة لتقدير كمية التربة المفقودة بالانجراف المائي بتطبيق معادلة (RUSLE) المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة، بواسطة استخدام تقنيات جغرافية حديثة (GIS&RS).

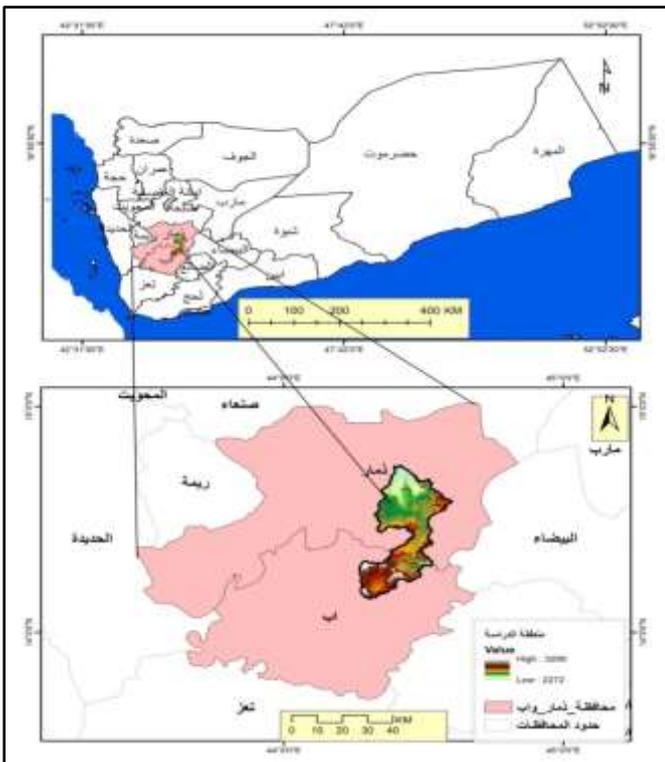
## 2- تساعد صناعات القرار والمهتمين والباحثين في

ايجاد الحلول المناسبة في حماية التربة.

## حدود منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة في المنطقة التضاريسية الكبرى من سهول المرتفعات الوسطى، التي تتألف جزءها الغربي من الكتل الجبلية العالية المطلة على المرتفعات الغربية في اليمن، وجزءها الشرقي على الهضبة الشرقية، متمثلة في مرتفعات جبلي اللسي وضركام، وتمتد من جنوب يريم (نقيل سماره) إلى مرتفعات ظولم في أقصى الشمال لحوض بلسان السواد شمالاً، بطول قدرة 66 كم، وتبلغ مساحة منطقة الدراسة 1012 كم<sup>2</sup>. أما الموقع الفلكي بالنسبة لخطوط الطول ودوائر العرض: فتشمل الدراسة حوض ذمار- يريم الذي يقع بين دائرتي عرض  $14^{\circ}07'54''$  و  $14^{\circ}34'4''$  شمالاً، وبين خطي طول  $44^{\circ}36'56''$  و  $44^{\circ}17'16''$  شرقاً (خريطة 1).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



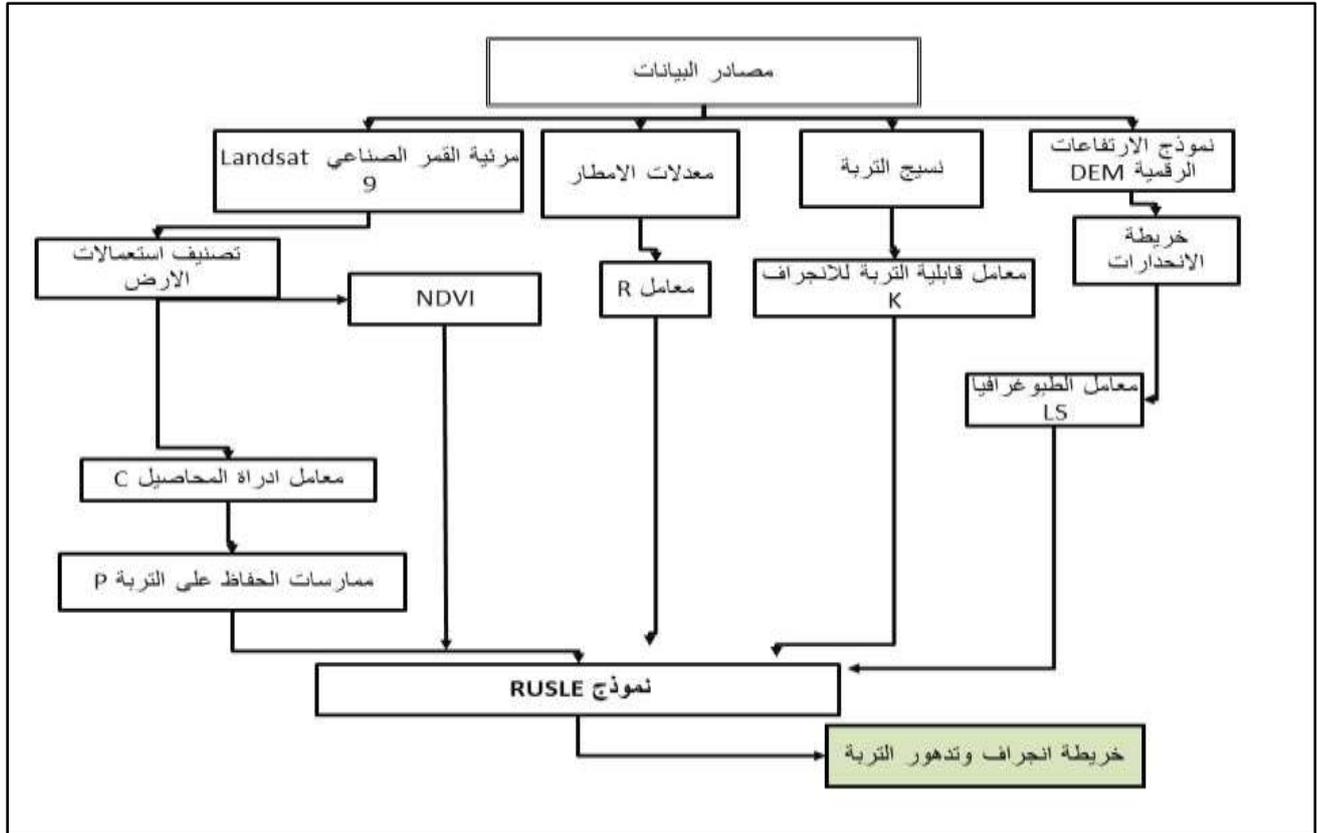
## الأدوات والبرامج المستخدمة في الدراسة

م	البيانات	تاريخ الإصدار	الجهة	الإجراءات المتبعة في استخراج المعلومات
1	صور القمر الصناعي (Landsat - 9)	2022م	USGS هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية	استخراج خرائط استخدام الأرض، وكذلك استخراج خرائط رقمية لمؤشرات الغطاء النباتي NDVI وعمل المجسم الأرضي
2	نموذج الارتفاعات الرقمي DEM بدقة تمييز مكاني 30م ، من القمر الصناعي SRTM	2022	USGS هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية	معرفة طبوغرافية منطقة الدراسة وبناء المجسم الأرضي واستخراج خريطة الانحدارات والارتفاعات
3	بيانات الهطول المطري	2020	موقع ناسا ( <a href="http://www.power.larc.nasa.gov">www.power.larc.nasa.gov</a> )	استخراج معدلات الامطار - السنوية والشهرية واليومية، واستخراج اقصى كمية امطار يومية
4	نتائج تحليل الميكانيكي لعينات التربة	2022	هيئة البحوث والارشاد الزراعي - مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة - مختبر التربة والمياه	لعمل خارطة قابلية التربة على التعرية (رمل - سلت - طين)
5	الخريطة الطبوغرافية	1980م	الجمهورية اليمنية ، مصلحة المساحة والسجل العقاري، بمقياس رسم 1:50000	لتحديد منطقة الدراسة
6	خريطة التربة	2006م	خريطة التربة للجمهورية اليمنية، بمقياس رسم 1:250000 الصادرة عن هيئة البحوث والارشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة	لمعرفة تصنيف التربة في منطقة الدراسة، وفق التصنيف العالمي، واستخراج مساحة كل صنف
7	جهاز تحديد المواقع العالمية Global Position (GPS) System	2022		اخذ احداثيات العينات من اجل اسقاطها على برنامج الـ ARC GIS 10.8 لعمل التحليل المكاني لنتائج العينات
8	برنامج ArcGIS 10.8	2022	Esri	لإدخال وخرن وبناء قواعد البيانات وإجراء التحليل المكاني
9	برنامج Erdas Imagine10.14	2020	Intergraph	لإجراء تحليل ومعالجة الصور الفضائية
10	برنامج QGIS	2022		لتحسين الصور الفضائية وحساب بعض ادلة مؤشرات الغطاء النباتي

**منهجية الدراسة:**

اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي وتعتمد في الدرجة الاولى على المعادلة العالمية المعدلة لانجراف التربة (RUSLE) وبتطبيق تقنية نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد لتقدير كمية انجراف التربة بفعل المياه، ويوضح شكل (1) تطبيق منهجية نموذج (RUSLE).

شكل (1) منهجية تطبيق نموذج RUSLE في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث

المعادن الأخرى التي لها علاقة وثيقة بتكوينات جسم التربة ونوعيتها مما انعكس على كثير من خصائصها. اما بالنسبة للطبوغرافيا فنجد أن الجسم الارضي شكل (2) يبين أن منطقة الدراسة عبارة عن مجموعة من المرتفعات الجبلية والمنخفضات والوديان العميقة والصغيرة تستغل معظمها في الرعي والنشاط الزراعي، إن تلك المرتفعات تمثل المساقط العليا لوادي السد (اذنه) في الجهة الشمالية من المنطقة، بينما تعد المرتفعات في الجهة الجنوبية من منطقة الدراسة الروافد العليا لوادي بنا (اغا،111،1983)، وتتباين

**جغرافية منطقة الدراسة****الخصائص الجيولوجية والطبوغرافية**

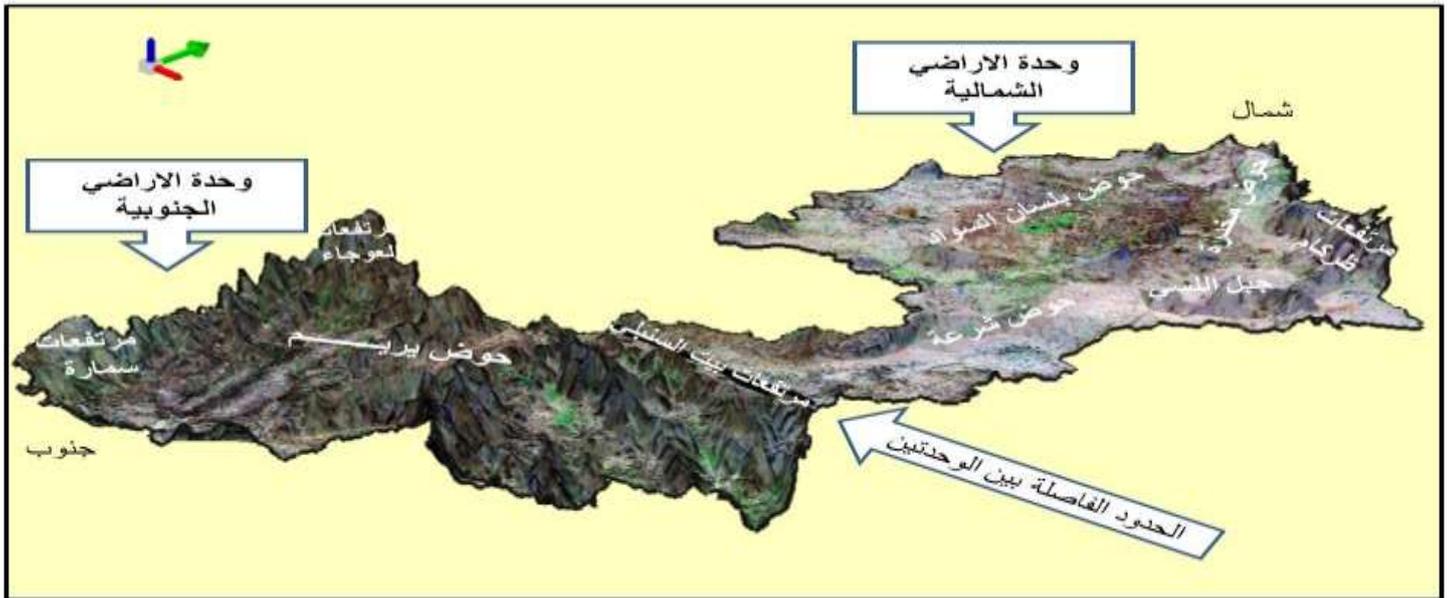
أشارت معظم الدراسات الجيولوجية الخرباش والانبعايوي(1999) وعباس والسنباني (1991) وهيئة المساحة الجيولوجية(2026) والسامرائي ومشعل(2001) ان جيولوجية المنطقة يعود اغلب تكويناتها الصخرية للزمن الجيولوجي الثالث والرابع، وان معظمها تكوينات صخرية بازلتية غنية بمعادن الفلسبار والكوارتز، والزجاج البركاني والكثير من

### الانحدارات

تم الاستعانة بنموذج الارتفاعات الرقمية DEM للحصول على فئات الانحدار خريطة (3)، والتي من خلالها نجد أن الانحدار يتباين بين مناطق شديدة الانحدار ومتوسطة وقليله، وارااضي شبة مستوية، كما توضح مدى تفاوت درجات الانحدار اذ تراوحت بين  $0^{\circ}$  -  $63^{\circ}$ ، وان اقصى درجات الانحدار تقع حول المرتفعات الجبلية وحول المجاري المائية، نتيجة للتعرية المائية، وقد تم تصنيف الانحدار في منطقة الدراسة إلى خمسة أصناف رئيسية بحسب تصنيف المعهد الدولي ITC كما هو موضح في جدول (1).

الارتفاعات في منطقة الدراسة بين (2272 - 3205) م فوق مستوى سطح البحر خريطة (2). وبالتالي فان طبوغرافية المنطقة تنقسم فيزيوغرافياً إلى وحدتين، هما الوحدة الارضية الجنوبية وهي أكثر المناطق تنافر في تضاريسها وشديدة الانحدار، يعود معظم تكويناتها الجيولوجية للزمن الجيولوجي الثالث، اما بالنسبة للوحدة الارضية الشمالية فإنها شبة مستوية وقلية التنافر من حيث تضاريسها، ويعود معظم صخورها للتكوينات الجيولوجية الرباعية. المصدر: الباحث استناداً إلى بيانات (DEM) وباستخدام برنامج ArcGIS Scan

شكل (2) الوحدات الفيزوغرافية في منطقة الدراسة

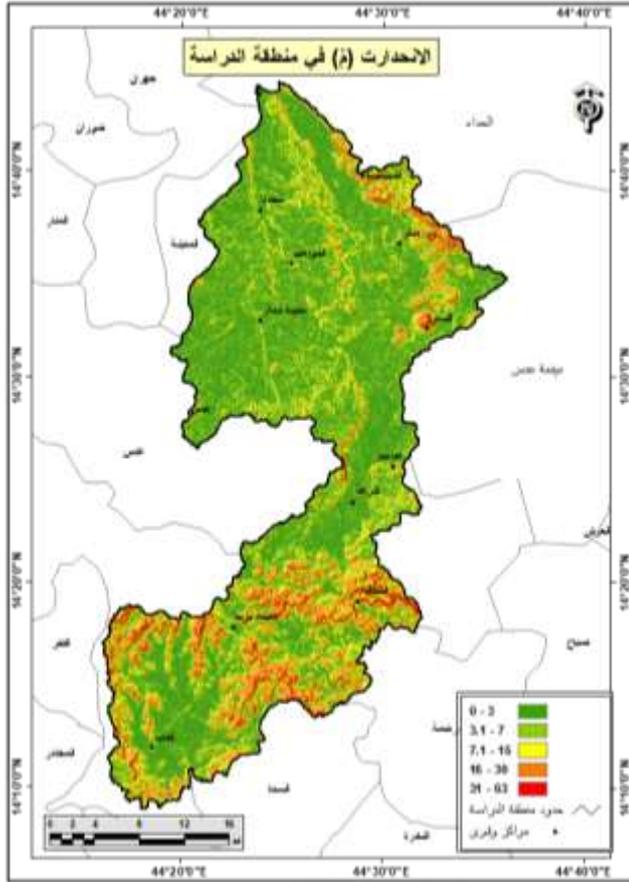


جدول (1): تصنيف الانحدار في منطقة الدراسة

تصنيف الانحدار	النسبة %	المساحة كم <sup>2</sup>	فئة الانحدار (بالدرجة)
شبة المستوية	54.5	551.9	0 - 3
الانحدار الخفيف	24.4	246.5	3.1 - 7
الانحدار المعتدل	11.2	113.0	7.1 - 15
الانحدار الشديد إلى متوسط	6.9	70.3	15.1 - 30
الانحدارات الشديدة	3.0	30.1	30.1 - 63.2

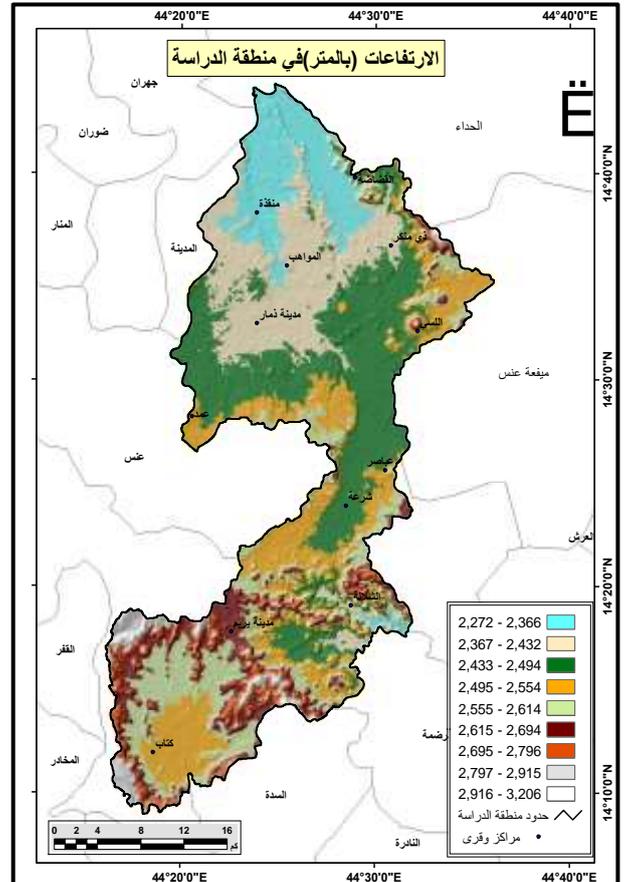
	100	1011.8	الاجمالي
--	-----	--------	----------

خريطة (3) درجة الانحدارات في منطقة



المصدر: الأبحاث اعتمدا على DEM باستخدام ArcGIS 10.8

خريطة (2) الارتفاعات (م) في منطقة



المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات DEM في برنامج Arc GIS

### الامطار

تتنصف الامطار بقلتها وتذبذبها وفجائيتها في سقوطها ليصل معدلها السنوي إلى 408 ملم/سنويا، وتسقط خلال موسمين، يبدأ الأول موسم الربيع (من منتصف مارس إلى منتصف مايو)، ثم يبدأ الثاني موسم الصيف (من منتصف يوليو حتى أغسطس)، لتتوقف تدريجياً في نهاية أغسطس أما بقية الشهور فتعد جافة بشكل عام بالرغم من احتمال هبوب عواصف رعدية جالبة معها الأمطار خلال هذه الشهور.

### المصدر: . الباحث اعتماد على الخريطة (3)

يستنتج من خلال ما سبق بأن أغلب منطقة الدراسة تقل فيها درجة الانحدار عن 15°، وبنسبة 78.9% من اجمالي مساحة حوض منطقة الدراسة، بينما يمثل 21.1% من مساحة حوض منطقة الدراسة انحدارات شديدة إلى معتدلة، كما يلاحظ ان الارضي شبة المستوية تتواجد في الوحدة الارضية الشمالية متمثلة في حوض ذمار، بينما المناطق ذات الانحدار الشديدة تتركز في الوحدة الارضية الجنوبية متمثلة في حوض يريم.

## التربة

هي عبارة عن تربة قليلة العمق وضحلة وكلسية تتباين في اعماقها ما بين 10 سم إلى اقل من 50 سم، وتتواجد في اعالي المرتفعات الشرقية، كجبل اسبيل وضركام، وتقدر مساحتها بـ 1.76 كم<sup>2</sup>، وبنسبة 1.7% من اجمالي منطقة الدراسة.

اما من حيث القوم فقد اكدت نتائج التحليل الميكانيكية للتربة بانها متماثلة إلى حداً ما، فهي ذات قوام مزيجي طيني رملي (Sandy Clay) ورملي (Loam) وطيني (Clay) ومزيجي (Loamy)، ورملي مزيجي (Loamy Sand) رملي (Sandy).

## الموارد المائية

إن منطقة الدراسة كبقية المناطق اليمنية تعاني من شحة في الموارد المائية وتمثل مياه الأمطار والمياه الجوفية المصدر الاساسي للموارد المائية، حيث تتصف الأمطار في تساقطها بقلتها و تذبذبها، إلا أنه على الرغم من تذبذبها وشحتها تبقى المصدر الوحيد لتغذية المياه الجوفية، لعدم وجود أي مصادر مائي أخرى، إلا أنه لا يعتمد عليها في ري معظم المحاصيل الزراعية، بينما تعتبر المياه الجوفية في منطقة الدراسة هي المصدر الرئيس لتلبية متطلبات مختلف القطاعات والأنشطة المختلفة سواءً كانت سكنية أو زراعية أو صناعية أو خدمية.

## الغطاء النباتي

يعد الغطاء النباتي من العوامل المهمة التي تؤثر على انجراف التربة، إذ أن زيادة الغطاء النباتي تعني

ذكرت العديد من الدراسات للتربة، دراسة King (1983) و دراسة Acres, (1980) ودراسة دليل تصنيف تربة المزارع البحثية في البحوث الزراعية (2008) أنه تم تصنف التربة في منطقة الدراسة وفقاً لنظامي التصنيف المعتمد في اليمن، وهما: النظام الأمريكي (Soil Taxonomy, 1994) والنظام العالمي المرجعي (Reference World) (Base, 1998) (WRB) وقد شملت منطقة الدراسة على ثلاث رتب، كما يلي:.

### - رتبة التربة حديثة التكوين ( Soils

#### (Predominantly Entosols

هي تربة حديثة غير متطورة وليس بها أفق تشخيصية شائعة الوجود، بمعنى أنها لا تحتوي على أفق ناضجة في القطاع الأرضي، كما أنها تربة أراضي جافة وضحلة، تقدر مساحتها بـ 181.98 كم<sup>2</sup>، بنسبة 32.8% من مساحة منطقة الدراسة.

### - رتبة التربة المتطورة نوعاً ما ( Soils

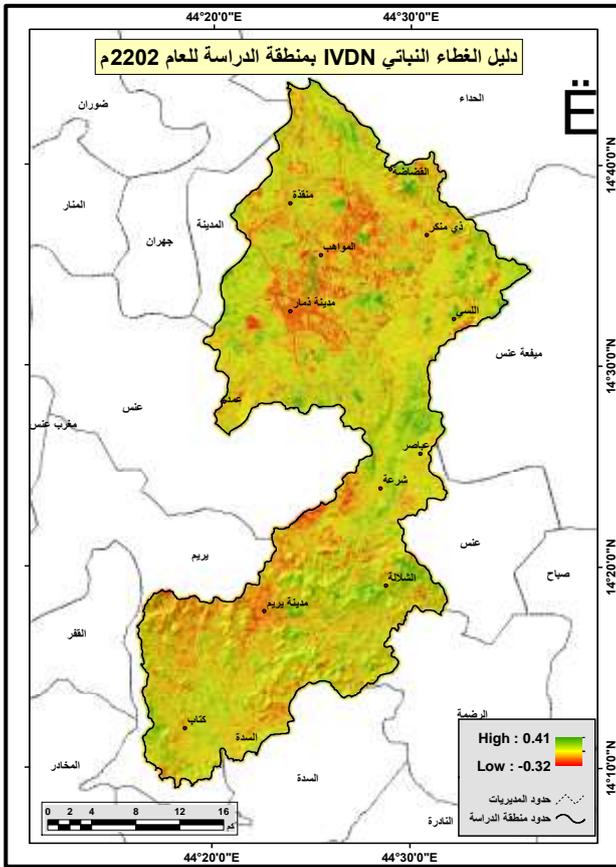
#### (Predominantly Inceptisols

تتصف هذه التربة بأنها شبه جافة او رطبة نوعاً ما وقليلة التطور، وتحتوي على بعض الأفق المتطورة بخلاف الأفق التي بها طين منقول، وهي أكثر تطوراً من رتبة التربة الحديثة، تتكون هذه التربة تحت جميع الظروف المناخية، وغالباً ما تكون رواسبها من الرماد البركاني أو صخور بركانية أكثر خشونة وتتصف بخاصية الشقوق احتلت مساحة تقدر بـ 827.2 كم<sup>2</sup> وبنسبة 65% من إجمالي مساحة منطقة الدراسة.

### - رتبة تربة الاراضي الضحلة ( Soils

#### (Predominantly Rock Outcrops

## خريطة (4) دليل الغطاء النباتي في منطقة الدراسة



## النتائج والمناقشة:

يعد نموذج المعادلة العالمية المعدلة لانجراف التربة المعروف اختصاراً بنموذج (RUSLE) من أكثر النماذج الرياضية استخداماً لتقدير انجراف التربة المائي، ويمكن بواسطته تقدير كمية التربة المفقودة بناءً على معطيات المنطقة، وتحديد الأراضي المتأثرة بالانجراف، ورسم الخرائط لها، ويعبر عنه بالمعادلة التجريبية (2) الآتية (بركات، 2018، 18):

$$A = R * K * LS * C * P$$

A = كمية التربة المفقودة بالانجراف المائي (طن/هكتار/سنة)

R = معامل هطول الأمطار

K = معامل قابلية التربة للانجراف

انخفاض المساحة المكشوفة من التربة، ومن ثم انخفاض احتمالية تعرضها للتعرية (القصاب، 2021، 139)، ومن ثم فإن الغطاء النباتي يعمل على حماية التربة من الانجراف بخفض سرعة الجريان المائي، وتقليل ارتطام قطرات المطر بسطح التربة، وقد تم الاعتماد على مؤشر كثافة الغطاء النباتي (NDVI) Normalized Differences Vegetation Index الذي يعد من أشهر الأدلة المستخدمة في مجال إبراز الغطاء النباتي على المستوى العالمي، هو يمثل الفرق بين الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء القريبة (NIR) ذات الطول الموجي (0.7-1.3) مايكروميتر والتي تتعرض للانعكاس العالي من قبل النباتات، والأشعة الحمراء المرئية (Red) ذات الطول الموجي (0.6 - 0.7) مايكروميتر والتي تتعرض للامتصاص من قبل صبغة الكلوروفيل، ويمكن إيجاد هذا الدليل من خلال المعادلة

$$(1) \text{ (القصاب، 88، 2021) } ::$$

$$\text{معادلة (1)} \quad NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

تظهر نتائج هذا المؤشر قيم رقمية تتراوح بين -1 و +1 فكلما كانت القيم قريبة من +1 دل ذلك على كثافة الغطاء النباتي، وكلما كانت القيم قريبة من -1 تدل ذلك على قلة وانعدام الغطاء النباتي، وفي منطقة الدراسة ظهرت النتائج كما في الخريطة (4) بأنها فقيرة من الغطاء النباتي حيث وصل الحد الأعلى لقيمة الـ NDVI إلى 0.41 وهذا يفسر على قلة الغطاء النباتي.

بينما تتخفص الشدة المطرية كلما اتجهنا شمالا لتصل إلى حوالي 9 ملم/30 دقيقة في حوض مخدرة.

- نمذجة معامل قابلية التربة للانجراف

### (Soil Suscertibility factor)K

يحدد معامل قابلية التربة على التعرية (K) تماسك التربة وقدرتها على مقاومة التعرية المائية التي تسببها الامطار، وهو مرتبط بنسبة الرمل والطين والسلت، وان اكثر المجموعات الميكانيكية انجرافا هي مجموعة السلت تليها مجموعة الطين ثم مجموعة الرمل (القصاب،137،2021) ، بمعنى ان الترب الرملية اقل استجابة للتعرية المائية بسبب قدرتها على الترشيح والحد من الجريان السطحي، ويتراوح قيمة معامل K بين 0 - 1 وتزداد قابلية التربة للانجراف باقتراب قيمة هذا العامل من الواحد، وتم استخراج قيمة هذا المعامل في منطقة الدراسة اعتماداً على نسيج التربة، من الرمل والطين والسلت، المكونة لجسم التربة، وحسب المعادلة التجريبية (4)(المغاري،21،2020):

$$K = 0.32 \times \left( \frac{Silt\%}{clay\%+sand\%} \right)^{0.27} \quad \text{معادلة (4)}$$

واظهرت النتائج ان معامل K تتراوح بين 0 - 0.33 كما هو موضح في الخريطة (6) حيث تبين انخفاض قابلية التربة على الانجراف في مناطق المرتفعات والمناطق الرملية والصخرية والمناطق السكنية، بينما العكس في ترب الوديان والسهول والمناطق المنخفضة.

S=معامل الميل او العامل الطبوغرافي

C=معامل الغطاء النباتي

P=معامل صيانة التربة

- نمذجة معامل أحت المطري R

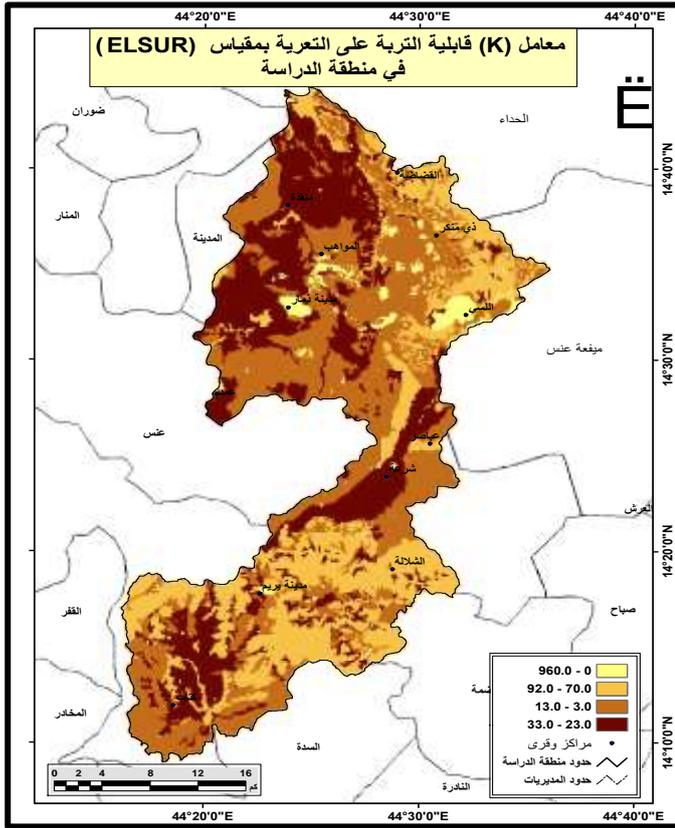
### (Rainfall Erosivity factor)

يحسب معامل الحت المطري من الطاقة الحركية لقطرات المطر الساقطة على سطح التربة، والتي تتمثل في كمية الطاقة الحركية للعاصفة المطرية او الشدة المطرية خلال زمن السقوط 30 دقيقة، ويعد المطر من أهم العوامل المسببة لانجراف التربة(كويس،66،2014) ، ومنطقة الدراسة تمتاز بان سقوط الأمطار يأتي على شكل زخات قوية وغير منتظمة حيث تسقط بكميات كبيرة وفجائية بعد فترات جفاف طويلة، الامر الذي يؤدي إلى انجراف التربة، وقد استخدمت الدراسة الطاقة الحركية أو أعلى قيمة للشدة المطرية اليومية خلال 30 دقيقة باستخدام المعادلة التجريبية (3) لقسم الارصاد الجوية الهندية (IMD)(دخيل،67،2017):

$$P_t = P \left( \frac{t}{24} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{معادلة (3)}$$

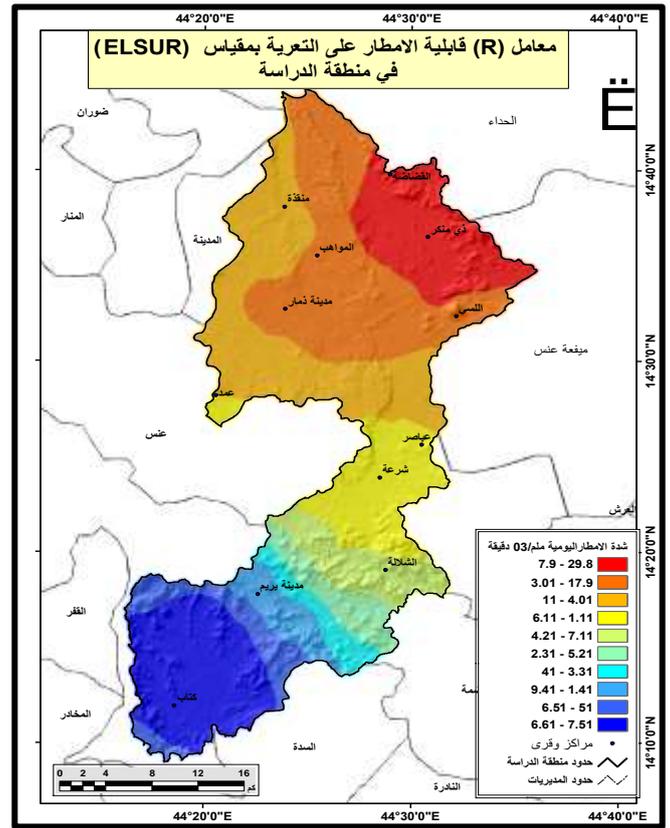
كمية الامطار القصوى خلال المدة المطلوب تحديدها =  $P_t$   
 المدة الزمنية المطلوبة (ساعة او دقيقة) =  $t$   
 وتم تطبيق تلك المعادلة على بيانات الامطار في منطقة الدراسة في بيئة التحليل المكاني Spatial Analyst وتم عرض النتائج في الخريطة (5) التي تبين ارتفاع الشدة المطرية في المناطق الجنوبية في حوض يريم والتي تصل إلى حوالي 17ملم/30 دقيقة،

## خريطة (6) معامل K قابلية التربة علم الانجراف



المصدر: الباحث اعتمادا على نسيج التربة في منطقة الدراسة من نتائج التحاليل المختبرية

## خريطة (5) معامل R قابلية الامطار اليومية (ملم/30دقيقة) على التعرية



المصدر: الباحث اعتمادا على المعادلة (3)، باستخدام برنامج ARCGIS10.8

### - نمذجة معامل الغطاء النباتي C (Vegetation Factor)

تم استخراج معامل الغطاء النباتي من خلال المعادلة (6) التي تعتمد على قيمة الـ NDVI (Woldemariam et al, 2018, p10):

$$C = \left( \frac{NDVI+1}{2} \right) \quad \text{معادلة (6)}$$

تم حساب معامل C للحصول على الخريطة (8) التي تبين قيمة معامل الغطاء النباتي في منطقة الدراسة التي تراوحت بين 0.20 - 0.55 حيث تصل القيم إلى 0.55 في المناطق التي تتصف بالعمران والمناطق الصخرية والمناطق الجرداء، لانخفاض كثافة الغطاء النباتي، وتتنخفض قيم معامل الغطاء

### - نمذجة معامل الطبوغرافيا LS (Topography Factor)

من اجل حساب معامل الطبوغرافيا يجب ايجاد معامل الانحدار S والذي تم استخراجه من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية DEM الخاص بمنطقة الدراسة بدقة مكانية 30م، وبعد ايجاد النسبة المئوية للانحدار، تم ايجاد معامل الطبوغرافيا LS واستخراج الخريطة (7) من خلال المعادلة (5) (بركات، 19، 2018):

معادلة (5)

$$LS = (m + 1)[A(r)/22.13]^m [\sin \beta (r)/0.09]^n$$

عامل الطبوغرافيا LS =

ثابتان تبلغ قيمتهما (0.6 و 1.3) على التوالي m, n =

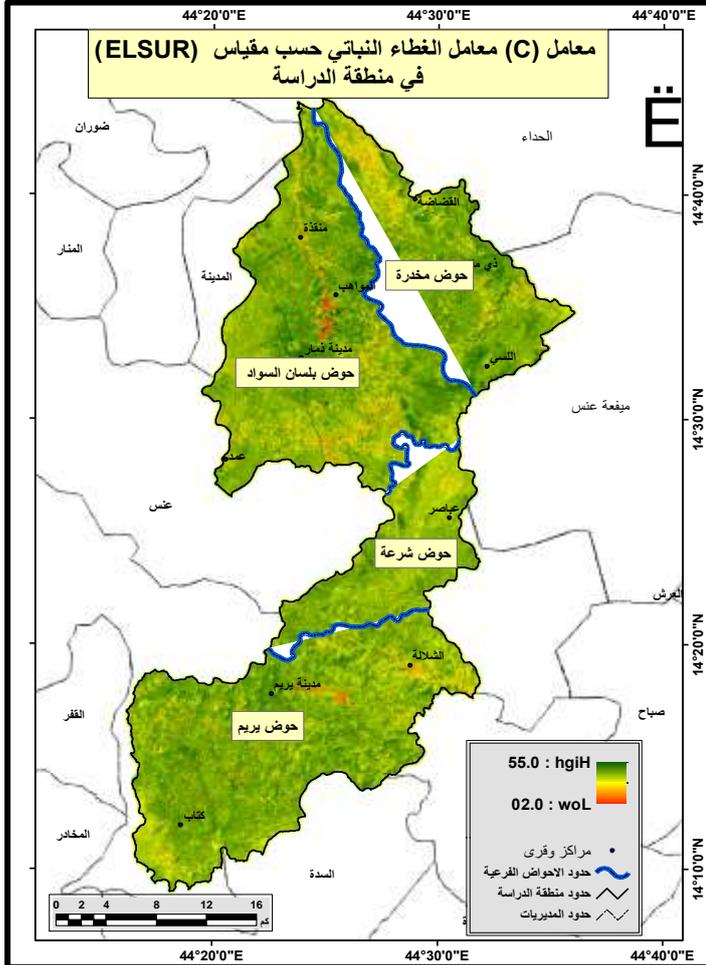
عرض الخلية المكونة لنموذج الارتفاعات الرقمية، وهي 30م A(r) =

النسبة المئوية للانحدار في منطقة الدراسة وتأخذ خارطة الانحدار  $\beta(r)$  =

احداثيات الموقع r =

النباتي C في المناطق التي ترتفع فيها كثافة الغطاء  
النباتي التي تصل إلى (0.20).

خريطة (8) معامل الغطاء النباتي C حسب مقياس RUSLE



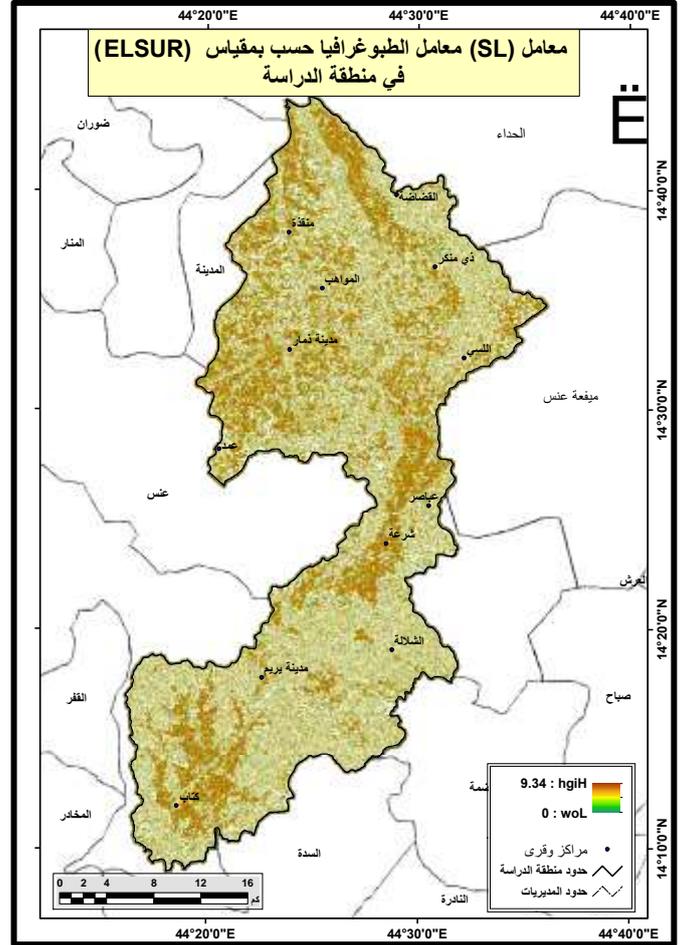
المصدر: الباحث اعتماداً على خريطة الـ NDVI لمنطقة الدراسة، باستخدام المعادلة (6)

في منطقة الدراسة استناداً على ما شوهد أثناء الزيارة الميدانية.

- التنبؤ بكميات التربة المفقودة حسب نموذج (RUSLE)

بعد ايجاد مدخلات المعادلة العالمية المعدلة لفقد التربة واعداد الخرائط لكل منها، تم الحصول على خريطة التنبؤ بكميات التربة المفقودة حسب معادلة (RUSLE)، بإدخال المعادلة (2) في برنامج نظم المعلومات الجغرافية ARC GIS10.8، وتم الحصول على خريطة فقدان التربة (9) والجدول (2)

خريطة (7) معامل LS الطبوغرافيا بمقياس (RUSLE)



المصدر: الباحث اعتماداً على المعادلة (5) باستخدام برنامج ARCGIS10.8

### - معامل صيانة التربة P

يعتمد معامل صيانة التربة P على نوع صيانة التربة وكميتها، وتتراوح قيمته بين 0 و 1 وتشير القيم المرتفعة لهذا المعامل على قلة اجراء صيانة التربة (Woldemariam et al,2018.p12) ويعد معامل صيانة التربة المعني بممارسات الحفاظ على التربة، كالزراعة الكنتورية والشريطية للتقليل من حجم الجريان السطحي بغرض الحد من انجراف التربة، وقد تم اعطاء قيمة 1 للمعامل P في معادلة RUSLE نظرا لعدم وجود اي استخدام طرق للحفاظ على التربة

بين 74 - 113 طن/ هكتار/السنة، فقد قدرت مساحته بحوالي 30 كم<sup>2</sup> ، ونسبة 3% من اجمالي منطقة الدراسة، وتركزت في الجهة الجنوبية من منطقة الدراسة في حوض يريم، وقد يعود السبب في ذلك إلى ارتفاع كمية الامطار وزيادة الانحدار في الجهة الجنوبية من منطقة الدراسة، وقد مثلت تلك الاصناف الاربعة ما نسبته 27% من اجمالي مساحة منطقة الدراسة، اما بقية المساحة التي تشكل 73% من مساحة منطقة الدراسة فقد كانت أراضي مستقرة، يقل فيها الانجراف عن 1 طن/هكتار/سنة، ويعود السبب إلى ان اغلبها اراضي مستوية لا تتأثر بالانحدار، وكذلك اراضي صخرية وترب صخرية ترتفع فيها نسبة الاحجار والحصى بحيث تعمل على حماية التربة من الارتطام بقطرات المطر او التقليل من شدة الجريان المائي، وكذلك قد تكون ذات كثافة غطاء نباتي.

جدول (2) مساحات تصنيف انجراف التربة في منطقة الدراسة حسب نموذج (RUSLE)

م	طن/هكتار/السنة	المساحة كم <sup>2</sup>	المساحة هكتار	النسبة %	التصنيف
1	20.91 -	70.3	7033.8	7.0	انجراف طفيف جدا
2	21 - 46.6	62.8	6284.9	6.2	انجراف طفيف
3	46.7 - 73.7	105.0	10497.3	10.4	انجراف معتدل
4	73.8 - 113	30.4	3041.9	3.0	انجراف مرتفع
5	NoData	743.2	74317.2	73.5	لا يوجد انجراف

والتي تم تقسيمها إلى اربعة اصناف، وقد تبين ان الصنف الاول الذي يمثل خطورة طفيفة جدا تتراوح قيم كمية فقدان التربة بين 1 - 20.9 طن/هكتار/سنة، وبلغت مساحته 70.3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 7% من اجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتركزت في المناطق الشرقية خصوصا في حوض مخدرة، بينما تراوحت كمية الترب المفقودة الصنف الثاني من الخطورة والمتمثل في الانجراف الطفيف او الخفيف بين 21 - 46.6 طن/هكتار/سنة، البالغ مساحته 62.2 كم<sup>2</sup>، بنسبة 6.2% من مساحة المنطقة، وتركزت في حوض شرعة وسط منطقة الدراسة، وتراوحت كمية الترب المفقودة في الصنف الثالث المصنف بالانجراف المعتدل بين 46 - 73 طن/هكتار/السنة، وقدرت مساحته بـ 105 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.4% من مساحة منطقة الدراسة، وتتركز في شمال منطقة الدراسة في حوض بلسان السواد، كما ينتشر في بقية الاحواض بنسب قليلة، اما فيما يخص الانجراف المرتفع فقد تراوحت كمية فقدان التربة فيه

من انجراف مائي خفيف ومعتدل يمثل التدهور الخفيف في الإزالة المستوية للتربة على شكل صفائح، اما التدهور المعتدل يتمثل في تخريب السطح بنقل مكونات التربة بشكل غير منتظم وتكوين الجداول والأخاديد الصغيرة، بينما اغلب المنطقة صنفتها تلك الدراسة على أنها اراضي صخرية، مع تواجد اراضي مستقرة لا يوجد بها انجراف بنسبة بسيطة جدا، نتيجة لتواجد كثافة الغطاء النباتي او قلة سقوط الامطار، أو باستخدام الدورات الزراعية بشكل مستمر من قبل الانسان.

### نتائج الدراسة:

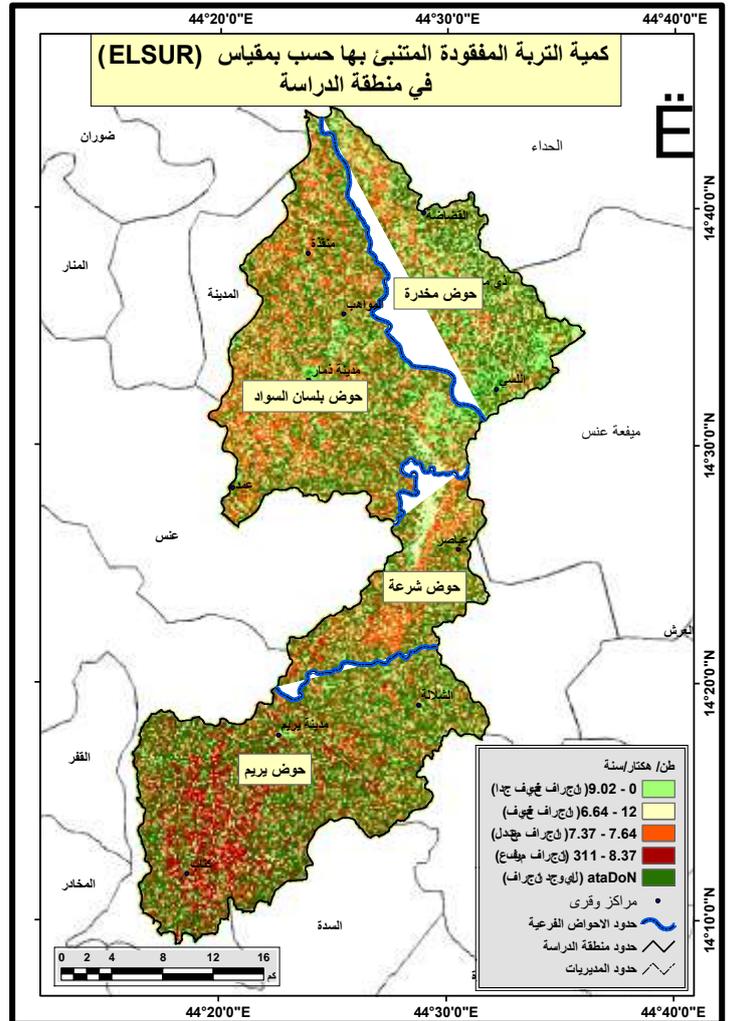
توصلت الدراسة إلى العديد من النتائج اهمها:

1- تصنف خطورة الانجراف المائي في منطقة الدراسة بأنه خفيف إلى متوسط حيث ان 73% من مساحة منطقة الدراسة تقل بها كمية الانجراف اقل من 1 طن/هكتار/سنة، وان المناطق التي تتعرض لعملية الانجراف المائي المرتفع او الشديد تبلغ 3% من اجمالي مساحة منطقة الدراسة، يعود السبب في ذلك إلى معدل كميات الامطار التي تتلقاها منطقة الدراسة بأنها امطار قليلة، اضافة إلى قلة الانحدار في المناطق الشمالية في منطقة الدراسة.

2- تتعرض المناطق الجنوبية من منطقة الدراسة (حوض يريم) إلى انجراف اكثر او اعلى مقارنة بالمناطق الشمالية (حوض نمار)، ويعزى ذلك إلى أن المنطقة تتلقى معدلات امطار اعلى، اضافة إلى زيادة درجات الانحدار مقارنة بالمناطق الشمالية.

المصدر: الباحث اعتمادا على نتائج نموذج (RUSLE)، كما في الخريطة (9) باستخدام برنامج ARC GIS.

خريطة (9) كمية التربة المفقودة (طن/هكتار/سنة) حسب نموذج (RUSLE)



المصدر: الباحث اعتمادا على نموذج RUSLE، بتطبيق برنامج ARC GIS 10.8

إن من أهم النتائج التي توصلت إليها الدراسة أن إجمالي كمية التربة المفقودة تصل إلى 1205500 طن سنويا، بمعدل حوالي 11.9 طن/هكتار/سنة، وقد كانت النتائج متوافقة مع ما توصلت إليها دراسة تدهور الأراضي للجمهورية اليمنية (يمن - أكساد، 2002) التي انتجت خريطة لتدهور الأراضي بمقياس رسم 1:500000 وأشارت إلى ان منطقة الدراسة تعاني

- جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، المجلد (40) العدد (5).
- [3] الخرياش، صلاح عبد الواسع، والانبعاي، محمد إبراهيم، (1999)، جيولوجية اليمن، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء.
- [4] دخيل، احمد عودة، (2017) رسم منحنيات الشدة المطرية وتطبيق معادلة الشدة لمدينة الناصرية، مجلة جامعة ذي قار، العدد 12.
- [5] السامرائي، احمد ياسين، ومشعل، علي، (2001)، جيومورفولوجية جبل اللسي- نمار، مجلة الآداب، جامعة نمار، العدد 1.
- [6] الشامي، محمد ناجي علي، (2011) التحليل المكاني لمؤشرات تدهور الموارد الطبيعية في مديرية نمار-دراسة جغرافية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة نمار، كلية الآداب، قسم الجغرافيا.
- [7] عباس، شهاب محسن، والسنباني جابر، (1991) مدخل الي جيومورفولوجية اليمن، مركز عبادي للدراسات والنشر، صنعاء، ط1.
- [8] كويس، ايمن عبداللطيف، (2014)، دراسة خطر انجراف ترب حوض نهر الكبير الشمالي في محافظة اللاذقية باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراه، جامعة تشرين، كلية الزراعة، قسم علوم التربة والمياه.
- [9] القصاب، عمر عبدالله اسماعيل، (2021)، تكامل نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في النمذجة الخرائطية لاستعمالات الارض - قضاء سهل اربيل انموذجاً، اطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة الموصل، كلية التربة للعلوم الانسانية، قسم الجغرافيا.
- [10] المغاري، باسم، (2020)، تطبيق نموذج RUSLE بتقدير انجراف التربة في قطاع غزة فلسطين باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة النجاح، فلسطين، العدد (35).
- [11] مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، (2002)، دليل تقييم تدهور الأراضي ومراقبته ومكافحته في

- 3- تتراوح معدلات فقدان التربة او الانجراف المائي للتربة بمنطقة الدراسة بين 1- 113 طن/هكتار/سنة، بمعدل سنوي قدر بـ 11.9 طن/هكتار/سنة، وان كمية او اجمالي التربة المنجرفة سنويا تقدر بحوالي 1205500 طن.
- 4- ان استخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد في حساب مفردات المعادلة العالمية لفقد التربة (RUSLE) طريقة سهلة وسريعة وتوفر الجهد والوقت وتفيد في التنبؤ بمكيات الفقد للتربة وتحديد منطقتي خطورة الانجراف.

### التوصيات: .

- 1- توصي الدراسة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في التنبؤ بخطر الانجراف وفقدان التربة.
- 2- القيام بدراسة التنبؤ بفقدان كمية التربة بالانجراف المائي في منطقة الدراسة بنماذج اخرى.
- 3- دراسة خاصة بالانجراف الريحي او بفعل الرياح حتى تكتمل الصورة لمخاطر الانجراف للتراب في منطقة الدراسة.

### المراجع العربية

- [1] اغا، شاهر جمال، (1983) جغرافية اليمن الطبيعية، مكتبة الأنوار، دمشق.
- [2] بركات، منى علي، (2018)، التنبؤ بكميات التربة المفقودة بفعل الانجراف المائي في منطقة حوض سد الحويز باستخدام المعادلة العالمية المعدلة (RUSLE) وتقنية نظم المعلومات الجغرافية، مجلة

- الجمهورية اليمنية، المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (اكساد)، دمشق.
- [12] مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، (2008) دليل تصنيف ترب مزارع المحطات والمراكز البحثية، الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، نمار.
- [13] هيئة المساحة الجيولوجية والثروات المعدنية، (2006)، الجيولوجيا والثروة المعدنية في محافظة نمار، وزارة النفط والمعادن، صنعاء.

### المراجع الاجنبية

- [1] ACRES, B. D, (1980), Soils and land suitability of the Montana Plain, Yemen Arab Republic.
- [2] Hui, L., C. Xiaoling, K. J. Lim, C. Xiaobin, M. Sagong. (2010), Assessment of Soil Erosion and Sediment Yield in Liao Watershed, Jiangxi Province, China, Using USLE, GIS, and RS. Journal of Earth Science, Vol. 21(6): 941-953.
- [3] King, J. W.,(1983) Soil Survey of the Yemen Arab Republic, Final report (Contract No.AID Ne-C-1665,) U.S. Agency for International developments, department of state Washington, D, C. may.
- [4] Londhe, S., M.S. Nathawat, and A.P. Subudhi. (2010), Erosion susceptibility zoning and prioritization of mini- watersheds using emetics approach. International Journal of Geometrics and Geosciences. Vol.1, No.3: 511-528.
- [5] Prasannakumar, V., H. Vijith, S. Abinod, N. Geetha. (2012), Estimation of soil erosion risk within a small mountainous subwatershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. Geoscience Frontiers Vol.3(2): 209-215.
- [6] Sekhar, S. P., H. Andrianasolo., D. D. Steele, (2005), Application of Geotechnology to Watershed soil conservation planting at the field scale. Journal of environmental Hydrology. Vol. 13(16): 1-22.
- [7] Woldemariam, G. w, Iguala, A. D, Tekalign, S.& Reddy, R. U.(2018), "Spatial Modeling of Soil Erosion Risk and Its Implication for Conservation Planning, The Case of the Gobebe Watershed", East Hararghe Zone, Ethiopia, Land, 7(25).