

النمذجة المكانية للخصائص الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية لاختيار المواضع المثلى للتنمية الزراعية المستدامة بحوض وادي قصب الأدنى

د. حمدي نبيه عيد (*)

الملخص:

يعد حوض وادي قصب الأدنى من أكثر الأودية الواعدة على الجانب الشرقي لنهر النيل بمحافظة سوهاج بين دائرتي عرض ١٥° ١٨' ٢٦" _ ٣٠° ١٨' ٢٦" شمالاً، وخطي طول ٠٠° ٠١' ٣٢" _ ٠٠° ١٣' ٣٢" شرقاً، وتكمن أهميته في كونه يشكل أكثر الأودية الفرعية لوادي قصب استواءً وأقلها انحداراً وارتفاعاً ومن ثم أصبح المستقبل الأعظم والمخزن الأكبر لمياه الجريان السطحي التي تسقط على تلك الأودية، لذا تم اختياره من بين كافة أحواض التصريف بالمنطقة، ولكون النمذجة المكانية للعوامل الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية تشكل في الوقت الراهن ركيزة رئيسة لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة، لكونها تعتمد بشكل رئيس على تقنيات الجيوماتيكنس التي تسمح تقنيات الجيوماتيكنس بدمج بيانات مكانية عالية الدقة من مصادر متعددة فتوفر رؤية شاملة للمشكلات والتحليلات المكانية في أقصر وقت وبأعلى دقة مكانية يمكن الاعتماد عليها في عمليات التخطيط الزراعي المستدام، ولكون الوادي يشكل المتنفس الزراعي الأول لسكان المنطقة التي يعمل أغلب سكانها في حرفة الزراعة جاءت فكرة البحث لسبر أغوار هذا الوادي ودراسة خصائصه الجيومورفولوجية والهيدروجيومورفولوجية وتحديد ملائمة أراضيه لعمليات التنمية الزراعية المستدامة، وقد تم اعتماد منهجية التحليل متعدد المعايير Multi-criteria analysis (MCA)، من خلال عملية التحليل الهرمي AHP لتحديد الأوزان النسبية للمعايير المختارة، ومن خلال بناء النموذج المقترح تبين أن ٥٤,٥٤% من أراضي ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة حيث شغلت الأراضي الملائمة نحو ٢٦٠,٣٩٠ كم^٢ أي ما يعادل ٣٩,٩٣% من مساحة الوادي، كما شغلت الأراضي الملائمة جداً نحو ٢٢٣,٦٠٣ كم^٢ (١٥,٦١%)، بينما شغلت الأراضي متوسطة الملائمة نحو ٢٤٠,٩٨٣ كم^٢ (٢٧,١٠%)، في حين شغلت الأراضي قليلة الملائمة وغير الملائمة نحو ١٥,٦٤ كم^٢ (١٠,٣٤%)، و ١٠,٦١ كم^٢ (٧,٠٢%) من أراضي الحوض ومثلتها الأراضي الأكثر عرضة للأخطار الجيومورفولوجية والأبعد عن المواضع المستوية ومكامن جيدة للمياه الجوفية ذات الجودة العالية.

• الكلمات المفتاحية:

النمذجة المكانية، الملائمة المكانية، الضوابط الهيدروجيومورفولوجية، وادي قصب الأدنى، التنمية الزراعية المستدامة

AHP, multi-criteria analysis, hydrogeomorphological and pedological characteristics, Sustainable agricultural development.

(*) مدرس بقسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة سوهاج.

Spatial modeling of hydrogeomorphological and pedological characteristics to select optimal locations for sustainable agricultural development in the lower Wadi Qasab Basin.

Dr. Hamdi Nabih Eid ⁽¹⁾

Abstract:

The lower Wadi Qasab basin is one of the most promising valleys on the eastern side of the Nile River in Sohag Governorate, between latitudes $26^{\circ} 18' 15'' - 26^{\circ} 18' 30''$ north, and longitudes $32^{\circ} 1' 0'' - 32^{\circ} 13' 00''$ east. Its importance lies in the fact that it constitutes the most equatorial of the sub-valleys of Wadi Qasab and the least steep and high, and thus it has become the greatest recipient and largest reservoir for the surface runoff water that falls on those valleys. Therefore, it was chosen from among all the drainage basins in the region, and because spatial modeling of hydrogeomorphological and pedological factors currently constitutes a major pillar for achieving sustainable agricultural development, as it relies mainly on geomatics techniques, which allow geomatics techniques to integrate high-resolution spatial data from multiple sources, providing a comprehensive vision. For problems and spatial analyzes in the shortest time and with the highest spatial accuracy that can be relied upon in sustainable agricultural planning processes, and because the valley constitutes the first agricultural outlet for the residents of the region, the majority of whose residents work in the agricultural profession. The idea of the research came to explore the depths of this valley, study its geomorphological, hydrological and pedological characteristics, and determine the suitability of its lands for sustainable agricultural development operations. We relied on multiple analysis, such as multi-criteria analysis (MCA), through hierarchical analysis (AHP), weight-to-best ratio, and through building the proposed model, it was agreed that 55.54% of the partial districts are partial, as the work fits into about 60,390 km², i.e. Equivalent to 39.93% of the valley's area, and the job requires large needs, about 23,603 km² (15.61%), while the job is moderately proportionate, about 40,983 km² (27.10%), while the job requires an inappropriate fit, about 15.64 km² (10.34%). %), and 10.61 km² (7.02%) of Stefania lands, which are more important for geomorphology and are farther from flat sites and have good underground reservoirs of high quality.

• Keywords:

Spatial modeling, spatial suitability, hydrogeomorphological controls, lower Wadi Qasab Basin, sustainable agricultural development.

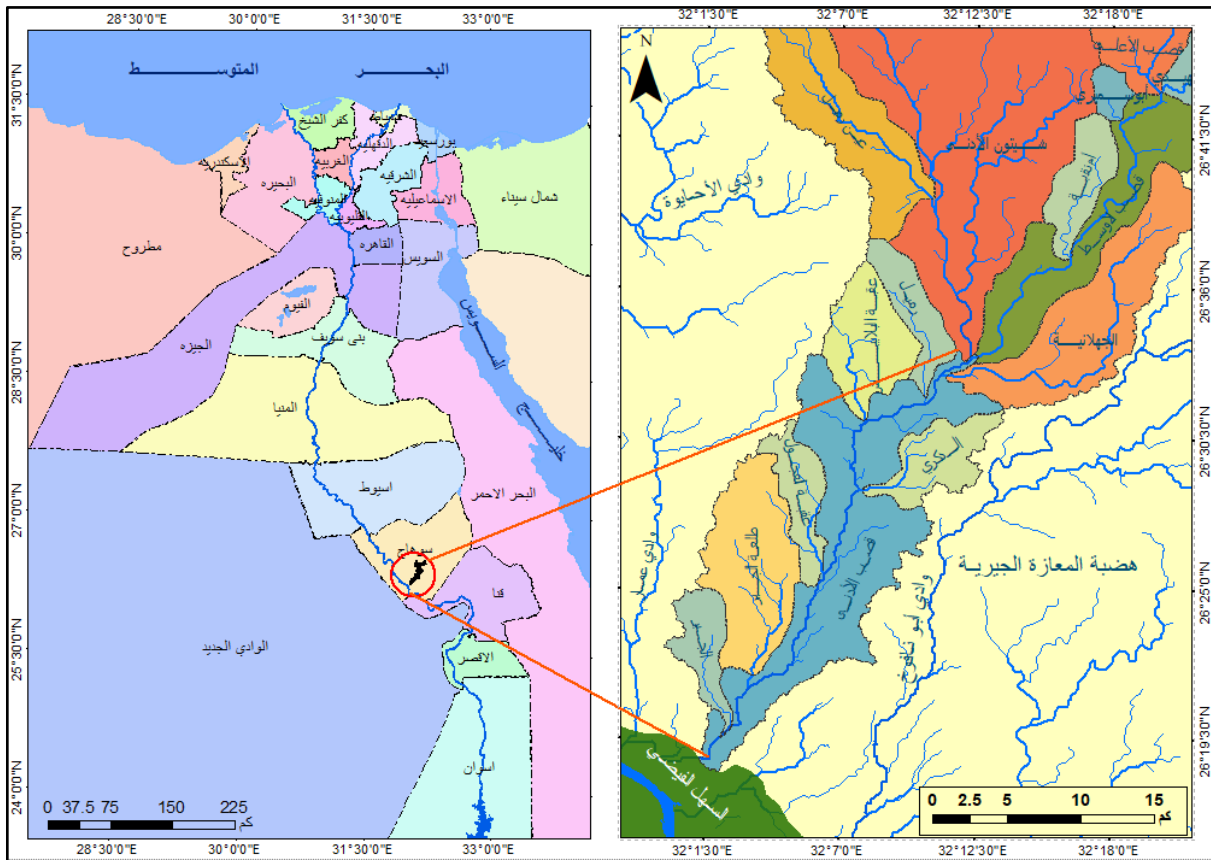
¹ -- Lecturer in the Department of Geography and Geographic Information Systems - Faculty of Arts, Sohag University- Gmail: hamdynabeih1@gmail.com

• المقدمة

لقد أصبحت التنمية الزراعية المستدامة الاتجاه الرئيس للمجتمع الدولي في الوقت الحاضر بسبب الزيادة السكانية المطردة، وقد عرفت اللجنة الدولية للبيئة والتنمية مفهوم التنمية المستدامة على أنه تنمية تستجيب لحاجات الأجيال الراهنة دون تعريض الأجيال القادمة للخطر في الاستجابة لحاجاتها (عارف، ١٩٨٩م).

* موقع وحدود الوادي

ينحدر الوادي من هضبة المعازة الجيرية على الجانب الشرقي لوادي النيل باتجاه شمالي شرقي/ جنوبي غربي صوب أراضي السهل الفيضي إلى الشرق من نجع مازن بمركز دار السلام بسوهاج بين دائرتي عرض ١٥° ١٨' ٢٦° _ ٣٠° ١٨' ٢٦° شمالاً، وخطي طول ١٠° ٣٢' ١٠° _ ٣٢° ١٣' ٣٢° شرقاً، بمساحة قدرت بنحو ١٥١.٢٢٢ كم٢، يحده من الغرب ويصب فيه أحواض الجير وطلعة الجير وعقبة العجول ومن الشمال الغربي أحواض عقبة البلايش ورميل ومن الشمال قصب الأوسط وشيتون الأدنى ومن الشمال الشرقي الجهلانية والدكري (شكل ١).



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الخريطة الطبوغرافية مقياس ١:٥٠٠٠٠ لعام ١٩٩١م لوحة وادي قصب، لوحة قنا مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، ونموذج ارتفاع رقمي دقة ٣٠م

شكل (١) موقع وادي قصب الأدنى وأحواضه الفرعية

* مشكلة الدراسة وتساؤلاتها:

- تكمّن مشكلة الدراسة في زيادة الضغط السكاني على أراضي السهل الفيضي من قبل سكان المنطقة الذي يعمل الغالبية العظمى منهم في قطاع الزراعة مما يحتم ضرورة التوسع الزراعي الأفقي بمناطق الأودية الجافة المحيطة بالحوض، وتتمثل تساؤلات الدراسة فيما يلي:
- 1- ما المواضيع المثلى للتنمية الزراعية المستدامة بمنطقة الدراسة وفقاً للمعايير المختارة.
 - 2- ما هي العوامل والمؤشرات والأخطار الجيومورفولوجية المتحكمة في التوسع الزراعي بتلك الأودية.
 - 3- ما هي الخصائص والأخطار الهيدروجيولوجية بحوض الوادي.
 - 4- ما هو تأثير خصائص التربة على التنمية الزراعية المستدامة.

* أسباب اختيار منطقة الدراسة وأهدافها:

- 1- أن حوض الوادي يعد أكثر أحواض المنطقة اتساعاً وانبساطاً وأقلها ارتفاعاً مما يعزز من وضعه على قائمة أولويات الأراضي المراد دراسة خصائصها وتقييم ملائمتها للتخطيط الزراعي المستدام.
- 2- إلقاء الضوء على الجانب النفعي للجيومورفولوجيا التطبيقية ودورها الفعال في عمليات التنمية المستدامة والذي يعد موضوع الدراسة جزءاً منها.
- 3- تهدف الدراسة إلى التعرف على الخصائص الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية للوادي وتقديم خريطة لدرجات الملائمة المكانية للتنمية الزراعية المستدامة به، ووضع مقترحات لتحقيق هذه التنمية.

* مناهج الدراسة وأساليبها:

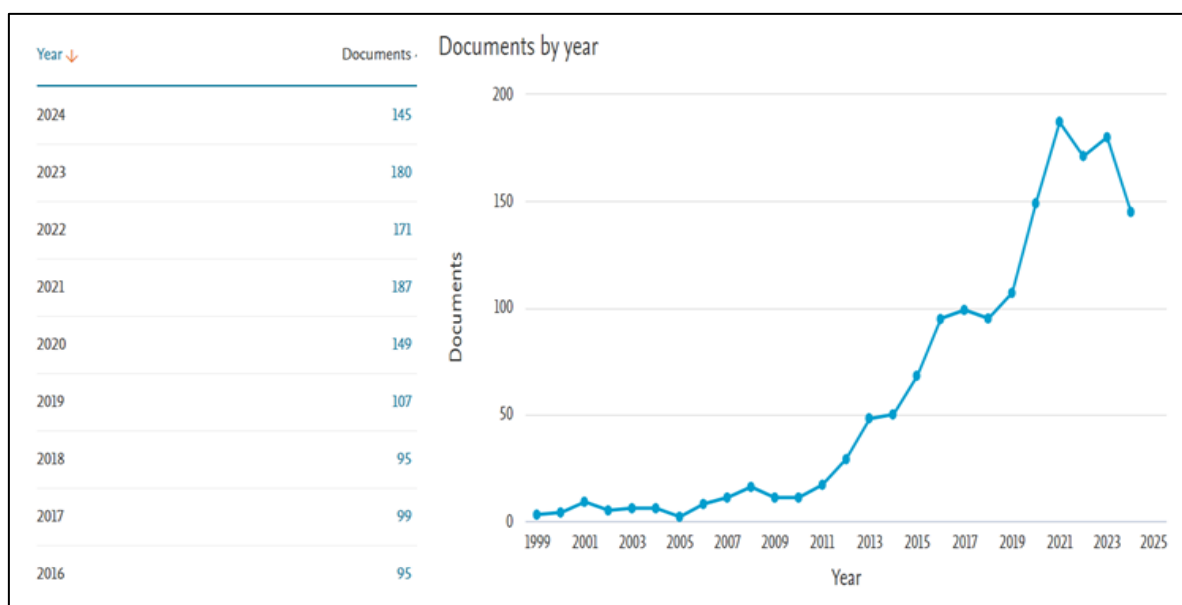
اعتمدت الدراسة على عدد من المناهج والأساليب البحثية، وقد تمثلت المناهج المتبعة في المنهج الإقليمي وتمت الاستفادة منه في دراسة الموضوع على رقعة مساحية محددة، فضلاً عن ، كما تم الاعتماد على المنهج الموضوعي في تحديد العوامل الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية المؤثرة في التنمية الزراعية المستدامة بحوض الوادي، كما ارتكزت الدراسة على عدة أساليب أبرزها عملية التحليل الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP) الذي تمت الاستفادة منه في تحديد الأوزان النسبية للمؤشرات المحددة للمواضع المثلى للتنمية الزراعية المستدامة بحوض الوادي ، و أسلوب التراكم الموزون Weighted Overlay، وهو أحد الأساليب الأكثر استخداماً لحل المشكلات المكانية المتعددة المعايير مثل المشكلة قيد البحث، والأسلوب الكارتوجرافي لرسم الخرائط، و أسلوب التحليل الببليومتري لاستنباط المعايير والمؤشرات الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية من الدراسات ذات الصلة بالنقطة البحثية المدروسة والتي في ضوءها تم بناء النموذج المقترح لتحديد درجات الملائمة المكانية للتنمية الزراعية المستدامة ، كما كان لزاماً أن تعتمد الدراسة على الأسلوب الفوتوغرافي لتصوير الأشكال والظواهر ذات الصلة بموضوع الدراسة.

* التحليل البليومتري Bibliometric analysis

يهدف التحليل البليومتري إلى دراسة الجوانب الكمية المتعلقة بمصادر المعلومات المتاحة على شبكة الإنترنت من حيث بنيتها و استخدامها و هيكلها وتقنياتها بغرض فهم واستيعاب كافة الجوانب المتعلقة بالموضوع من خلال الأوراق البحثية ذات الصلة بالموضوع قيد الدراسة ، وذلك اعتماداً على أساليب القياسات البليومترية و قياسات المعلومات (نيمور، عبد الإله، ٢٠١٠)، وتجدر الإشارة إلى تم إجراء التحليل البليومتري باستخدام برنامج Vos viewer لمعالجة نتائج البحث في قواعد البيانات العالمية Scopus استناداً إلى الكلمات المفتاحية التالية :

ALL (suitability, AND geomorphology AND soil OR agriculture)

وقد أسفرت نتائج البحث عن وجود ١٥٣٢ ورقة بحثية ذات صلة بموضوع الدراسة، خلال الفترة بين عامي ١٩٩٩م و٢٠٢٤م، إذ بدأ نشر ثلاث أوراق بحثية في عام ١٩٩٩م وأربع في عام ٢٠٠٠م وتطورت عدد الأوراق المنشورة في الموضوع لتصل أقصاها في عام ٢٠٢١م بإجمالي ١٨٧ ورقة بحثية تلاها عام ٢٠٢٣م بإجمالي ١٨٠ ورقة بحثية كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: نتائج البحث على قاعدة بيانات موقع سكوبس

شكل (٢) تطور عدد الأوراق البحثية ذات الصلة بالموضوع قيد الدراسة والمنشورة خلال الفترة بين عامي ١٩٩٩م – ٢٠٢٤م

ومن خلال البحث عن الكلمات الأكثر شيوعاً في تلك الأوراق البحثية تبين ظهور العديد من الكلمات ذات الصلة أبرزها كلمات Geomorphology ،Agriculture ،Soil Erosion ،GIs ،Analytic hierarchy ،Climate Change ،Land use ،Remote Sensing ،Groundwater process وغيرها من الكلمات ذات الصلة بموضوع البحث كما يوضحه الشكل التالي.

ويوضح الجدول التالي أكثر المؤلفين نشرًا في موضوعات ذات صلة بالنقطة البحثية قيد الدراسة، وبالبحث عن تخصصات هؤلاء المؤلفين تبين أنهم ينتمون إلى أقسام الجيومورفولوجيا وإدارة مستجمعات المياه، ومركز النمذجة المتقدمة ونظم المعلومات الجيومكانية، أما عن المصريين الذين ساهموا بأوراق بحثية في هذه النقطة البحثية فمن أقسام الفيزياء والجيولوجيا بكليات العلوم.

جدول (٢) أكثر المؤلفين نشرًا لموضوعات ذات صلة بموضوع البحث

Verify selected authors					
Selected	Author	Documents	Citations	Total link strength	
<input checked="" type="checkbox"/>	pourghasemi, hamid reza	20	1408	14541	
<input checked="" type="checkbox"/>	shahabi, himan	11	1646	11859	
<input checked="" type="checkbox"/>	shirzadi, ataollah	10	1596	11580	
<input checked="" type="checkbox"/>	chen, wei	9	888	9766	
<input checked="" type="checkbox"/>	saha, sunil	10	462	8972	
<input checked="" type="checkbox"/>	arabameri, alireza	9	533	8354	
<input checked="" type="checkbox"/>	bui, dieu tien	8	1042	8174	
<input checked="" type="checkbox"/>	pradhan, biswajeet	19	1269	8040	
<input checked="" type="checkbox"/>	lee, saro	8	573	7761	
<input checked="" type="checkbox"/>	panahi, mahdi	6	579	7581	
<input checked="" type="checkbox"/>	pham, binh thai	5	1078	7130	
<input checked="" type="checkbox"/>	blaschke, thomas	10	750	5855	
<input checked="" type="checkbox"/>	youssef, ahmed m.	9	464	5560	

المصدر: قاعدة بيانات سكوبس وبرنامج VOSVIEWER

أما عن أكثر المؤسسات العلمية إسهاماً في هذا المجال فقد تصدرت جامعة الأكاديمية الصينية للعلوم كافة المؤسسات التي نشرت في موضوعات ذات صلة بتلك النقطة البحثية بإجمالي ٢٣ ورقة بحثية، تلاها قسم الموارد الطبيعية والهندسة البيئية بكلية الزراعة جامعة شيراز، وقد أسهمت بنشر ١٦ ورقة بحثية كما يوضحه الجدول (٣)، ومنه يتضح الدور البارز التي أسهمت به المؤسسات العلمية ذات الصلة بالجغرافيا إذ أسهم قسم الجغرافيا بجامعة أيوا بالولايات المتحدة الأمريكية بنشر خمس أوراق بحثية، بينما نشر قسم الجيومورفولوجيا بكلية الموارد الطبيعية بجامعة كردستان بست أوراق بحثية بموضوعات ذات صلة بتلك النقطة.

جدول (٣) أكثر المؤسسات إسهاماً في نشر موضوعات ذات صلة بموضوع الدراسة

Verify selected organizations					
Selected	Organization	Documents	Citations	Total link strength	
<input checked="" type="checkbox"/>	university of chinese academy of sciences, beijing, 100049, china	23	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	department of natural resources and environmental engineering, college of agriculture, shi...	16	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	institute of research and development, duy tan university, da nang, 550000, viet nam	13	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	iraq geological survey, al-andalus square, baghdad, 10068, iraq	6	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	school of environmental sciences, jawaharlal nehru university, new delhi, 110067, india	6	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	department of disaster management, begum rokeya university, rangpur, 5400, bangladesh	6	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	department of geomorphology, faculty of natural resources, university of kurdistan, sanan...	5	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	department of rangeland and watershed management, faculty of natural resources, univer...	5	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	faculty of environment and labour safety, ton duc thang university, ho chi minh city, viet n...	5	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	college of resources and environment, huazhong agricultural university, wuhan, 430070, ch...	5	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	jiangsu center for collaborative innovation in geographical information resource developm...	5	...	...
<input checked="" type="checkbox"/>	college of water sciences, beijing normal university, beijing, 100875, china	5	...	4	
<input checked="" type="checkbox"/>	department of geography, university of iowa, iowa city, ia 52242, united states	5	...	0	

المصدر: قاعدة بيانات سكوبس

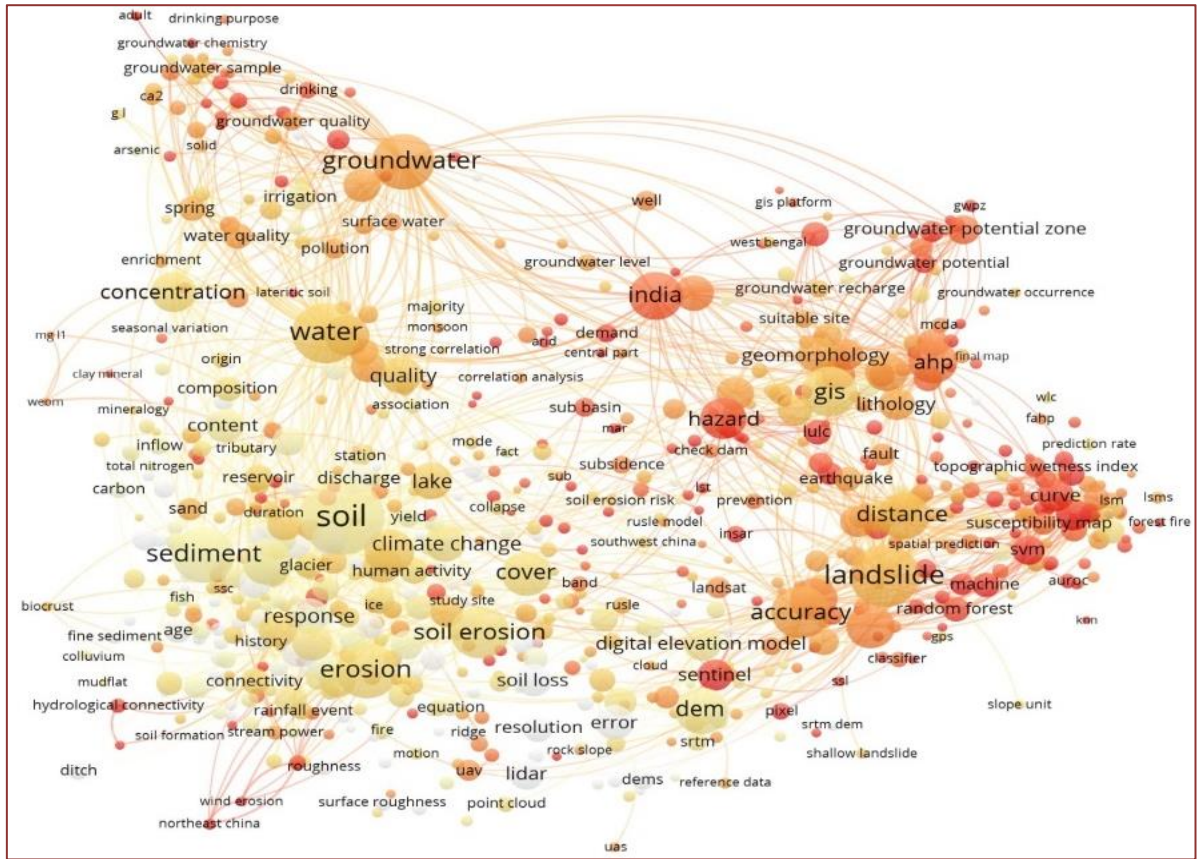
أما عن **الدول** الأكثر نشرًا فقد احتلت الصين المرتبة الأولى (٢٩٦ ورقة بحثية) ، تلتها الهند (٢٧١ ورقة بحثية)، كما جاءت الولايات المتحدة الأمريكية في المرتبة الثالثة (٢٥٨ ورقة بحثية) تلتها إيران (١١٢ ورقة بحثية) ، ثم ألمانيا (٩٥ ورقة بحثية) ثم أستراليا والمملكة المتحدة (٩٤ ورقة بحثية لكل منهما)، بينما احتلت مصر المرتبة الحادية عشر عالمياً والأولى على مستوى الوطن العربي (٤٢ ورقة بحثية)، تلتها المملكة العربية السعودية (٣٨ ورقة بحثية) ، تلتها العراق (٢٤ ورقة بحثية) ، ثم الإمارات والأردن بسبع ورقاتٍ بحثيةٍ لكلٍ منهما .

* دلالات الربط بين الكلمات المفتاحية

ومن خلال حصر الكلمات المرتبطة بين الكلمتين المفتاحيتين الأكثر أهمية بالموضوع قيد البحث وهما **Agriculture** و **Geomorphology** في تلك الأوراق البحثية بغيرها من الكلمات ذات الصلة أسفرت نتائج الربط داخل البرنامج عن الدور الذي تلعبه نظم المعلومات الجغرافية في الوقوف على تأثير خصائص التربة والعوامل والعمليات الهيدروجيوميورفولوجية في الزراعة ، فقد ركزت العديد من الأوراق البحثية خلال الفترة المختارة على تأثير أشكال السطح وما ينجم عنها من انزلاقات أرضية واستخدام بعض المعادلات والنماذج الرياضية المستخدمة في تقدير تعرية التربة كطريقة **RUSLE** ، وتطبيق عملية التسلسل الهرمي التحليلي (عملية التحليل الهرمي) **AHP** لتحديد درجات الملائمة المكانية للزراعة وفقاً للعديد من المؤشرات تأتي في مقدمتها الغطاء الأرضي واستخدامات الأرض والمؤشرات الهيدروجيوميورفولوجية كتعرية التربة والجريان السطحي الانهيارات الأرضية ، كما تم تعقب الروابط المشتركة بين مصطلح **remote sensing** مع غيره من الكلمات داخل قاعدة البيانات وأسفرت نتائج البحث عن الإمكانيات الهائلة التي أسهم بها هذا العلم في تحقيق الربط بين خصائص السطح وعلاقتها بالزراعة من خلال استخدام صور الأقمار الصناعية ونماذج الارتفاعات الرقمية التي ساعدت في رسم الخرائط فائقة الدقة **mapping method** ، وقد عظمت الاستفادة منها بعد استخدام طرق دعم اتخاذ القرار المتقدمة التي ظهرت في تلك الأوراق البحثية مثل **A decision tree** و **Data Mining** و **AHP** في وضع نماذج للتوقعات **Forecasting** المحتملة للأشكال الجيومورفولوجية الناجمة عن التدخل البشري .

* استنباط المعايير من التحليل البليومتري

من خلال الربط بين الكلمات الارتباطية والمفتاحية تبين ظهور العديد من المصطلحات الهيدروجيوميورفولوجية على سبيل المثال لا الحصر **Lineament** ، **Landslide** ، **Soil Erosion** ، **Groundwater** ، **Quality Water** ، **Sediment** ، **Run off** ، **Hazard** ، **Soil Loss** ، **Density** ، **correlation analysis** ، **svm** وهي اختصار لطريقة تصنيف للغطاءات الأرضية تعرف باسم **Support vector machine** كما يوضحها الشكل التالي.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج VOSviewer

شكل (٤) المصطلحات الهيدروجيولوجية الأكثر شيوعاً في الأوراق البحثية ذات الصلة بالنقطة البحثية

ومن تحليل الشكل السابق يمكن استنباط المعايير التي سيعتمد عليها في عملية النمذجة المكانية لتحديد

المواقع المثلى للتنمية الزراعية وقد أمكن حصرها كما يوضحها الجدول التالي:

جدول (٤) المعايير المستنبطة من نتائج التحليل البليومتري والمستخدم في عملية النمذجة المكانية

م	المعيار / المؤشر	الكلمة المستنبط منها
١	ملائمة التكوينات الجيولوجية	Lithology
٢	الكثافة الخطية (كثافة الصدوع)	lineament density, Fault
٣	ارتفاع السطح	Digital Elevation Model
٤	مؤشر انحدار السطح	Slope
٥	مؤشر وعورة التضاريس (TRI)	Surface roughness
٦	مؤشر التدفق اليوري للمياه (FFI)	Groundwater recharge
٧	مؤشر الرطوبة الطبوغرافية (TWI)	topographic wetness index
٨	مؤشر قدرة النهر على الترسيب (STI)	Sediments
٩	خصائص التربة	Soil, Soil Formation
١٠	معدل فقد التربة بالتعرية	RUSLE Model, Soil Loss, Soil Erosion
١١	مؤشر قابلية الانهيارات الأرضية	Landslide, InSAR, Ridge, Collapse, Subsidence
١٢	مؤشر خطورة الجريان السطحي	Runoff
١٣	مؤشر كثافة توزيع الآبار (WD)	Well
١٤	إمكانية تجمع المياه الجوفية (GWP)	groundwater potential zones (GWP)
١٥	مؤشر جودة المياه الجوفية (QWI)	Water Quality, Ground water Sample
١٦	مؤشر ممارسات الحماية وإدارة الأرض	human activities, Check Dam, LULC (svm)
١٧	باقي المؤشرات الجيومورفولوجية	Geomorphology

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (٤).

* الدراسات السابقة

- تمثلت الدراسات السابقة الأكثر صلة بالنقطة البحثية قيد الدراسة فيما يلي:
- دراسة (صالح و حجاب، ٢٠٠٨) وتناولت التحليل المورفومتري لمنحدرات جوانب وادي قصب، وأسفرت عن الأمطار والتجوية يعدا أبرز العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة في تشكيل منحدرات الوادي، كما يعد التفكك الميكانيكي والتقويض السفلي والسقوط الصخري أبرز العمليات التي تمارس نشاطها على المنحدرات في الوقت الراهن.
 - دراسة (A.A. Belal, et all, 2015) وتناولت تقييم الأراضي على أساس التقييم المتعدد المعايير لنظم المعلومات الجغرافية المكانية للتنمية الزراعية بحوض وادي الأسيوطي شرق محافظة أسيوط، واعتمدت الدراسة في عملية التقييم على معايير ارتفاع السطح والوحدات الجيومورفولوجية وأنواع التربة السائدة وقدرتها على الإنتاجية، وتوصلت الدراسة إلى ملائمة أراضي الوادي لزراعة محاصيل البرسيم والقطن والقمح والذرة على التوالي، ومن ناحية أخرى لم تكن المانجو والجوافة والطماطم والبطاطس كذلك.
 - دراسة (Zaghlool, 2020) وتناولت الدراسة النمذجة الجيوكيميائية والتحليل الإحصائي لتقييم تطور المياه الجوفية في وادي القصب، سوهاج، الصحراء الشرقية، مصر ، وتوصلت تلك الدراسة إلى أن النتائج الهيدروكيميائية أن غالبية العينات ذات مياه مالحة وتزداد ملوحة المياه الجوفية باتجاه الجنوب الغربي، كما يتأثر بتفاعل المياه الجوفية والمواد الجيولوجية مثل وكذلك مساهمة التسرب من شبكات المياه السطحية (الري الترع والصرف الزراعي)، وتتأثر العينات بمصدر التجوية الصخرية، وأسفرت عن أن مصدر ملوحة عينات المياه الجوفية يرجع إلى الترشيح وعمليات إذابة معادن الكربونات والكبريتات والكلوريدات من مصفوفة طبقة المياه الجوفية كما تعتبر عينات المياه الجوفية من عصر البليستوسين وعينات المياه السطحية آمنة للري على المدى الطويل.
 - دراسة (خطاب و سليم، ٢٠٢١) وتناولت الخصائص الجيومورفولوجية وإمكانات التنمية الزراعية في حوض وادي القرن بالصحراء الشرقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ، وقدمت هذه الدراسة درجات الأولوية للتنمية الزراعية من نمذجة أربعة عشر معياراً باستخدام برنامج ArcMap وأسفرت نتائجها عن أن تربة البلايا وبطون الأودية كانت الأولوية الأولى في عمليات التنمية الزراعية، تلتها مناطق توزيع تربة المروحة الفيضية والسهول الفيضية الحديثة والمدرجات الفيضية، ثم جاءت تربة المراوح الفيضية الداخلية والمدرجات العليا المعرضة لتأثير التعرية في المرتبة الثالثة.
 - دراسة (Letminthang Baite, 2024) واعتمدت على نمذجة ثمانية معايير بطريقة AHP لتحديد درجات ملائمة أراضي ولاية مانيبور الهندية للزراعة، وتمثلت هذه المعايير في الخصائص الجيومورفولوجية للمنطقة و ارتفاع وانحدار السطح وعمق التربة وجودة التربة للصرف وتعرية التربة والجريان السطحي والغطاء الأرضي واستخدامات الأرض LULC ، وتوصلت الدراسة إلى أن الأراضي

الواقعة في منتصف الولاية هي الأكثر ملائمة للزراعة بينما تعرضت أطرافها للعديد من الأخطار الجيومورفولوجية مثل تآكل التربة على جوانب التلال ، كما تعتبر الفيضانات وتراكم المياه من التحديات التي تواجه المنطقة.

• الفجوة البحثية Research GAP

من الجدير بالذكر أن الفجوة البحثية لها عشرة أنواع تتمثل في الفجوة المعرفية، المفهومية، التطبيقية، التجريبية، التحليلية، المنهجية، النظرية، التناقضية، المجتمعية، والزمانية المكانية، وعلى الرغم من الأبحاث المكثفة التي تناولت تأثير المعايير المختارة إلا أنه لم يتناولها أحد مجلة لتوضيح تأثيرها على التنمية الزراعية ومن ثم فإن الفجوة البحثية للموضوع قيد الدراسة تعد فجوة منهجية رغم أنها اعتمدت منهجيات الدراسات السابقة إلا أنها قامت بربطها ببعضها بعضاً في دراسة واحدة لتقييم تأثيرها النسبي مجمعة سواءً كان بالإيجاب أو بالسلب كما ستوضحه الدراسة.

• مصادر البيانات المكانية

يوضح الجدول التالي مصادر البيانات المكانية التي من خلالها تم تجهيز المعايير.

جدول (٥) مصادر البيانات المكانية

Spatial Resolution (km × km)	Data Source مصادر البيانات	المعايير Criteria
-	الخرائط الجيولوجية مقياس ١: ٥٠٠ ألف https://bit.ly/3SL5GPz الخرائط الجيولوجية مقياس ١: ٢٥٠ ألف	التكوينات الجيولوجية كثافة الصدوع
0.30×0.30	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) https://srtm.csi.cgiar.org/ Digital Elevation Model https://bit.ly/4fGcs3a	المؤشرات الهيدروجيومورفولوجية
25×25	Landsat 8 (USGS) https://earthexplorer.usgs.gov	حرارة التربة Land Surface Temperature (LST)
	Landsat 8 (USGS) https://earthexplorer.usgs.gov	مؤشر رطوبة التربة Soil Wetness Index
25×25	Climatic Research Unit https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.06/cruts.2205201912_v4.06/pre/	التساقط Precipitation
-	https://wwf-sight-maps.org/ https://bit.ly/4cjdztu https://bit.ly/3WE5djw	نوع التربة Soil structure وبعض خصائصها الفيزيائية
	التحليلات المعملية – شركة مياه الشرب والصرف الصحي محطة بلطيم (البرلس)	خصائص المياه الجوفية
	التحليلات المعملية – كلية الزراعة – جامعة سوهاج	الخصائص الكيميائية والفيزيائية للتربة
0.10×0.10	Normalized Difference Vegetation Index https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi	الغطاء النباتي NDVI والغطاءات الأرضية

المصدر: من إعداد الباحث.

* منهجية الدراسة Methodology

استندت إلى التحليل المكاني الكمي للمعايير والمؤشرات الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية المؤثرة في التنمية الزراعية المستدامة من خلال الدمج بين تقنيات الجيوماتيكس ومنهجية صنع القرار المتعدد

المعايير Multi-criteria decision making (MCDM) اعتماداً على عملية التحليل الهرمي Analytic hierarchy process التي تُعد إحدى أهم المنهجيات المستخدمة في الدراسات الهيدرولوجية وفولجية.



المصدر: من إعداد الباحث

شكل (٥) مخطط تفصيلي يوضح منهجية الدراسة

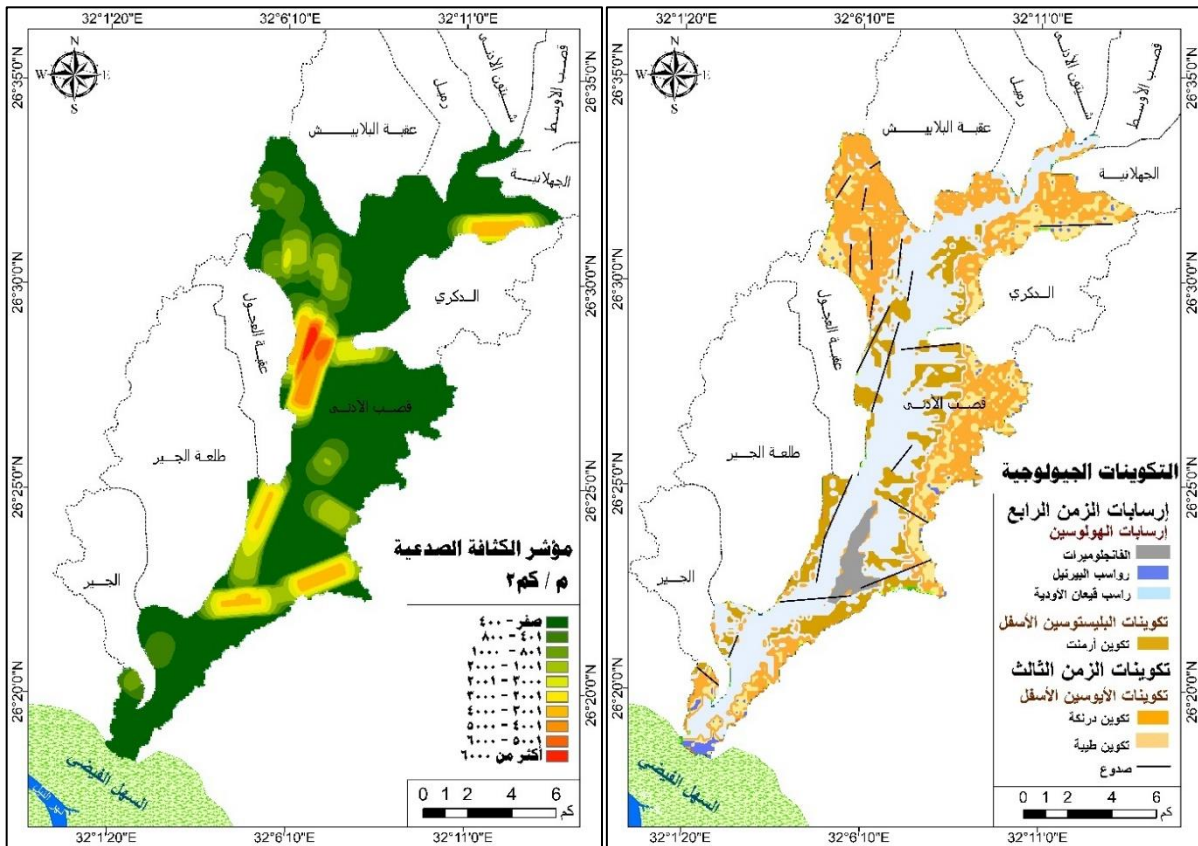
أولاً: المعايير الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية المؤثرة في التنمية الزراعية المستدامة

١- المعايير الهيدروجيوميورفولوجية

أ. الخصائص الجيولوجية: تتمثل العوامل الجيولوجية في الكثافة الصدمية والتكوينات الجيولوجية.

• تكوينات الزمن الجيولوجي الثالث

وتتمثلها تكوينات الإيوسين الأسفل وتظهر على جانبي الوادي، ويمثلها تكوين طيبة **Formation Thebes**، الذي يتألف هذا من طبقات سميكة من صخور الحجر الجيري الذي يتخلله الطباشير وقليل من الطفل وأشرطة من الصوان (Attia, F.2001,p14)، بالإضافة إلى وجود تداخلات من كنجولميرات الحجر الجيري (Philobos & Mansour,1983, p.133)، و تكوين درنكة **Drunka Formation** الذي يظهر على شكل طبقات من الحجر الجيري الطباشيري المختلط بأشرطة من المارل مع بعض العقد الصوانية شديدة الصلابة بأقطار تصل إلى ١,٢م، ويتسم بلونه الأبيض الثلجي الذي يتغير إلى اللون الأبيض الرمادي المائل إلى الوردي بفعل الظروف الجوية، وتتسم صخور هذا التكوين بهشاشتها ونسيجها سكري الحبيبات وكثرة الشقوق والفواصل (Abdel Kireem,1972, p.25)، حيث يقطع سطح الحوض عشرون صدعاً باتجاهات مختلفة، وإن كان الاتجاه السائد فيها يتخذ نفس اتجاهات صدع خليج العقبة، ويقع معظمها في الجزء الواقع بين حوضي عقبة العجول وعقبة البلايش كما يوضحها الشكل التالي.



المصدر: الخرائط الجيولوجية مقياس ١:٥٠٠ ألف - ١:٢٥٠ ألف وبرنامج Arc Map 10.5
شكل (٦) التكوينات الجيولوجية والكثافة الصدمية بحوض وادي قصب الأدنى

• **رواسب الزمن الجيولوجي الرابع: وتتمثل فيما يلي:**

- **رواسب البليستوسين الأسفل**

يمثل رواسب هذا العصر تكوين أرمنت الذي يتألف من الرمال المختلطة بالعد الصوانية وشرائح الألباستر، والرمل الحصوية و الكنجلوميرات و طبقات من الطين المختلط بعقد جيوية (Moussa et al, 2004,p.16) و قد أشار مهران إلى أن طبقات الطين بهذا التكوين عبارة عن رواسب مراوح فيضية قديمة ترسبت أجزاء منها في وسط قاري عند قمم المراوح الفيضية وأجزائها الوسطى (شكل 7_أ)، كما ترسبت أجزاء أخرى في بيئة البحيرات المتبقية من تراجع الخليج البليوسين (Mahran1993, PP. 7-22)، وقد أوضحت الدراسة الميدانية أن سكان المنطقة بدأوا باستخراج تلك الطبقات (شكل 7_ب)، وقاموا بردم أجزاء كبيرة من الوادي، واستغلالها في زراعة العديد من المحاصيل الزراعية كالبرسيم والقمح والبطاطس والخضراوات ولا تزال عمليات الردم مستمرة في الوقت الراهن.



إحداثيات الموقع: ٤,١٥ "٢٢ ٢٦° شمالاً - ٥٣,٠٥ "١٣ ٣٢° شرقاً - ناظرًا صوب الغرب.
الموقع: الجانب الغربي لوادي قصب الأدنى - تاريخ التصوير: ٢٥ إبريل ٢٠٢٣م - وقت التصوير: (A) 10:15 صباحاً - (B) 3:45 عصرًا.

شكل (٧) استخراج الطين من أسفل المدرجات الفيضية على الجانب الغربي للوادي واستغلالها في الزراعة

- **رواسب الهولوسين**

تشغل رواسب هذا العصر نحو ٤٤,٦٢% كما يوضحه جدول (٦)، و تقسم هذه التكوينات إلى ثلاث وحدات رئيسية وهي **رواسب قيعان الأودية** التي تتألف من مفتتات صخرية غير متجانسة في بطن الوادي من الرمال والسلت والحصاء والحصى المشتق من الصخور الإيوسينية الجيرية على جانبي الوادي، وتجمعت هذه الرواسب بفعل السيول التي حدثت خلال الفترات المطيرة من الهولوسين بسبك يتراوح بين ١٠: ٢٠ متراً (عقل، ١٩٩٢، ص ٤٣)، و **رواسب البيرنيل** وتمثل الرواسب النيلية القديمة، وتتألف من الحصى والحصاء والرمل النهرية الخشنة التي نُقلت من المرتفعات الأثيوبية في أواسط العصر البليستوسيني، وتقع بصورة غير متوافقة أسفل طبقة السلت النيلي (Said,1981,p.51)، ورواسب

الفانجلوميرات التي تتألف من صخور رسوبية تتكون من شظايا غير متجانسة من البازلت ومبلة بالماء قليلاً بأحجام متباينة، تترسب بأراضي المراوح الغرينية بأحواض الأودية.

جدول (٦) مساحات التكوينات الجيولوجية بحوض وادي قصب الأدنى

درجة الملائمة	% من المساحة	المساحة (كم ^٢)	نوع التكوين	درجة الملائمة	% من المساحة	المساحة (كم ^٢)	نوع التكوين
٢	١٥,٠٤	٢٢,٧٤	أرمنت	٦	٢٩,١٣	٤٤,٠٦	درنكة
٣	٤١,٨٤	٦٣,٢٧	رواسب قيعان الأودية	١	١,٥٠	٢,٢٧	رواسب البيرنيل
٥	١١,٢١	١٦,٩٥	طينية	٤	١,٢٨	١,٩٣	فانجلوميرات
	٪١٠٠	١٥١,٢٢	المجموع				

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (٦).

ب. الخصائص التضاريسية

- ارتفاع السطح

تتحكم خصائص السطح بشكل كبير في حدوث العديد من العمليات الجيومورفولوجية التي تؤثر بشكل كبير على التنمية الزراعية المستدامة، حيث يلعب ارتفاع السطح دوراً حاسماً في تحديد نوع التربة المثلى للزراعة، ولا سيما في المناطق ذات التضاريس الهضبية كما هو الحال في منطقة الدراسة، حيث تشتق فيها مياه الجريان السطحي تربة قيعان الأودية والمراوح الفيضية من التكوينات الصخرية الجيرية على جانبي الوادي من ارتفاعات تصل إلى ٤٤٦ م لتجمعها في مواضع ذات ارتفاعات تصل إلى ٥٩ م كما يوضحه الشكل (٨)، لتصبح المواضع الأقل ارتفاعاً أكثرها قدرة على تجميع مياه هذا الجريان ومن ثم تعزز فرص تخزين المياه الجوفية اللازمة لعمليات التنمية الزراعية المستدامة، كما أن هذه المناطق تكون أكثر بُعداً عن الكثير من الأخطار الجيومورفولوجية المرتبطة بالمناطق ذات التضاريس الأكثر ارتفاعاً، مثل الانهيارات الأرضية وتعرية التربة، وعلى الرغم من أن المناطق ذات المناسيب الأقل تكون أكثر عرضة لمخاطر الجريان السطحي، فإذا ما أخذ بعين الاعتبار وضع أساليب حماية لدرء أخطار الجريان السطحي كما هو الحال في أقصى شمال الوادي فستظل المراوح الفيضية وقيعان الأودية الأكثر ملائمة للتنمية الزراعية، لذا، من الضروري أخذ التضاريس بعين الاعتبار عند التخطيط للتنمية الزراعية المستدامة لضمان تحقيق أقصى استفادة من الموارد الطبيعية والمحافظة على البيئة، وعليه تم تصنيف الفئات الأقل ارتفاعاً وانحداراً كفئات أكثر ملائمة عند بناء النموذج المقترح لاختيار أنسب المواضع للتنمية الزراعية بحوض الوادي.

- انحدار السطح

يكمُن تأثير هذا العامل في كونه يحدد اتجاهات تدفق مياه الجريان السطحي وتوزيعها، فالمناطق المنحدرة تعاني من جريان سطحي أسرع مما يؤدي إلى تآكل التربة، بينما قد تحتفظ السهول بالمياه، مما

يوفر نظام ري طبيعي، المناطق ذات الانحدار المنخفض لديها إمكانيات قوية للتنمية المستدامة للأراضي لأن هذه المناطق أقل عرضة للكوارث الجيولوجية والمخاطر البيئية. تُصبح الأنشطة التنموية في المناطق ذات الانحدار العالي باهظة الثمن مقارنة بالمناطق ذات الانحدار الأقل، وتظهر مراجعة الأدبيات أن الإدارة المستدامة للأراضي يمكن تحقيقها فقط إذا تم الالتزام بشكل صارم بفئات قدرة الأرض. يمكن استخدام الأراضي التي تقل انحدارها عن ١٥ درجة للزراعة وتطوير البنية التحتية والتحصن، بينما تُخصص المناطق التي تزيد انحدارها عن ١٥ درجة لحماية الطبيعة والأغراض الترفيهية (Keshav Bhattarai, 2020)، ومن ثم فإن فهم الطبيعة الانحدارية للمنطقة يسهم بشكل فعال في التخطيط والتكيف للحد من المخاطر الجيومورفولوجية المرتبطة بالمواضع الأشد انحداراً كما هو الحال على جانبي الوادي مما يحتم من استخدام تقنيات زراعية للتكيف مع الظروف البيئية والمحافظة على التربة مثل زراعة المدرجات الهضبية، ومن تحليل شكل (٨) تبين أن أكثر من ٧٥٪ من أراضي الحوض بين ضمن فئتي الانحدار المستوية إلى الخفيفة، حيث فئة الانحدار شبه المستوية إلى الخفيفة جداً شغلت نحو ٢٠٣,٦٢ كم^٢ من أراضي الحوض أي ما يعادل ٤١,٠٢٪ من مساحة الحوض، بينما شغلت فئة الانحدار الخفيف نحو ٥٢,٦٠ كم^٢ من أراضي الحوض أي ما يعادل ٣٤,٧٩٪ من المساحة الكلية للحوض، كما شغلت فئة الانحدار المتوسط نحو ٩,٩٦٪ من مساحته، بينما شغلت الأراضي فوق متوسطة الانحدار وشديدة الانحدار والشديدة جداً والمناطق الجرفية على الترتيب نحو ٥,٤٨٪، ٦,٢٤٪، ٢,١٧٪، ٠,٣٥٪ من المساحة الكلية للحوض، وعليه فإن معظم أراضي الوادي ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لهذا العامل.

– التضرس النسبي **Relative Relief**

يفيد هذا العامل في كونه يوضح العلاقة بين قيمة التضرس للحوض ومحيطه وأن القيم المنخفضة في هذه النسبة تشير إلى مدى ضعف مقاومة الصخور ونشاط التعرية المائية أما القيم المرتفعة فتشير إلى قوة مقاومة الصخور وضعف عمليات التعرية المائية، وتوجد هناك علاقة عكسية بين التضاريس ودرجة مقاومة الصخور بشرط ثبات الظروف المناخية كما إنها تعطي تصور عن مساحة الحوض لذا فإن القيم المرتفعة تدل على صغر المساحة الحوضية بينما القيم المنخفضة تشير إلى اتساع المساحة الحوضية، ويمكن استخراج التضاريس النسبية من المعادلة الآتية

يمكن حساب "Relative Relief" باستخدام المعادلة التالية:

$$\text{Relative Relief} = \text{Elevation highest point} - \text{Elevation lowest point}$$

حيث Elevation highest point = ارتفاع أعلى نقطة، Elevation lowest point = ارتفاع أدنى نقطة

ووفقاً لتصنيف (Voženílek, 2015) تبين أن أكثر المواضع تضرساً في الحوض تمثلت في المنطقة الواقعة شمال غرب الحوض بين حوضي البلايش وعقبة العجول، وشمال شرق الحوض بين حوضي

الجهلانية والدكري، وجنوب شرق الحوض إلى الجنوب من حوض الدكري كما يوضحه الشكل (٨)، ومن ثم هذه المواضع الثلاثة أقل أجزاء الحوض ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة به.

- رقم الوعورة (Ruggedness Number (Rn

حدد ستراهلر (١٩٦٨م) رقم الوعورة بأنه نتاج تضاريس الحوض وكثافة الصرف، ويمكن حسابه من المعادلة التالية:

$$NR = \frac{Dd \times Rr}{1000} \dots \dots \dots \text{(Strahler, 1968)}$$

حيث: NR = رقم الوعورة، Dd = كثافة التصريف، Rr = التضاريس النسبية

وتكمن أهمية هذا العامل في الدراسة الحالية في أنه يُستخدم لتحديد درجة وعورة سطح الأرض، ويفيد في تحديد مدى ملائمة الأرض للزراعة، فالأراضي ذات الأرقام العالية تشير إلى وعورة شديدة، مما يجعلها أقل ملاءمة للتنمية الزراعية، كما يسهم بشكل فعال في التخطيط لاستخدامات الأرض، وبخاصة تلك التي تحتاج إلى تقنيات زراعية خاصة، مثل الزراعة في المدرجات أو الزراعة العضوية، كما يؤثر على تدفق المياه، ومن ثم يساعد فهمه بشكل جيد في تصميم أنظمة الري المناسبة والحد من التآكل، كما يساهم في تقييم المخاطر الطبيعية مثل الانهيارات الأرضية، مما يساعد في اتخاذ قرارات زراعية آمنة، ومن خلال حساب رقم الوعورة لحوض منطقة الدراسة تبين أن قيمه تراوحت بين ٠,٠٤ _ ٧,٠٨، وقد تم تقسيم المنطقة إلى عشر فئات كما يوضحه الشكل (٨)، ومنه سيتم تحديد درجات ملائمة السطح للتنمية الزراعية المستدامة حيث تم وضعها في النموذج المقترح على أنها تناسبت عكسياً مع قيم هذا المعامل .

- مؤشر الخشونة الطبوغرافية (Topographic Ruggedness Index (TRI

يعد مؤشر الخشونة الطبوغرافية بمؤشر صلابة التضاريس وهو أحد أهم المؤشرات الجيومورفولوجية التي تفسر مدى تعقيد وتباين سطح الأرض في منطقة معينة، وتكمن أهميته هنا في أنه يساعد في فهم خصائص التربة، حيث يمكن أن يؤثر سطح الأرض الخشن على تآكل التربة وحركة المياه، كما يساهم في فهم كيفية تصريف المياه السطحية وتوزيعها في المناطق المختلفة، مما يساعد في تحسين أنظمة الري وإدارة المياه، وتقييم المخاطر الطبيعية مثل السيول والانهيارات الأرضية، حيث يمكن أن تؤدي التضاريس الوعرة إلى زيادة تلك المخاطر، ويحسب من المعادلة التالية:

$$TRI = \sqrt{Abs(max^2 - min^2)} \dots \dots \dots \text{(Mohsen Farzin, 2021)}$$

حيث: max و min هما أكبر وأصغر قيم للخلايا في مستطيل به تسع قيم ارتفاع متجاورة، وتم الاعتماد على تصنيف ريلي (Riley, 1999) لتحديد درجة خشونة السطح في النماذج الجيومورفولوجية والبيئية ودراسة تأثير خشونة السطح على العمليات الهيدرولوجية والبيئية، مثل حركة المياه، وتآكل التربة، وتوزيع

النباتات، ووفقاً لهذا التصنيف تعد القيم الأقل أنسب للزراعة الكثيفة واستخدام الآلات الزراعية وتسهل من عملية الوصول إلى المياه وبالتالي تكون أكثر ملائمة كلما قلت قيم هذا المؤشر، ومنن تحليل الشكل السابق تبين أن الأجزاء المستوية وفقاً لتصنيف قيم هذا المؤشر أن ٦١.٦١٪ (٩٣.١٧ كم^٢) من سطح الحوض أجزاء مستوية، و ٢٤.٣٠٪ (٣٦.٧٥ كم^٢) منه أجزاء شبه مستوية، ٦.٧١٪ قليلة الوعرة، بينما شغلت المواضع متوسطة الوعرة نحو ٤.٥٦٪ من مساحة الحوض، في حين شغلت المواضع الوعرة وشديدة الوعرة وشديدة الوعرة جداً على الترتيب نحو ٢.١٤٪ (٣.٢٤ كم^٢)، ٠.٥٧٪ (٠.٨٧ كم^٢)، ٠.١٠٪ (٠.١٥ كم^٢)، وعليه يمكن القول بأن معظم أجزاء الحوض ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لقيم هذا المؤشر.

ج. الخصائص الهيدرولوجية

- كثافة التصريف Drainage Density

نقصد هنا بكثافة التصريف الطولية لا العددية ويستدل منها على كثافة التصريف المائي وكمية الرواسب المنقولة بفعل المجاري المائية، وتفيد في فهم توزيع المياه الجوفية والمياه السطحية والتي تنعكس دورها على الملائمة المكانية للزراعة، وتحيب من العلاقة التالية:

$$Dd = \frac{L}{A} \dots \dots \dots (Horton, 1956)$$

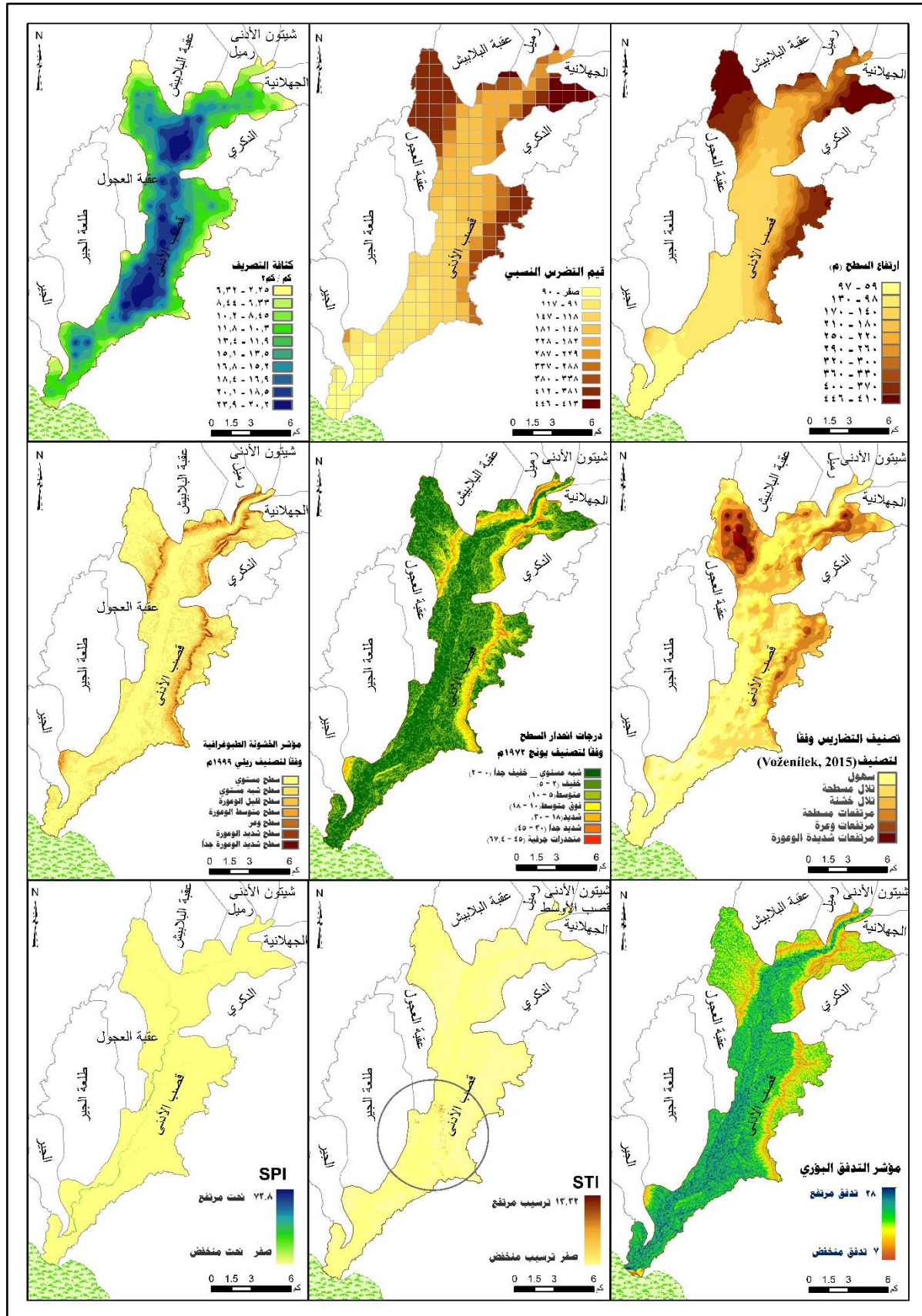
حيث:

$$L = \text{مجموع أطوال المجاري المائية (كم)} ، A = \text{مساحة الحوض (كم}^2\text{)}$$

ومن تحليل الشكل يتضح أن كثافة التصريف ترتفع بشكل كبير في منتصف الحوض، حيث يعد المجرى الرئيس للوادي هو المجرى الحالي بعد تسوية مساحات كبيرة من قاع الوادي من خلال نقل الطمي النيلي من أسفل تكوين أرمنت على جانبي الوادي.

- مؤشر التدفق البؤري Focal flow index

تستخدم الإحصاءات البؤرية Focal Statistics لحساب تراكم التدفق عن طريق حساب متوسط قيم الخلايا المجاورة، حيث تتجمع القيم الأعلى في المنسوب داخل خلايا القيم الأقل مما يساعد في فهم كيفية تصريف المياه وفهم حركة المياه ومناطق الجريان السطحي المحتملة ويستدل منه على المواضع الأكثر إمكانية لتجميع المياه الجوفية من الجريان السطحي، كيفية إدارة الري وتحديد المناطق الأكثر احتياجاً للمياه، كما تمكن المزارعين من معرفة أنسب المواقع لزراعة أنواع معينة من المحاصيل بناءً على العوامل البيئية والموارد المتاحة، ومن خلال حساب قيم هذا المؤشر تبين أن المنطقة حول المجرى الرئيس للوادي سجلت أعلى قيم لهذا المؤشر وتقل تدريجياً كلما زاد ارتفاع السطح على جانبيه، وعليه تم تصنيف درجات الملائمة.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map10.5

شكل (٨) بعض الخصائص الهيدرولوجية مورفولوجية لحوض وادي قصب الأدنى

- مؤشر قدرة النهر على الترسيب Sediment Transport Index

يقيس هذا المؤشر قدرة النهر أو شبكة التصريف المائي على نقل الرواسب، ويتم حسابه من خلال الحاسبة الخلوية Raster Calculator استناداً إلى المعادلة التالية:

$$STI = \text{Power}(\text{FlowAccumulation} / 22.13, 0.6) * \text{Power}(\text{Sin}(\text{Slope}) / 0.0896, 1.3)$$

(Danielson , without Date)

وترجع أهمية هذا المؤشر إلى كونه يسهم بشكل فال في تقدير التآكل والترسيب، حيث يساعد في تحديد المناطق المعرضة للتآكل أو الترسيب، مما يمكن من اتخاذ الإجراءات اللازمة للحد من فقدان التربة أو زيادة الرواسب في المجاري المائية، كما يمكن استخدامه في تصميم الأنظمة الهيدروليكية، مثل السدود والقنوات، حيث يساعد في تقدير كميات الرواسب بفعل الجريان السطحي، ومن الشكل السابق يتضح أن القيم الأعلى لهذا المؤشر تزداد بشكل كبير في القسم الأسفل من حوض الوادي قبيل المصب، ويمكن تفسير ذلك في ضوء ضعف قدرة الوادي بعد حدوث الجريان السطحي على الحمل فيلقي بإرساباته في هذا القسم الذي يعد منطقة تجميع وخرن لمياه هذا الجريان.

- مؤشر قوة الجريان (Stream Power Index - SPI)

يصف هذا المؤشر طاقة التدفق المائي، ويعتمد في حسابه على الجريان المتجمع وانحدار السطح، ويحسب من خلال الأمر Raster Calculator اعتماداً على المعادلة:

$$SPI = \text{Flow accumulation} \times \text{Cell Size} \times \text{Tan}(\text{Slope} \times 0.017453)$$

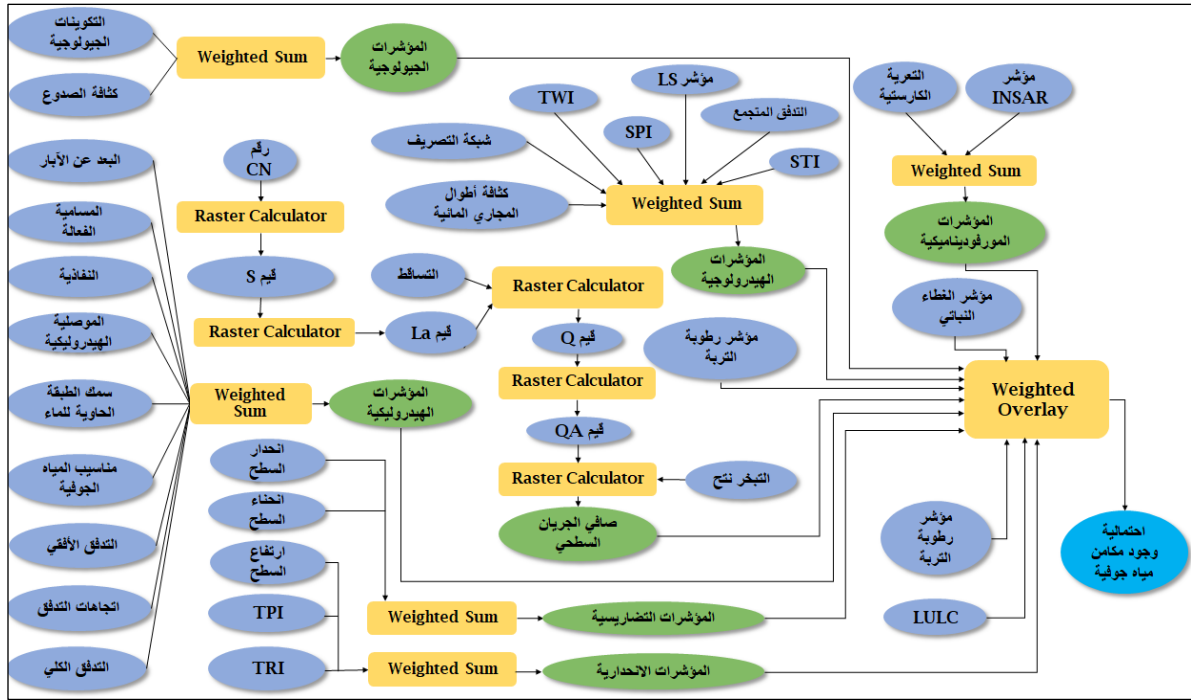
(Burch,1986)

حيث: Cell Size Of DEM = ٠,٠٠٠٢٧٧٧٧٧٧٨، ٠,٠٠١٧٤٥٣ ثابت
وترجع أهمية هذا المؤشر إلى أنه يستدل منه على المواضع الأوفر حظاً في تجميع مياه الجريان السطحي ومن تم مواضع النحت الهيدروليكي مما يمكن المزارعين والمخططين من اتخاذ تدابير وقائية من مياه الجريان السطحي وإدارتها بشكل فعال مما يعزز استدامة الزراعة.

- إمكانية تواجد مياه جوفية

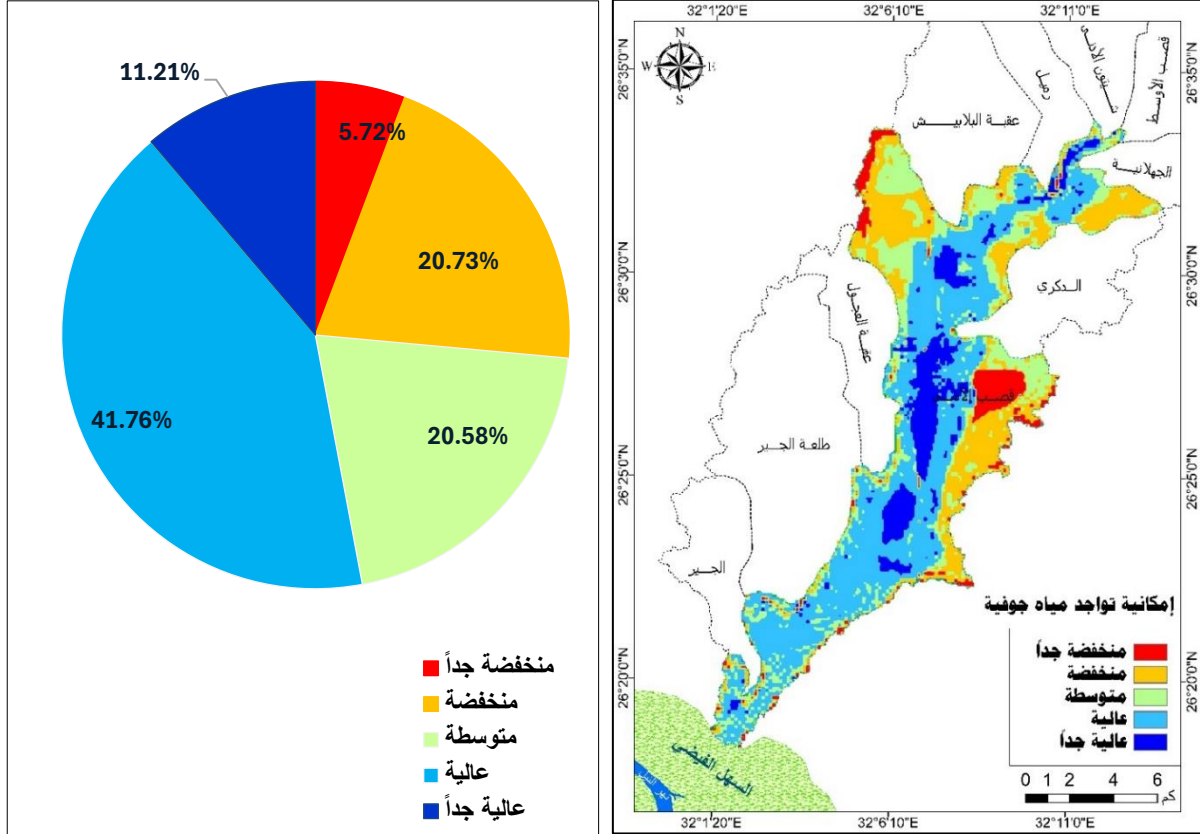
تم تحديد مواضع المياه الجوفية المحتملة Groundwater Potential Zone من خلال بناء نموذج تم فيه دمج أحد عشر مؤشراً وتحديد أوزانهم النسبية بطريقة AHP باستخدام برنامجي Arc map 10.5 و extAhp20 كما يوضحه شكل (٩)، و بعد تطبيق هذا النموذج على حوض الوادي تبين أن ٥٢,٩٧٪ من مساحة الحوض تقع ضمن فئتي إمكانية تواجد المياه الجوفية بالحوض بدرجة عالية وعالية جداً ويشغلا قاع الوادي كما يوضحه شكل (١٠) ، بينما شغلت الفئات المتوسطة والمنخفضة و المنخفضة جداً على الترتيب نحو ٢٠,٥٨٪، ٢٠,٧٣٪، ٥,٧٢٪ من مساحة الحوض، ويمكن تفسير ذلك في ضوء ارتفاع قيم

ملائمة المؤشرات المستند إليها في عملية النمذجة، كما أن حوض الوادي يعد حوض تجميعي لكافة الأحواض الفرعية التي تصب فيه ، مما انعكس بدوره على نتائج النمذجة المكانية لكافة المعايير المختارة.



المصدر: (عيد، ٢٠٢٣، ص ٥٨)

شكل (٩) نموذج محاكاة لتحديد مواضع احتمالية تواجد مياه جوفية



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الشكل (٩)

شكل (١٠) إمكانات ونسب تواجد مياه جوفية بحوض وادي قصب الأدنى

- مؤشر جودة المياه الجوفية

يعد هذا المؤشر أداة فعالة لتقييم الجودة الشاملة للمياه الجوفية (Adimalla et al., 2018c; Khan and Jhariya, 2017)، وتستخدم الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية كأداة لتحديد جودتها واستدامتها لأغراض التنمية المستدامة، ويوضح الجدول (٧) الخصائص الكيميائية لعينات المياه الجوفية بالمنطقة، واستناداً إليها تم حساب قيم مؤشر جودة المياه في ضوء المعادلة التالية:

$$WI = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \dots \dots \dots (Aghazadeh, 2010)$$

حيث: WI هو الوزن النسبي، w_i هو وزن كل معلمة، n هو عدد المعلمات، وتم حساب الوزن النسبي، (Wi) لمعلمات جودة المياه.

جدول (٧) الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية ومؤشر جودتها بحوض وادي قصب

رقم العينة	X	Y	HCO3	CI	NA	EC_ms	SAR	IWQI
1	32.06	26.34	4.33	8.9	12.26	2.24	5.97	54.58
2	32.09	26.37	6.41	11.69	20.96	2.99	9.79	41.04
3	32.07	26.35	4.59	17.49	20.13	3.79	6.79	33.66
4	32.11	26.39	3.44	19.66	18.09	2.87	7.53	40.66
5	32.08	26.37	5.74	3.75	7.91	0.98	6.94	78.42
6	32.11	26.38	9.67	3.75	13.96	1.76	10.22	76.21
7	32.08	26.36	3.93	7.97	5.43	1.4	2.62	76.66
8	32.05	26.34	4.33	10.85	12.65	2.19	5.66	47.28
9	32.06	26.35	4.66	12.99	18.57	3.05	7.69	35.68
10	32.13	26.42	4.92	11.86	17.83	2.49	9.31	42.11
11	32.06	26.35	4.59	1.66	5.39	0.86	4.56	88.69
12	32.08	26.36	2.54	10.96	23.22	3.09	12.18	32.2
13	32.12	26.45	4.1	1.15	6.22	0.71	9.27	92.88
14	32.08	26.37	3.77	2.37	4.35	0.66	4.03	97.2
15	32.13	26.4	4.1	21.97	21.87	3.87	7.91	31.94
16	32.06	26.36	4.59	3.46	6.22	0.86	5.76	88.16
17	32.07	26.35	4.59	3.61	5.61	0.95	4.04	88.57
18	32.1	26.38	4.75	6.96	11.09	1.55	8.19	58.69
19	32.11	26.4	5.74	10.28	16.48	2.53	7.51	43.21
20	32.11	26.41	4.26	10.42	18.43	2.47	10.01	42.1
21	32.12	26.43	2.95	6.39	6.48	1.2	4.18	70.24
22	32.12	26.44	3.85	8.14	7.57	1.35	4.1	69.77
23	32.12	26.46	4.33	3.69	6.26	0.92	4.85	88.32
24	32.13	26.48	4.15	11.77	11.39	1.95	5.69	47.49
25	32.13	26.5	5.57	7.94	8.74	1.97	3.75	62.43
26	32.13	26.49	3.11	11.96	7.96	1.77	3.56	48.76

المصدر: التحليلات المعملية للعينات.

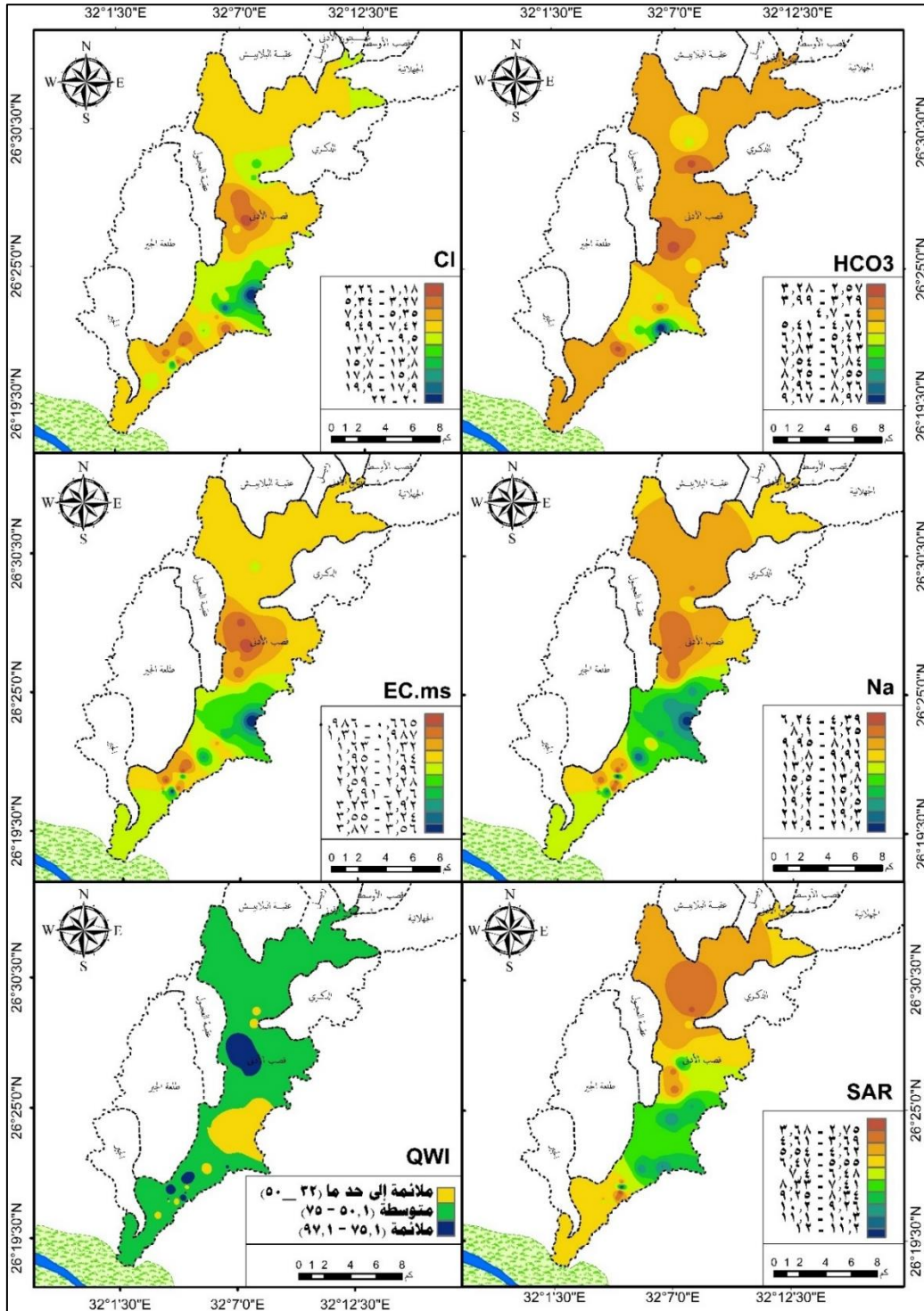
واستناداً إلى قيم QWI تم تصنيف منطقة الدراسة إلى خمس فئات ملائمة وفقاً للحدود التي وضعها (Eriyana Yulistia, Fauziah, & Hermansyah, 2018)، كما يوضحها الجدول التالي.

جدول (٨) فئات الملائمة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لمؤشر جودة المياه Water Quality Index

المساحة (كم)	المساحة (%)	مؤشر جودة المياه الجوفية	قيم QWI
-	-	غير ملائم	من صفر ≥ 25
٢٦,٠١	١٧,٢٠	ملائم إلى حد ما	$50 \geq 25$
١١٧,٧٠	٧٧,٨٣	ملائمة متوسطة	$75 \geq 50$
٧,٥١	٤,٩٦	ملائم	$100 \geq 75$
-	-	ملائم جداً	أكبر من ١٠٠
١٥١,٢٢٢	%١٠٠		المساحة الكلية

المصدر: من حسابات الباحث.

ومن تحليل بيانات الجدول السابق والشكل (١٠) تبين أن ٧٧,٨٣٪ من المياه الجوفية الكامنة بأراضي الحوض تحظى بجودة متوسطة وفقاً لقيم مؤشر جودة المياه، وأن ١٧,٢٠٪ منها جودة المياه الجوفية بها ملائمة إلى حد ما، بينما تتمتع نحو ٤,٩٦٪ من أراضي الحوض بجودة مياه جوفية مخزونة تحتها ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لخصائص مياهها الجوفية.



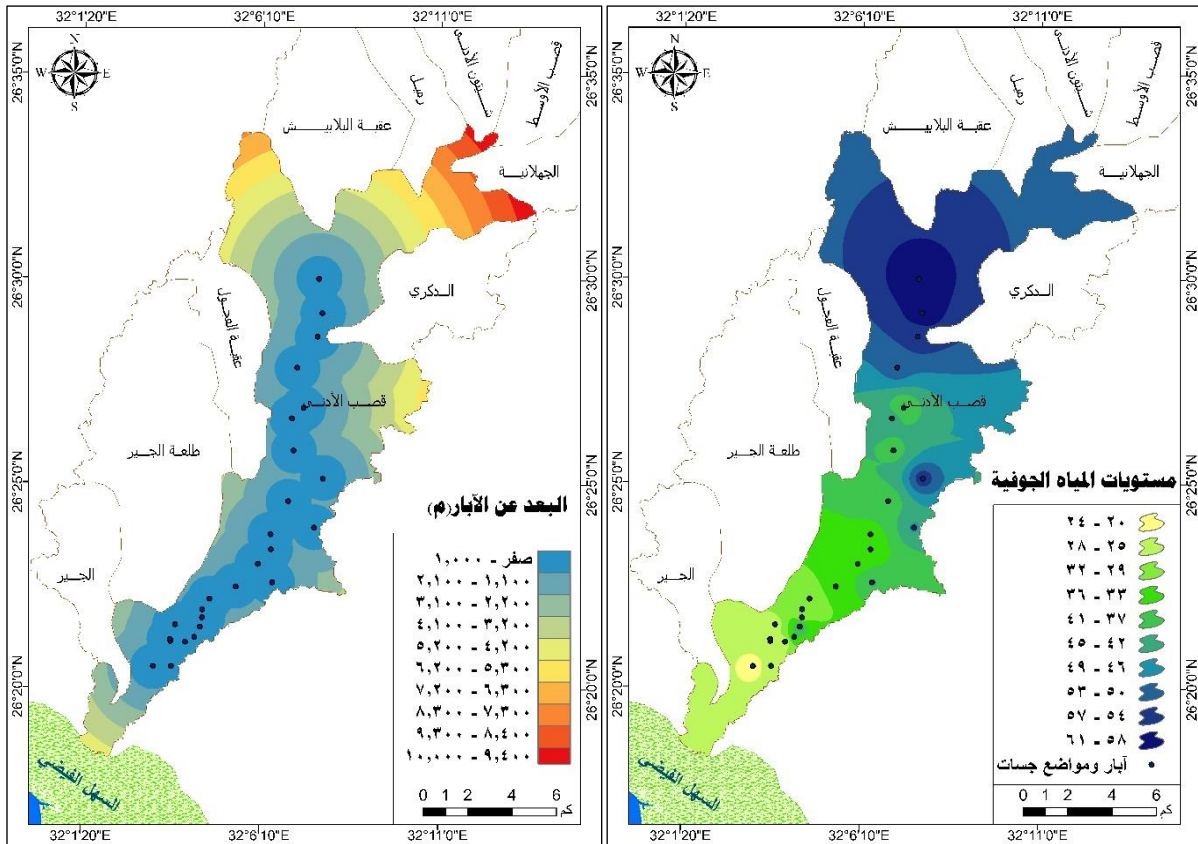
المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على بيانات الجدولين السابقين.
شكل (١١) خصائص المياه الجوفية ومؤشر جودتها

– مستويات المياه الجوفية

يعد هذا العامل من العوامل الهيدرولوجية بالغة الأهمية في عملية النمذجة ، لكونه يعزز استدامة الزراعة كلما زادت جودة وحجم المياه الجوفية مع مستوياتها ، وهذا بدوره يجعلها تسهم بدور فعال في ري المحاصيل أثناء حلول الجفاف وتعزز إنتاجية المحاصيل واستدامتها، وتجدر الإشارة هنا أنه كلما كان مستوى المياه الجوفية أقل كلما قلت تكلفة استخراجها، وعليه تم تصنيف درجات الملائمة وفقاً لمستوياتها ، فأخذت المناسيب الأقل قيم ملائمة أعلى والعكس، أما الملائمة المكانية للمياه الجوفية بشكل عام فتحدد في ضوء عوامل أخرى كإمكانية تواجدها ومؤشر جودتها وفقاً لخصائصها الكيميائية.

– البعد عن الآبار

تعد الآبار الطريقة الأكثر شيوعاً وانتشاراً في قيام الزراعة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة والركيزة الرئيسة لقيامها، فأينما وجدت الآبار وتلاءمت التربة لحفرها وجادت مياهها حط المزارعون رحالهم وزحفوا بآلاتهم الزراعية ليغطوا أراضي الوادي الجيرية الحصوية بالتربات الطينية المنقولة ليضيفوا للمعمور الزراعي مساحات جديدة ويتوطنوا عليها، وتم تحديد درجات الملائمة وفقاً للبعد عن الآبار الموضحة بالشكل التالي، حيث أخذت المسافات الأقل درجات ملائمة أعلى والعكس.



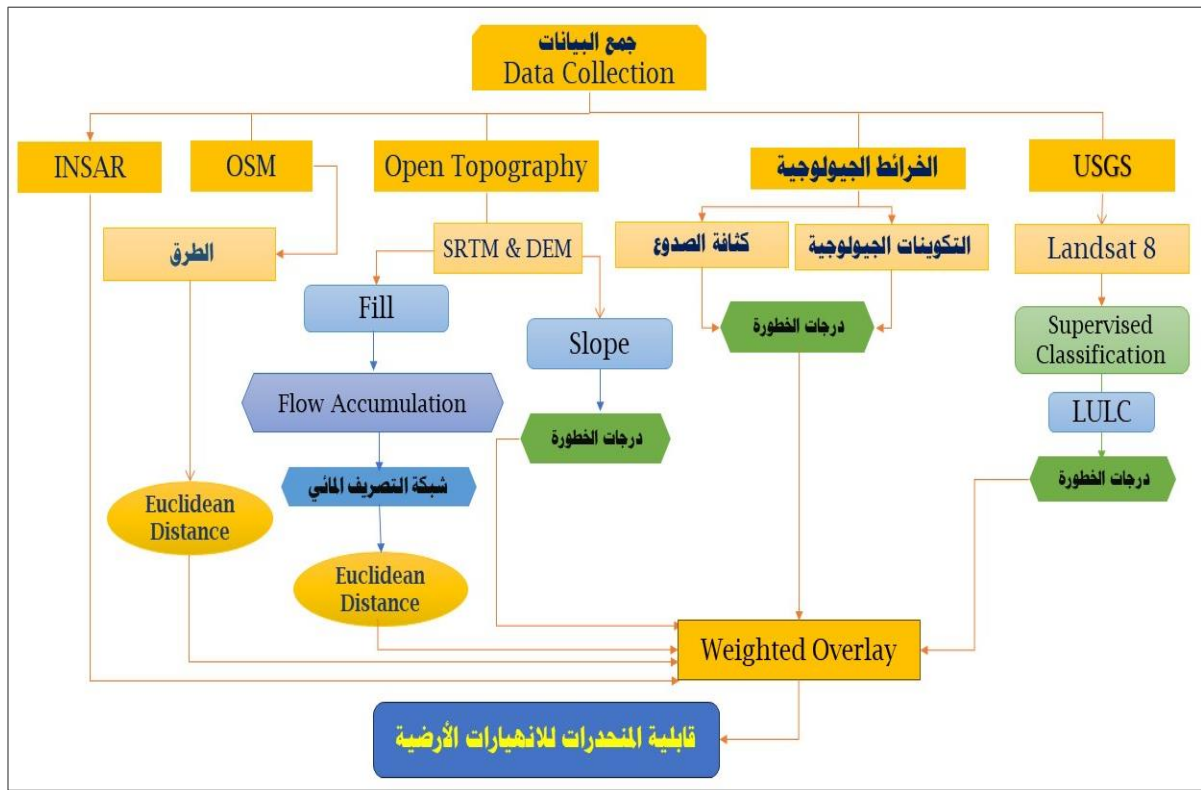
المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الدراسة الميدانية وبرنامج ArcMap10.5

شكل (١٢) مستويات المياه الجوفية والبعد عن الآبار (متر)

د. الأخطار الهيدرولوجية والبيولوجية

– مؤشر قابلية المنحدرات للانهيارات الأرضية Index of slope susceptibility to landslides

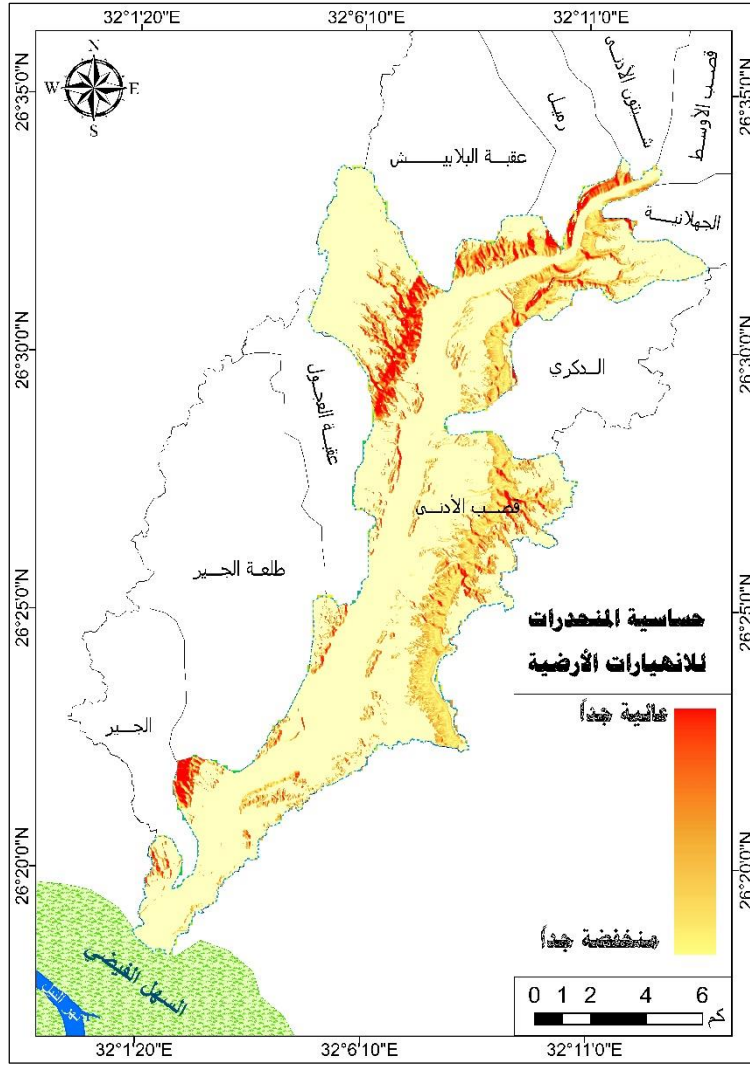
يشكل هذا العامل أحد أهم العوامل الجيومورفولوجية التي تحدد مدى ملائمة منطقة ما للتنمية الزراعية المستدامة من عدمه ، فكلما زادت احتمالية حدوث انهيارات أرضية على جوانب منحدرات الوادي كلما قلت درجة ملائمة المواضع الأكثر حساسية لتلك الانهيارات للتنمية الزراعية المستدامة لكونها تحتاج إلى أساليب صيانة للتربة وحمايتها من أخطار تلك الانهيارات ومن ثم تزيد من التكاليف الإضافية لعملية التنمية الزراعية، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه قد تم بناء نموذج Model Builder باستخدام برنامج Arc Map وفقاً لعدة معايير يوضحها المخطط التالي.



المصدر: من إعداد الباحث

شكل (١٣) مخطط يوضح منهجية تقدير قابلية المنحدرات للانهيارات الأرضية

ومن خلال بناء النموذج تم تحديد درجات حساسية منحدرات الوادي للانهيارات الأرضية كما يوضحه الشكل (١٤)، ومن تحليله تبين أن المناطق ذات الحساسية العالية للانهيارات الأرضية شغلت نحو ١٥,٨٦ كم^٢ أي ما يعادل ١٠,٤٩٪ من إجمالي مساحة الحوض ، بينما شغلت المناطق متوسطة الحساسية للانهيارات الأرضية نحو ٢٢,٦٨ كم^٢ أي ما يوازي ١٥٪ من مساحة الحوض، بينما شغلت المناطق ذات القابلية المنخفضة للانهيارات الأرضية ١٢,٦٩ كم^٢ من مساحة الحوض أي ما يعادل ٧٤,٥٢٪ من مساحته الكلية وهذه المواضع أنسب المواضع ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة بالحوض .



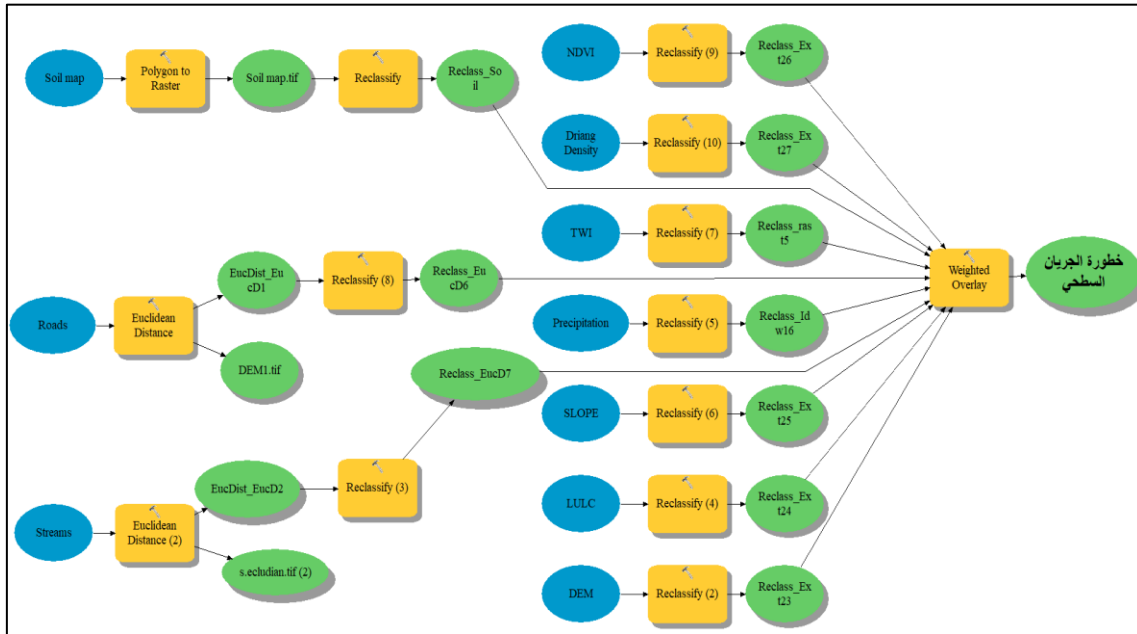
المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على النموذج السابق.

شكل (١٤) حساسية منحدرات الحوض للانهيارات الأرضية

- خطورة الجريان السطحي Run off Hazard

يؤثر الجريان السطحي وعمليات التآكل المرتبطة به سلباً على جودة التربة والمياه السطحية عن طريق تقليل معدلات تسرب التربة، وقدرات الاحتفاظ بالمياه، ومحتوى المغذيات، والمواد العضوية وعمق التربة (بيمنتل وآخرون، ١٩٩٥)، ومن ثم فإنها تساهم في تقليل إنتاجية التربة وتسبب أضراراً بيئية كبيرة من خلال استنزاف موارد التربة (Lal, 1998)، وقد يؤدي الجريان السطحي ونقل الرواسب و تراكم الطمي في الخزان (Verstraeten and Poesen, 2000)، وانخفاض جودة المياه السطحية (Wauchope, 1987، 1994، Sharpley et al) وزيادة خطر الفيضانات والفيضانات الموحلة (Boardman et al.، 2003). ولذلك فإن الفهم التفصيلي لتوليد ومسارات كل من الجريان السطحي والرواسب من مستجمعات المياه الزراعية إلى البيئات المائية أمر بالغ الأهمية في تحديد درجات ملائمة أراضي الحوض للتنمية الزراعية المستدامة.

وقد وضع كل من (Kotecha, et al., 2023) لتحديد درجات خطورة الجريان السطحي في حوض نهر لوني، راجستان بالهند في ضوء عشرة معايير يوضحها النموذج شكل (١٥) ، ومن الجدير بالذكر أنه تم اختيار كافة الأحواض التي تصب في حوض الوادي كما يوضحه شكل (١٦) لتحديد أيهما أكثر خطورة من غيرها للوضع في الاعتبار مستقبلاً أولوية القيام بأعمال حماية وإنشاء سدود لدرء أخطار الجريان السيلبي الذي يؤثر بدوره سلباً على التنمية الزراعية كما سلف ذكره ، وتم تحديد فئات الخطورة في الحوض المدروس لتحديد المواضع الأولى بالحماية وبناء السدود عن غيرها.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج Arc map 10.5

شكل (١٥) مخطط لتقدير خطورة الجريان السطحي بحوض وادي قصب الأدنى

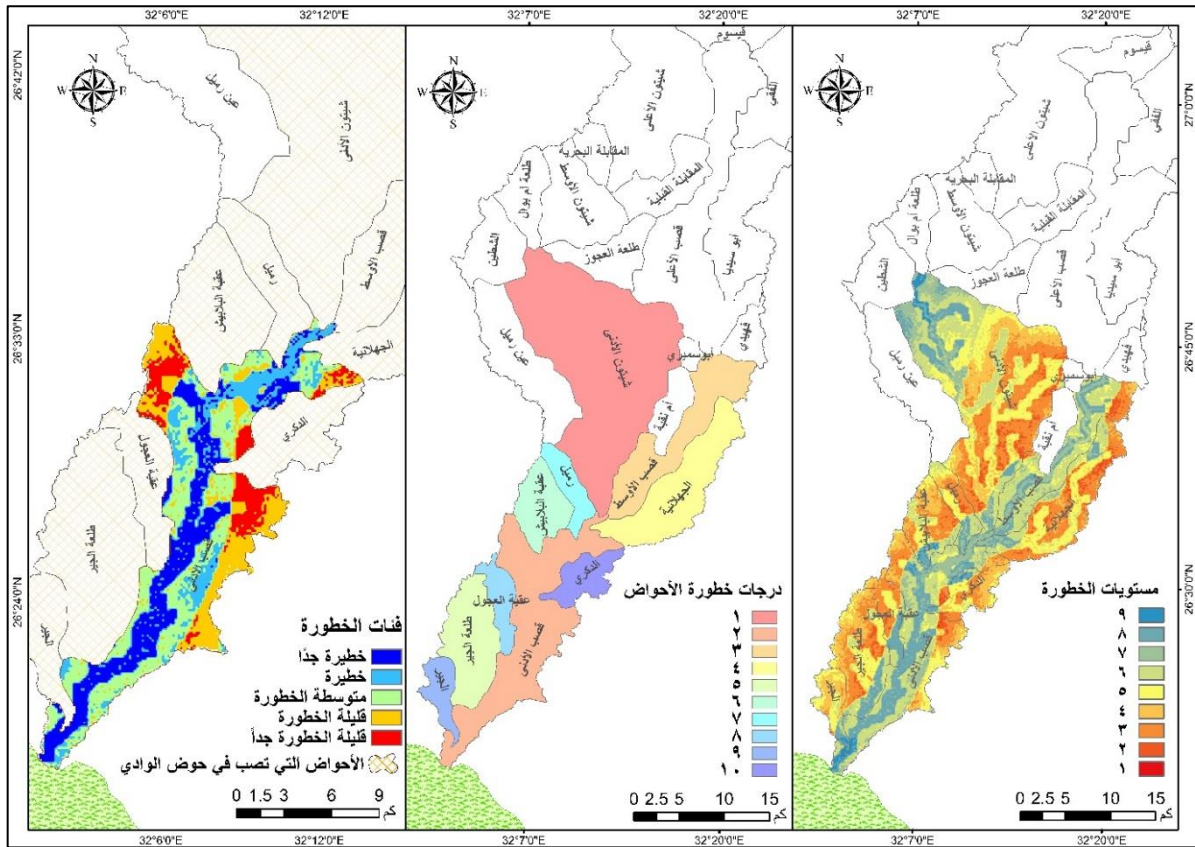
ومن الجدير بالذكر أنه تم بناء هذا النموذج باستخدام تحليل GIS-AHP متعدد المعايير في ضوء الأوزان النسبية التي يحددها الجدول التالي:

جدول (٩) مصفوفة المقارنات الزوجية والأوزان النسبية لمعايير تقييم خطورة الجريان السطحي

الأوزان النسبية	Soil type	Drainage density	Distance from road	Distance from river	NDVI	LULC	Precipitation	Slope	Elevation	TWI	رقم المعامل	المعاملات
	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١		Matrix
%١٣,٧٨	١	١	٣	١	٥	٣	١	١	١	١	١	TWI
%١٢,٠٧	١	١	٣	١	٣	٢	١	١	١	١	٢	Elevation
%٩,٩	١	١	١	٠,٥	١	٣	١	١	١	١	٣	Slope
%١٣,٤٥	١	١	٣	٢	٢	٣	١	١	١	١	٤	Precipitation
%٦,٦٢	١	١	٣	٠,٣٣٣	١	١	٠,٣٣٣	٠,٣٣٣	٠,٥	٠,٣٣٣	٥	LULC
%٥,٨٧	١	١	١	٠,٢	١	١	٠,٥	١	٠,٣٣٣	٠,٢	٦	NDVI
%١٤,٠٨	١	١	٣	١	٥	٣	٠,٥	٢	١	١	٧	Distance from river
%٥,٥٩	١	١	١	٠,٣٣٣	١	٠,٣٣٣	٠,٣٣٣	١	٠,٣٣٣	٠,٣٣٣	٨	Distance from road
%٩,٣٢	١	١	١	١	١	١	١	١	١	١	٩	Drainage density
%٩,٣٢	١	١	١	١	١	١	١	١	١	١	١٠	Soil type
%١٠٠												مجموع

المصدر: من إعداد الباحث

وبعد بناء النموذج السابق تم عمل خريطة لأخطار الجريان السطحي بحوض وادي قصب الأدنى كما يوضحه شكل (١٦)، ومن تحليله تبين أن خطورة الجريان السطحي تزداد كلما اقتربنا من بطن الوادي ومرد ذلك أن حوض الوادي يعرض حوض تجميعي لمياه الجريان السطحي لكافة الأحواض التي تصب فيه بشكل مباشر ومن كافة الأحواض الفرعية بوادي قصب ككل ، وتعد مواضع مصبات أحواض شيتون وقصب الأوسط والجهلانية أكثر المواضع خطورة في الحوض يليهم أحواض عقبة البلايش وطلعة الجير ورميل وعقبة العجول ، بينما سجلت أحواض الدكري والجير أقل الأحواض من حيث درجة خطورة الجريان السطحي كما يوضحه الشكل التالي.



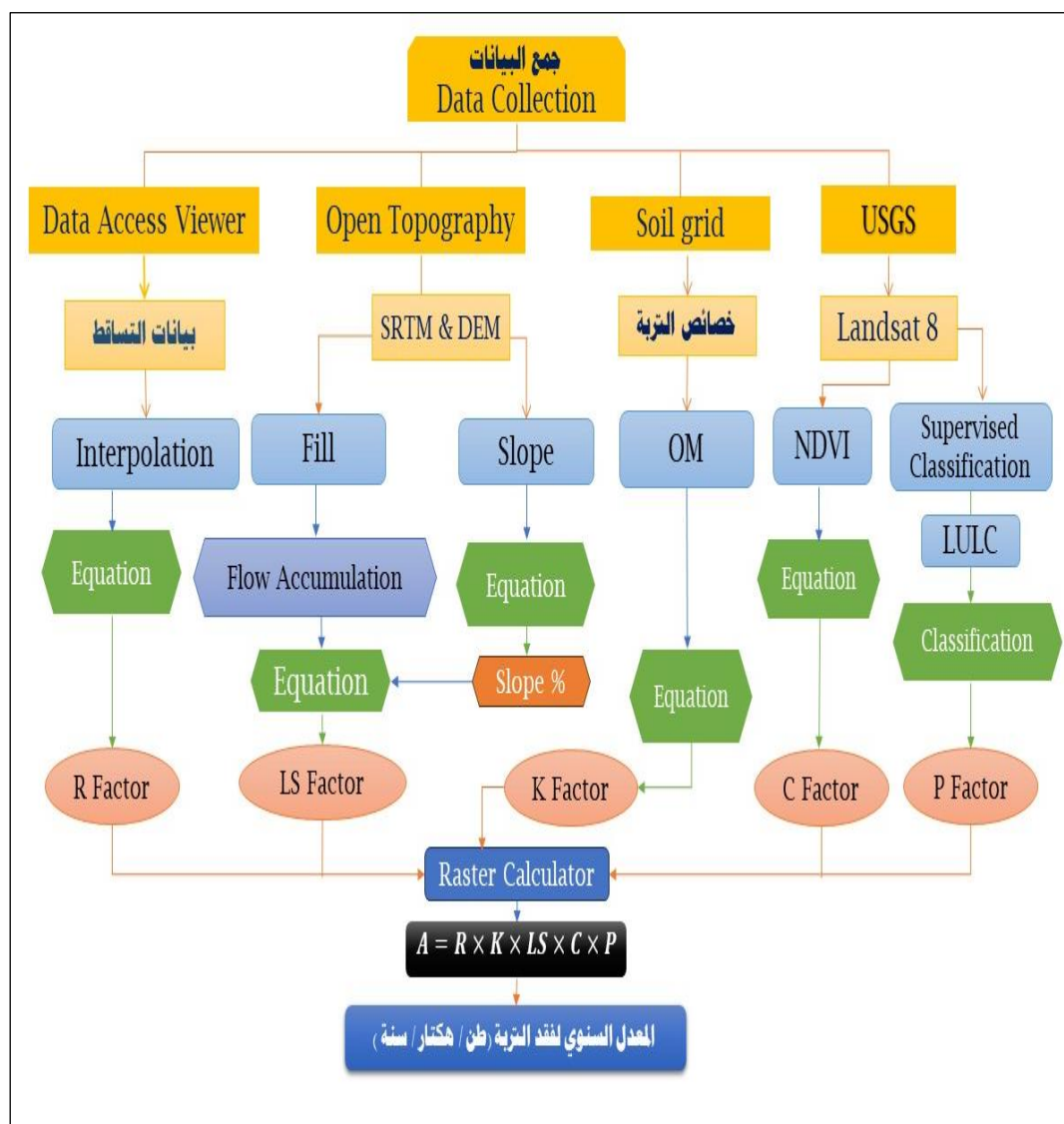
المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على النموذج شكل (١٥).

شكل (١٦) خطورة الجريان السطحي بحوض وادي قصب الأدنى

ومن الشكل السابق يتضح أن الواضع ذات الخطورة المرتفعة جداً بحوض وادي قصب الأدنى شغلت نحو ٣٨,٨٢ كم^٢ (٢٥,٦٧٪ من مساحة الحوض)، بينما شغلت المواضع الخطرة نحو ٢٣,١٣ كم^٢ من مساحته (١٥,٢٩٪)، في حين شغلت الفئة متوسطة الخطورة نحو ٤٤,١٩ كم^٢ (٢٩,٢٢٪)، كما شغلت الفئة قليلة الخطورة نحو ٢٧,٧١ كم^٢ (١٨,٣٢٪)، بينما شغلت المواضع قليلة الخطورة جداً نحو ١٧,٣ ٪ من تلك المساحة.

– تعرية التربة Soil Erosion

يعد تآكل التربة من أخطر المشاكل التي تؤثر على التنمية الاقتصادية والأمن الغذائي وخدمات النظام البيئي ، وينطوي تآكل التربة على انفصال ونقل جزيئات التربة من طبقات التربة العليا، مما يؤدي إلى استنزاف الأراضي الزراعية الخصبة و تدهور جودة التربة وتقليل إنتاجية الأراضي المتضررة، لذا فإن مديري الأراضي وصانعي السياسات يهتمون أكثر بالتوزيع المكاني لمخاطر تآكل التربة أكثر من اهتمامهم بالقيم المطلقة لخسارة تآكل التربة حتى يتثنى لهم تنفيذ تدابير الحماية وصيان التربة من خطر التآكل (Getu, Nagy, & Addis, May 2022)، وتجدر الإشارة هنا إلى أنه قد تم استخدام نموذج RUSLE المتكامل مع برنامج ArcGIS لحساب متوسط فقدان التربة السنوي وتحديد المواضع الأكثر عرضة للتآكل ، ومن ثم أفلها ملائمة للتنمية الزراعية ، ويوضح الشكل التالي المنهجية المتبعة لتقدير قيم هذه المعاملات.



المصدر: ملخص قراءات الباحث في منهجيات تقدير النموذج في الأدبيات العلمية.

شكل (١٧) منهجية تقدير معدل فقد التربة وفقاً لنموذج RUSLE باستخدام برنامج ARC MAP10.8

ولتقدير معدل فقدان التربة وفقاً للمنهجية التي يوضحها الشكل السابق تم تطبيق المعادلة التالية:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

(Gelagay & Minale, January 2016,P.128)

حيث أن:

A = معدل فقدان التربة (طن/ فدان)	LS = العامل الطبوغرافي (طول المنحدر)
R = معامل تعرية التربة	C = معامل الغطاء النباتي وإدارة المحاصيل
K = مدى قابلية التربة للانجراف	P = ممارسات الحفاظ على التربة

وتم تقدير قيم تلك المعاملات كما يلي:

■ معامل تعرية التربة (R)

يصف عامل تآكل هطول الأمطار R العلاقة بين شدة هطول الأمطار واستجابات التربة لها (Kayet et al., 2018)، يلعب هطول الأمطار والجريان السطحي دوراً مهماً في عملية تآكل التربة ويتم التعبير عنهما معاً عادةً بمعامل R كلما زادت شدة ومدة العاصفة المطيرة، زادت احتمالية التآكل، ويقاس هذا المعامل بتأثير هطول الأمطار ويعكس كميتها ومن المحتمل أن يرتبط معدل الجريان السطحي بأحداث هطول الأمطار، وتم حساب هذا المعامل من خلال المعادلة التي قدمها (B OLS, 1978) والتي تنص على ما يلي:

$$R = \frac{2.5 \times P^2}{100 \times ((0.0078 \times P) + 0.78)} \dots \dots \dots (B OLS, 1978, P. 39)$$

حيث:

R = معامل تعرية المطر P = كمية المطر السنوي (مم) وتساوي (١٤, ٤مم)

من خلال حساب قيم هذا المعامل تبين أنها تراوحت بين ٢,٢٧_٢,٣٨، ومن تحليل هذه القيم تبين أن شدة التعرية المطرية منطقة الدراسة ضعيفة وفقاً لتصنيف Fournier (درويش و توفيق، ٢٠١١م) (٢) لشدة ألحت المطري (Fournier.F., 1960)، ولعل مردود ذلك إلى وقوع الحوض في منطقة شبه جافة لا تحظى إلا بالندر اليسير من المطر في موسم تساقطه.

■ معامل مدى قابلية التربة للانجراف (K)

عامل تآكل التربة (K) هو وصف كمي لقابلية التربة للتآكل. يتم الوصول إلى درجة تحمل تأثير هطول الأمطار الغزيرة عندما يتم فصل جزيئات التربة ونقلها. قوة التماسك بين جزيئات التربة هي قوة الاستعادة، وإذا كانت القوة الناتجة عن جريان السطح المتحرك أكبر بكثير من قوة التماسك، فإن جزيئات

٢ - إذا كانت قيم معامل تعرية المطر أقل ٥٠ تعد التعرية ضعيفة، وإذا تراوحت بين ٥٠_٥٠٠ تعد معتدلة، وإذا تراوحت بين ٥٠٠_١٠٠٠ تعد تعرية عالية، وإذا تراوحت بين ١٠٠٠_٥٠٠٠ تعد عالية جداً (درويش وتوفيق، ٢٠١١، ص ١٠).

التربة تتعرض للتآكل (Girmay et al., 2020; Seifu et al., 2020)، وتعد نفاذية التربة ودرجة قابلية التآكل من العوامل المترابطة (Kayet et al., 2018)، وتختلف قدرة جزيئات التربة على الصمود ضد هطول الأمطار باختلاف أنواع التربة، ويتم التعبير عن هذا العامل أنواع التربة والقيم المقابلة لعامل التآكل (K) (Ayenew et al., 2018)، ويتم حسابه من المعادلة التالية:

$$K = \frac{((2.1 \times M1.14 \times 10 - 4 \times (12 - OM) + (3.25(S - 2) + 2.25(P - 3)))}{100}$$

(Tew K. H., 1999)

حيث:

M = (نسبة الرمل الناعم جداً + نسبة السلت) × (١٠٠ - نسبة الطين)، وتم الحصول عليه من نتائج التحليلات المعملية للعينات المأخوذة

OM = نسبة المادة العضوية، وتحسب من العلاقة التالية:

المادة العضوية في التربة = الكربون العضوي في التربة (C) × ١,٧٢

S = رمز بناء التربة (ويأخذ أكواد من ١_٤)

P = رقم النفاذية (ويأخذ أكواد من ١_٦)

ومن خلال حساب قيم هذا المعامل تبين أن قابلية سطح الحوض للانجراف يتباين من موضع لآخر، حيث ترتفع قابلية التربة للانجراف في منطقة بطن الوادي وعلى جانبيه بمساحة قدرت بنحو ٢كم١٠٣,٨٠ أي ما يعادل ٦٨,٦٤٪ من المساحة الكلية للوادي، بينما بلغت المساحات التي تراوحت فيها قابلية التربة للتعرية بين متوسطة إلى عالية نحو ٢كم٤٣,٤٥ بما يوازي ٢٨,٧٣٪ من مساحة الحوض، في حين قدرت المساحات التي ضعفت فيها قدرة التربة على الانجراف نحو ٢كم٢,٩٣ كما يوضحه الشكل (١٨) والجدول الآتي:

جدول (١٠) درجات قابلية التربة للانجراف وفقاً لمساحاتها

قيم المعامل	درجات قابلية التربة للانجراف	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية للمساحة (%)
أقل من ٠,٠٩	ضعيفة	٢,٩٣	١,٩٤٪
٠,١٩ - ٠,٠٩	ضعيفة إلى متوسطة	١,٠٥	٠,٦٩٪
٠,٢٩ - ٠,٢	متوسطة إلى عالية	٤٣,٤٥	٢٨,٧٣٪
٠,٥٩ - ٠,٣	عالية	١٠٣,٨٠	٦٨,٦٤٪
٠,٦ فأكثر	عالية جداً	-	-
المجموع		١٥١,٢٢	١٠٠٪

المصدر: من حسابات الباحث وفقاً لتصنيف Goldsmith, 1977 لدرجات قابلية التربة للانجراف.

■ معامل طول المنحدر (LS)

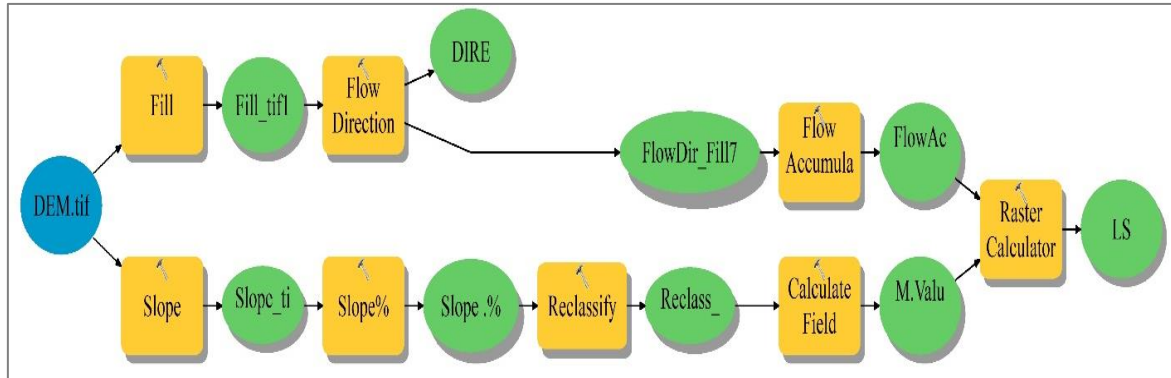
يعرف عامل طول المنحدر (L) على أنه المسافة من مصدر الجريان السطحي إلى النقطة التي يبدأ فيها الترسيب أو يدخل الجريان السطحي في قناة محددة جيداً قد تكون جزءاً من شبكة الصرف (Wischmeier and Smith, 1978)، ويعبر هذا المعامل عن تأثير التضاريس، وتحديدًا طول منحدر التل وانحداره على تآكل التربة، إذ تعتمد شدة التباين المكاني لتآكل التربة على الظروف الطبوغرافية للمنطقة وسرعة تدفق المياه فوق التربة (Kayet et al., 2018)، ويتم حساب هذا المعامل في ضوء المعادلة التالية:

$$LS = \frac{(\text{Flow Accumulation} \times \text{Cell Size})^M}{22.1} \times (0.065 + 0.0045S\% + 0.0065S\%^2)$$

(Atesmachew Bizuwerk, 2000)

حيث:

LS = عامل الطبوغرافيا ، Slope % = نسبة الانحدار ، M = قيمة متغيرة (٢, ٠, ٥, ٠, ٤) ،
Cell Size = ٠,٠٠٠٢٧٧٧٧٧٧٨ ، وتجدر الإشارة إلى أنه تم حساب هذا المعامل من خلال استخدام الحاسبة الخلوية كما يوضحه الشكل التالي.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على DEM.

شكل (١٨) نموذج حساب قيم عامل الطبوغرافيا

■ معامل الغطاء النباتي وإدارة المحاصيل (C)

يُستخدم العامل C في كل من المعادلة العالمية لفقدان التربة (RUSLE) لتعكس تأثير ممارسات الزراعة والإدارة على معدلات التآكل، وهو العامل المستخدم في أغلب الأحيان لمقارنة التأثيرات النسبية للإدارة خيارات بشأن خطط الحفظ، وتحسب قيم هذا المعامل من المعادلة التالية:

٤ - إذا كانت نسبة الانحدار ١٪ فإن قيمة M = ٠,٢، وإذا تراوحت بين ١_٣٪ فإن قيمة M = ٠,٣، أما إذا تراوحت بين ٣_٥٪ فإن قيمة M = ٠,٤، بينما تصبح قيمة M = ٠,٥ إذا زادت نسبة الانحدار عن ٥٪ (Ministry of Natural Resources and Environment Malaysia, 2010)

$$C = \frac{EXP(-2 \times NDVI)}{1 - NDVI} \dots \dots \dots (Van\ der\ Knijff\ et\ al.,\ 1999)$$

وتشير ارتفاع قيم هذا المعامل إلى انخفاض قيم NDVI (°)، إذ تعبر قيمة الواحد الصحيح عن ارتفاع قيم المعامل C، وإن دل ذلك فإنما يدل على أن معظم منطقة الدراسة لا سيما بطن الوادي وجانبيه أكثر عرضة للانجراف وفقاً لهذا المعامل كما يوضحه الشكل (١٩).

■ معامل ممارسات الحفاظ على التربة (P)

يطلق على هذا المعامل أيضاً عامل الإجراءات التي تحد من الانجراف، وهو يعكس آثار الممارسات التي تقلل من كمية المياه ومعدلاتها ومن ثم الجريان السطحي، إذ أن لأساليب الصيانة دوراً مهماً في الحد من انجراف التربة، كالمدرجات الزراعية والزراعة الكنتورية والزراعة الشريطية ونوع المراعي وكثافتها (توفيق، ٢٠٢١م)، وتتراوح قيم هذا المعامل بين صفر _ ١، فكلما قلت قيمة هذا المعامل دل ذلك على وجود أساليب صيانة وممارسات حفظ للتربة من الانجراف والعكس.

جدول (١١) قيم معامل ممارسات الحفاظ على التربة وفقاً لاستخدامات الأرض

استخدام الأراضي	قيمة العامل P	استخدام الأراضي	قيمة العامل P
الغابات	٠,٢٧	مناطق مستنقعية	٠,٩١
مناطق تغطية الشجيرات	٠,٦٨	الأراضي المكشوفة	٠,٥٧
مراعي عشبية ومروج	٠,٨٧	المناطق المبنية	٠,٦٧
أرض المحاصيل	٠,٤٨	مسطحات مائية	٠,٦٩

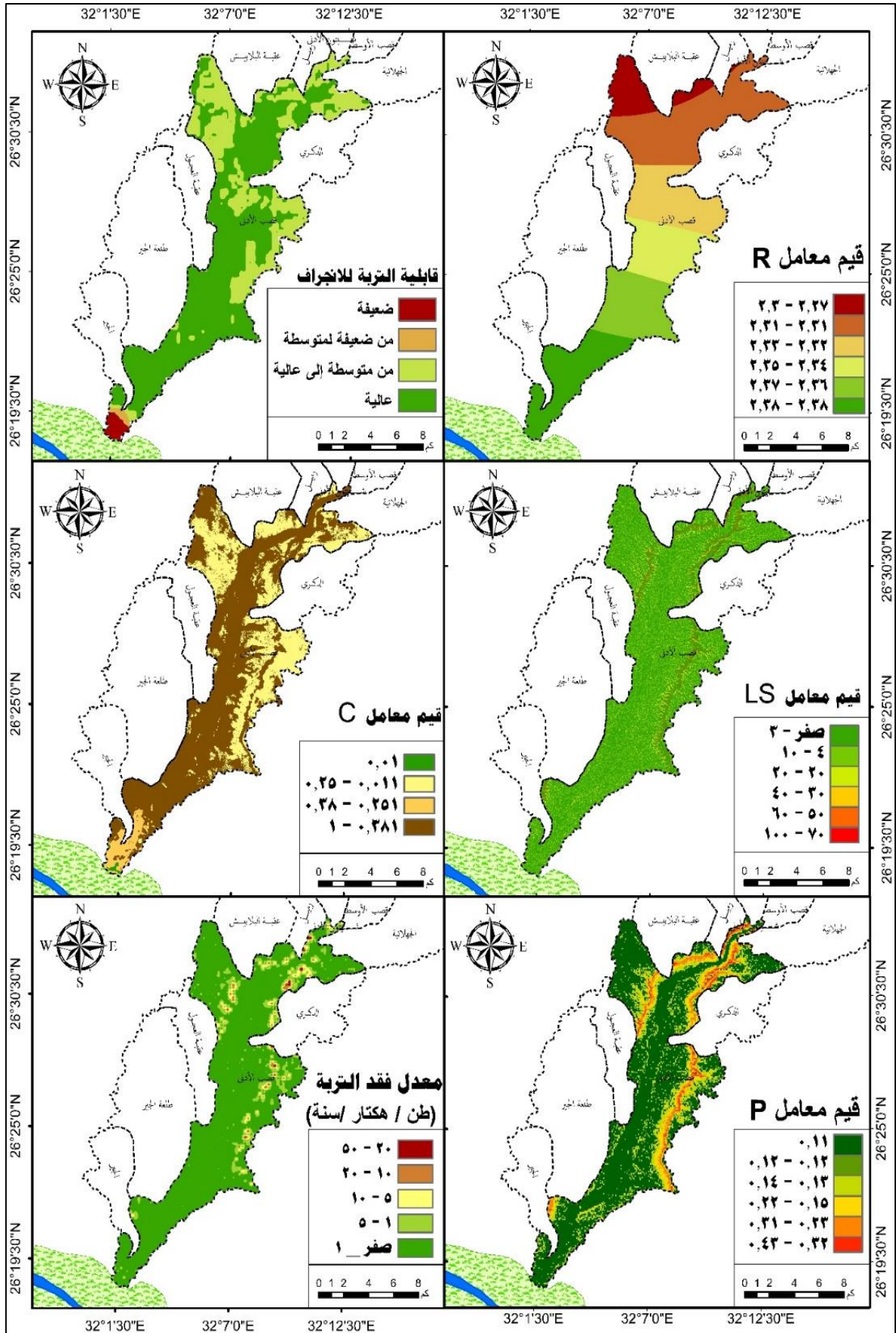
المصدر: (Meseret & Habtamu, 2021)

و من خلال الاستعانة بالأمر Raster Calculator تم تقدير حجم التعرية السنوية في ضوء معادلة RUSLE، ومنها تبين أن منطقة الدراسة تفقد في معظم أجزائها ٦٧ (طن / هكتار / سنة) أي (٠,٧٦ طن / كم^٢ / سنة)، وقد تباينت تلك القيمة من موضع لآخر في كافة أنحاء الحوض كما يوضحه الشكل (١٩)، وقد أمكن تصنيف فئات الانجراف وفقاً لمنظمة FAO 1988 إلى خمس فئات شغلت المواضع ذات معدل الانجراف الخفيف جداً نحو ١٢٩,٨٩ كم^٢ (٨٥,٨٦٪ من مساحة الحوض)، بينما شغلت المواضع ذات معدل الانجراف الخفيف نحو ١٥,٨ كم^٢ (١٠,٤٥٪)، في حين قدرت المناطق ذات معدل انجراف التربة المتوسط نحو ٤,٠٩ كم^٢ (٢,٧٪)، بينما شغلت فئتي الانجراف المرتفعة والمرتفعة جداً على الترتيب نحو ١,٢٥ كم^٢، ٢,٢٥ كم^٢ على الترتيب وتمثلت في المواضع الأكثر ارتفاعاً وانحداراً و مثلتها منحدرات جانبي الوادي على ارتفاعات تتراوح بين ١٧٢ : ٤٤٦ م نحو ٧ كم^٢، أي ما يعادل ١١,٤٨٪ من المساحة الكلية للحوض.

° - تحسب قيم NDVI من Landsat 8 من المعادلة التالية:

$$NDVI = \frac{N - R}{N + R} \quad (\text{Baret, 1991, PP. 161 - 173})$$

حيث $Band\ 4 = R$ ، $(Band5) = N$



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على نواتج معاملات المعاملات السابقة.
شكل (١٩) قيم وفئات معاملات نموذج راسل ومعاملات فقد التربة (طن / هكتار / سنة)

٢- العوامل البيدولوجية

أ. الخصائص الفيزيائية

تتفاوت درجات ملائمة الأراضي من بيئة لأخرى ومن موضع لآخر وفقاً لتباين خصائصها الفيزيائية كنسيج التربة الذي يمكن الحصول عليه من التحليلات المعملية وقياس نسبة الطين إلى الرمل والطين من مثلث قوام التربة أو من خلال عملية الجمع الجبري لنسب تركيز كل منهما في التربة من النماذج الخلوية التي أمكن الحصول عليها من موقع Soil grids ، و الكثافة الظاهرية التي تلعب دوراً مهماً في الزراعة والإنتاج الزراعي، فالتربة ذات الكثافة الظاهرية المنخفضة تشير عادةً إلى وجود فراغات هوائية جيدة، مما يسهل حركة الهواء والماء بينما تشير الكثافة الظاهرية العالية إلى تربة مضغوطة تؤثر سلباً على نمو الجذور وتوفر المياه و قد تعيق حركة الجذور وتقلل من قدرة النبات على امتصاص العناصر الغذائية، كما يعد عمق التربة أحد أهم الخصائص الفيزيائية المؤثرة في الزراعة بشكل عام لكونها تسمح للجذور بالامتداد والنمو بشكل أكبر، مما يعزز من قدرة النباتات على امتصاص المياه والعناصر الغذائية، بينما في التربة الضحلة، قد تكون الجذور محدودة، مما يؤثر سلباً على نمو النبات واستقراره ويكون عرضة للذبول والجفاف ، كما أن التربة العميقة تكون أقل عرضة للتآكل ، كما تؤثر حرارة التربة في نمو النباتات بشكل فعال لكونها تلعب دوراً مهماً في تحلل المواد العضوية في التربة و من ثم غناها بالعناصر الغذائية اللازمة لنمو النباتات ، وكذلك تعد رطوبة التربة من العوامل والمؤشرات بالغة الأهمية في التنمية الزراعية لكونه يحدد الاحتياجات المائية لري النباتات، وقد يتم تقدير رطوبة التربة من المعادلة:

$$SMI=(LST \max-LST)/(LSTmin-LSTmin)..... (Arnab Saha, 2018)$$

حيث:

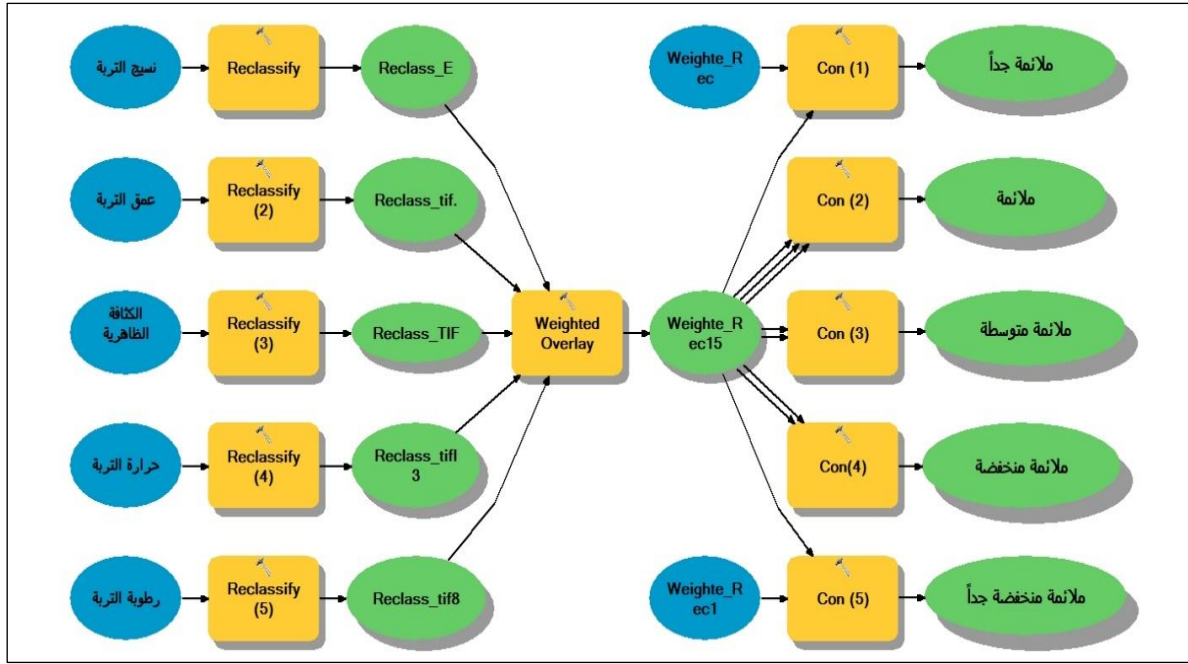
SMI = مؤشر رطوبة التربة

LST = حرارة التربة

LST min = درجة الحرارة الدنيا

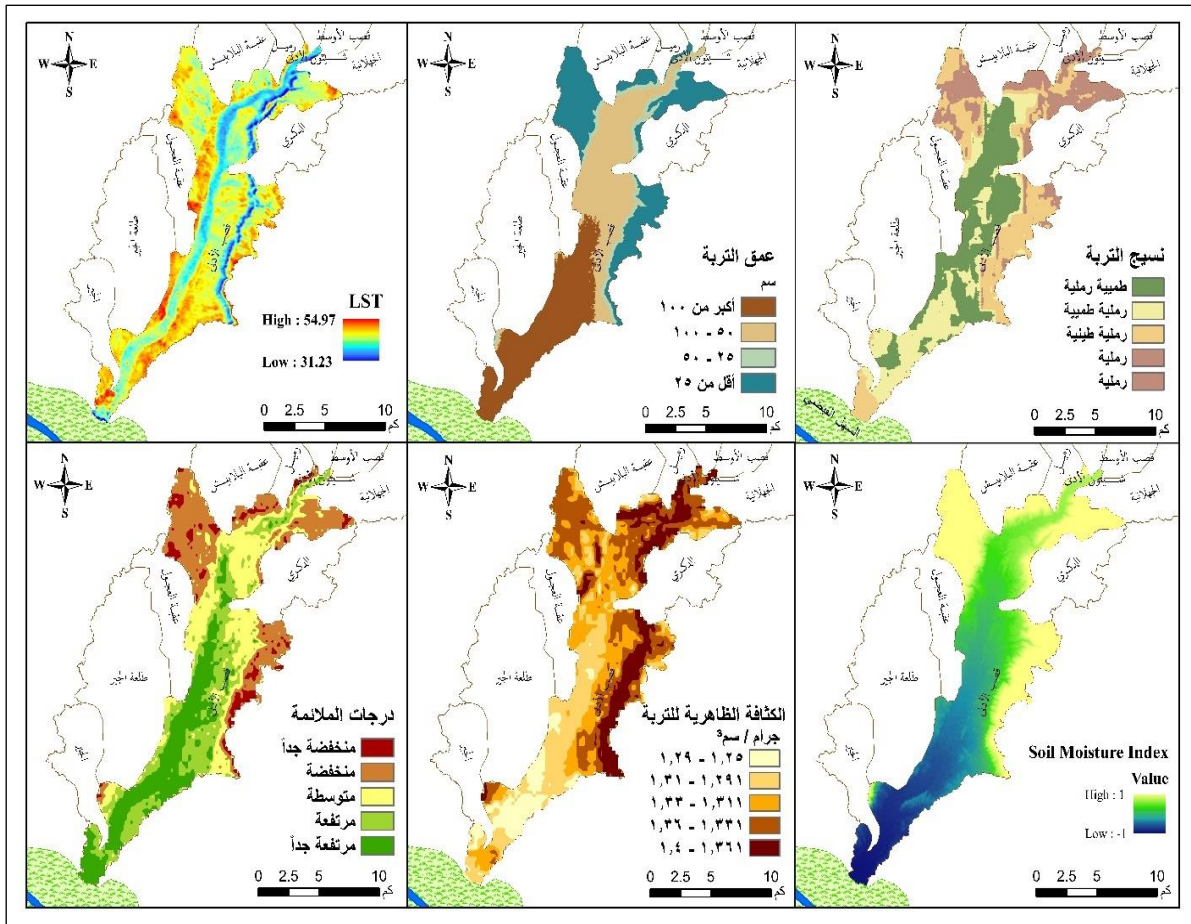
LST max = درجة الحرارة القصوى

وتجدر الإشارة هنا أنه تم تصميم النموذج شكل (٢٠) لتحديد درجات ملائمة التربة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لقيم الخائص المختارة (شكل ٢١)، ومن خلال تقسيم أراضي الحوض إلى خمس فئات للملائمة المكانية تبين أن المساحات ذات الملائمة المرتفعة جداً شغلت القسمين الأوسط والأدنى من الوادي بمساحة قدرت بنحو ٣٤,٤٤ كم^٢ (٢٢,٧٧٪ من مساحة الحوض)، كما شغلت الأراضي ذات الملائمة المرتفعة نحو ٣٣,١٩ كم^٢ من مساحة الحوض (٢١,٩٥٪)، في حين شغلت الفئات المتوسطة وقليلة الملائمة والمنخفضة جداً على الترتيب نحو ٢٣,٨٥٪ ، ٢٤,١٪ ، ٧,٣٢٪ من مساحة الحوض.



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcMap 10.5

شكل (٢٠) مخطط مقترح لتحديد درجات ملائمة التربة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لخصائصها الفيزيائية



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على Landsat 8 & <https://bit.ly/4cjdZTu>

شكل (٢١) الخصائص الفيزيائية للتربة بحوض وادي قصب وفئات وملاءمتها للتنمية الزراعية المستدامة

ب. الخصائص الكيميائية

تحدد الملائمة المكانية للتربة وفقاً لخصائصها الكيميائية المتمثلة في قدرة التبادل الكاتيوني CEC الذي يعد عنصراً أساسياً في إدارة التربة والزراعة المستدامة، فهم هذه الخاصية يمكن أن يساعد المزارعين في تحسين إنتاجيتهم، وتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية، وتعزيز استدامة التربة على المدى الطويل، و **نسبة الصوديوم القابل للتبادل ESP** والذي يؤدي زيادة نسب تركيزه في التربة إلى تدهور خصوبة التربة وجعلها أقل تماسكاً وأكثر عرضة لعمليات التآكل و ضعف قدرتها على الاحتفاظ بالمياه، كما أن بعض المحاصيل تكون أكثر حساسية للملوحة الناتجة عن ارتفاع مستويات الصوديوم، مما يتطلب اختيار المحاصيل المناسبة للزراعة في هذه الأنواع من التربة، كما أن **نسبة الكربون العضوي OC** يساعد في تحسين بنية التربة، مما يسهل حركة الهواء والماء داخل التربة. هذه البنية الجيدة تعزز من النمو الجذري وتساعد في تقليل تآكل التربة، كما أن **درجة التوصيل الكهربائي ECe** تشير إلى التوصيل الكهربائي لمستخلص التربة، وهو مقياس يستخدم لتحديد تركيز الأملاح الذائبة في التربة، ومن تحليل الشكل () يمكن القول بأن تربيات منطقة الدراسة تتراوح بين تربيات متوسطة إلى خفيفة الملوحة وفقاً لتصنيف منظمة الفاو (خطاب، ٢٠٢١، ص ١٨١)، ومن ثم فهي على وضعها الحالي تصلح لزراعة البرسيم الحجازي وفول الصويا والشعير وغيرها من المحاصيل التي لها القدرة على تحمل الملوحة.

ويدل الرقم الهيدروجيني (pH) على حامضية أو قاعدية التربة، ويعد الحد المعتدل منها هو الرقم ٦ الأنسب للزراعة ()، فارتفاع قيمة هذا الرقم عن ٧,٥ (تربة قلوية)، قد تؤدي إلى نقص في العناصر الأخرى مثل الحديد والزنك، وإذا قل عن ٦ تصبح التربة حمضية مما يتسبب في زيادة قابلية المنجنيز والنحاس والقصدير مما يؤدي إلى تسمم النباتات (عماشه، ٢٠١٩) العناصر الغذائية مثل الكالسيوم والمغنيسيوم، مما يؤدي إلى نقص في النمو، كما تعد **كربونات الكالسيوم (CaCO3)** من العناصر المعدنية ذات الأهمية البالغة في تحديد الملائمة الزراعية، حيث تؤدي زيادة نسبتها إلى ارتفاع معدلات القلوية بالتربة مما يقلل من جدارتها الإنتاجية (شربات، ٢٠١٣)، و وفقاً لتصنيف قاعدة البيانات العالمية للتربة (Nachtergaele, 2012) فإن منطقة الدراسة تعد عالية التركيز من كربونات الكالسيوم.

أما عن **النيتروجين (N)** فإنه يلعب دوراً حيوياً في تكوين البروتينات والأحماض النووية، وزيادة تركزه تعني تحسين خصوبة التربة، مما يعزز من قدرة التربة على إنتاج محاصيل صحية، فعلى سبيل المثال لا الحصر، يمكن أن تؤدي إلى زيادة محتوى البروتين في بعض المحاصيل مثل القمح، ولكنها قد تؤثر سلباً على نسبة السكر في محاصيل أخرى مثل الفواكه، وكما توضح نتائج التحليل المعلمي (جدول) يتضح تركزه في العينات المأخوذة ضئيل جداً.

جدول (١٢) الخصائص الكيميائية لعينات التربة المختارة بحوض وادي قصب

رقم العينة	Zn	Mn	Cu	Fe	K	P	N	CaCO ₃	Phe	ECe	OC	ESP	CEC	Y	X
1	3.26	0.14	0.04	0.47	130.65	1.57	0.05	21.04	8.05	14.67	0.03	5.08	3.44	26.5271	32.1587
2	2.03	0.21	0.07	0.85	130.43	1.28	0.05	20.88	7.65	68.98	0.01	5.1	3.89	26.5219	32.1462
3	1.84	0.25	0.06	0.47	147.55	1.37	0.05	23.92	7.65	19.37	0.01	4.7	3.79	26.5162	32.1343
4	1.96	0.27	0.08	0.64	209.9	0.71	0.05	35.57	7.88	24.15	0.01	7.01	4.13	26.5098	32.1304
5	2.88	1.21	0.04	0.63	213.14	1.82	0.05	23.52	8.14	11.83	0.04	5.13	2.47	26.4909	32.1261
6	0.63	0.37	0.07	0.46	138.45	1.53	0.05	24.16	8.05	9.03	0.05	7.46	3.59	26.4766	32.1396
7	2.7	0.14	0.1	0.78	209.43	1.04	0.05	24.24	7.65	17.51	0.01	4.55	4.07	26.4669	32.1357
8	2.73	5.36	0.53	0.94	323.08	2.1	0.05	24.88	7.65	35.95	0.02	6.51	3.96	26.4687	32.1191
9	1.97	0.35	0.07	0.39	139.36	1.29	0.05	38.12	7.88	17.55	0.01	10.62	4.31	26.4525	32.1322
10	3.31	0.2	0.06	0.29	243.4	2.41	0.05	27.12	8.17	71.6	0.03	5.53	3.6	26.4452	32.1108
11	3.15	14.17	0.07	0.58	403.8	0.99	0.05	25.04	8.05	12.5	0.03	4.55	2.74	26.4368	32.1105
12	0.05	2.31	0.21	0.47	213.14	5.56	0.04	19.16	7.65	7.7	0.02	8.15	3.12	26.4312	32.1191
13	0.03	2.88	0.32	0.55	138.45	2.89	0.03	33.94	7.65	8.05	0.07	5.36	2.25	26.4292	32.1138
14	0.14	1.23	0.33	0.27	209.43	3.13	0.05	18.89	7.88	7.65	0.01	7.86	3.27	26.4252	32.1134
15	0.18	1.97	0.31	0.29	323.08	4.15	0.02	20.22	7.65	7.65	0.03	7.92	3.7	26.4189	32.1089
16	0.15	2.14	0.59	0.45	213.14	6.87	0.02	17.67	7.65	7.88	0.03	8.61	3.6	26.4131	32.1184
17	0.05	5.36	0.21	0.39	138.45	3.13	0.05	29.25	7.88	19.23	0.01	8.67	3.92	26.3922	32.1127
18	0.03	0.35	0.32	0.29	209.43	4.15	0.02	37.87	8.21	11.64	0.02	15.33	2.74	26.4006	32.0897
19	0.14	0.2	0.33	0.58	323.08	6.87	0.02	28.74	8.11	20.41	0.01	8.2	3.17	26.4123	32.0976

المصدر: التحليل المعمل بمعمل كلية الزراعة جامعة سوهاج

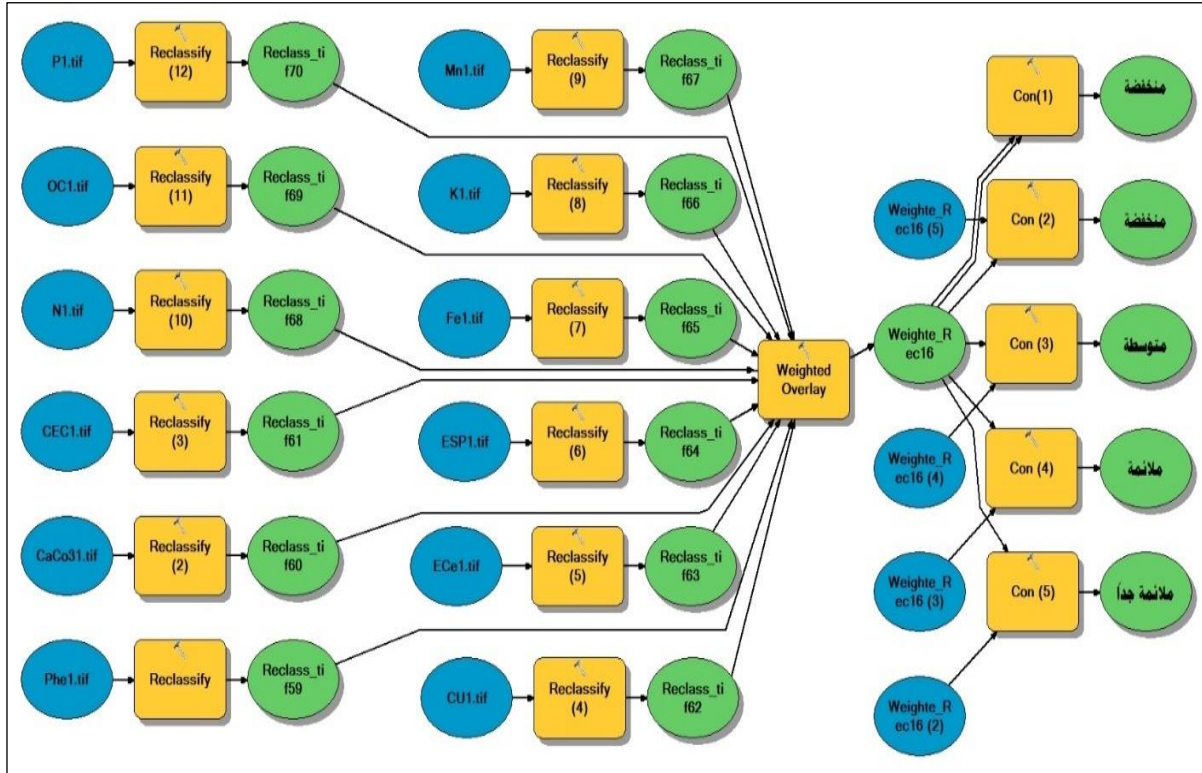
أما عن **عنصر الفوسفور (P)** فيعد عنصر غذائي أساسي للنباتات، ويعتبر جزءاً حيوياً من عمليات النمو والتطور لكونه يعزز من تطوير الجذور، مما يساعد النباتات على امتصاص الماء والعناصر الغذائية بشكل أفضل، فزيادة مستواه تؤدي إلى تحسين الإنتاجية الزراعية من خلال تحسين عمليات النمو وزيادة المحصول، إلا أن تلك الزيادة تعمل على تقليل امتصاص بعض العناصر مثل الزنك والحديد >

أما عن **عنصر البوتاسيوم (K)** فيساعد وجوده في تنظيم فتح و غلق الثغور (Stomata) على سطح الأوراق، مما يساهم في التحكم في فقدان الماء من خلال النتح و يعزز البوتاسيوم من نمو الجذور، مما يساعد في تحسين استقرار النبات وقدرته على امتصاص العناصر الغذائية، كما أن **عنصر الحديد (Fe)** فزيادة تركزه في التربة لها تأثيرات مزدوجة على الملائمة الزراعية، فكما أن له دور أساسي في التمثيل الضوئي والتفاعلات البيوكيميائية داخل النبات، بما في ذلك الأيض والتنفس و يعزز من صحة النباتات ويزيد من إنتاجية المحاصيل له تأثيرات سلبية على امتصاص العناصر الغذائية الأخرى مثل الزنك والنحاس.

ومن الجدير بالذكر أن **عنصر النحاس (Cu)** إذا زادت تركيزاته في التربة فإنها تعمل على تسمم بعض النباتات مما يؤدي إلى تدهور النمو، وتقليل الإنتاجية، وقد يسبب موت النباتات بسبب تأثيره على تقليل تهوية التربة، وبالتالي التأثير على نشاط الكائنات الحية الدقيقة المفيدة، ومن الشكل (٢٣) يتضح انخفاض نسب تركيز عنصر الحديد والنحاس في تربات المنطقة وارتفاع عنصر البوتاسيوم.

ويعد **تركز عنصر الزنك (Zn)** في التربة بنسب معتدلة مهما في عمليات التنمية الزراعية لكونه يعزز من قدرة النباتات على مقاومة الأمراض والآفات، إلا أن ارتفاع مستوياته يمكن أن تؤدي إلى سمية للنباتات، حيث يمكن أن يؤثر سلباً على نمو الجذور ويقلل من قدرة النباتات على امتصاص العناصر الغذائية

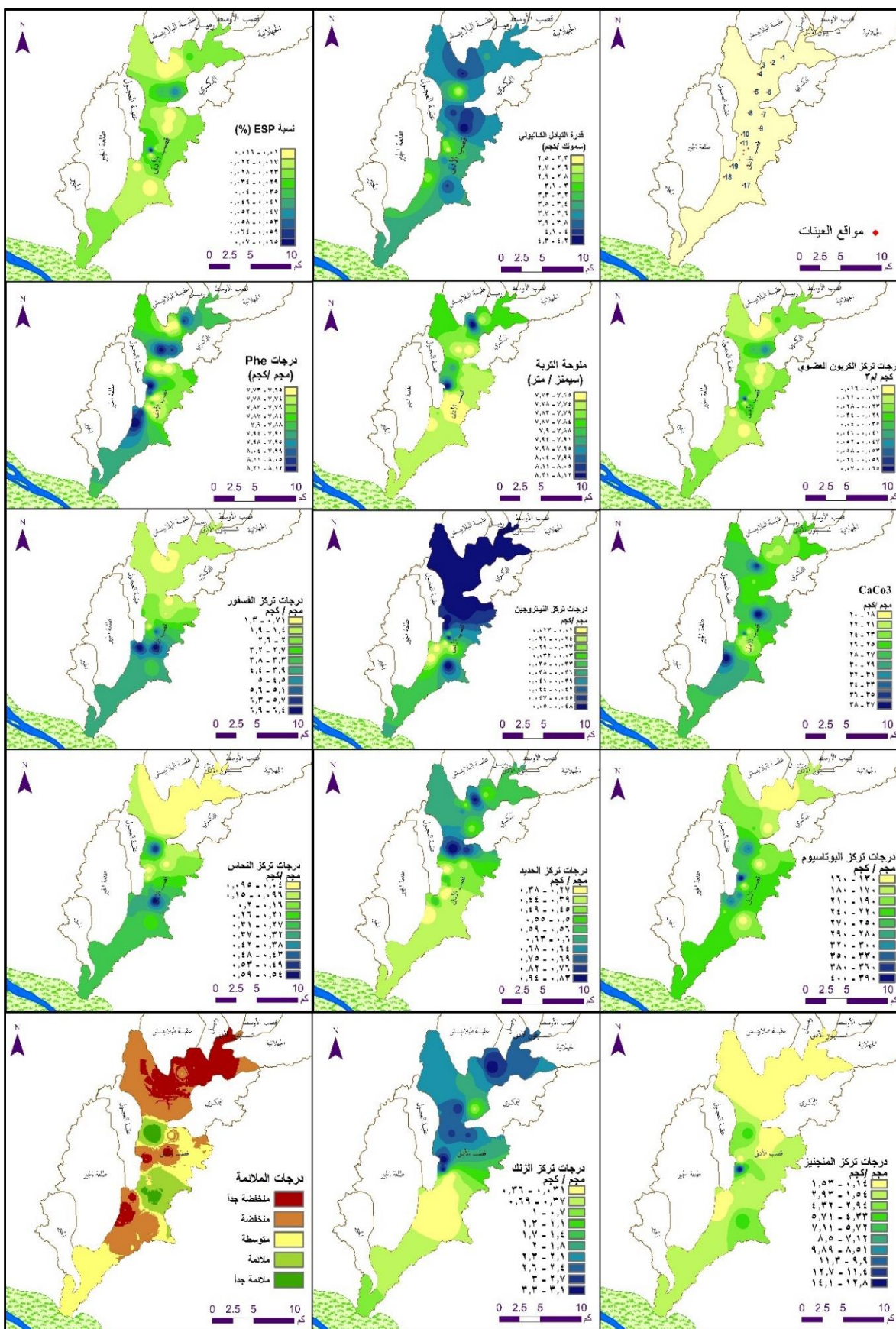
الأخرى، أما عن **عنصر المنجنيز (Mn)** فيعد المستوى المثالي له في التربة للزراعة عادةً بين ٢٠ إلى ٢٠٠ جزء في المليون (ppm)، وإذا زادت قيمته عن هذا الحد فإنه يؤثر سلباً على امتصاص العناصر الغذائية الأخرى مثل الحديد، ولنمذجة هذه العناصر لتحديد فئات الملائمة تم بناء النموذج التالي:



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcMap 10.5

شكل (٢٢) مخطط لتحديد درجات ملائمة التربة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لخصائصها الكيميائية

ومن خلال حساب درجات الملائمة المكانية للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً للخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة أمكن تحديد درجات الملائمة المكانية وفقاً لتلك الخصائص مجتمعة من خلال عملية التطابق الموزون **Weighted Overlay** فأسفرت نتائج التطابق عن أن النصيب الأكبر من مساحة الحوض لفئات التربة غير الملائمة والتي شغلت نحو ٢٧,٤١ كم^٢ (٢٦,٨٤٪) من مساحة الحوض، تلتها الأراضي ذات التربة قليلة الملائمة والتي شغلت ٧,٩٧ كم^٢ (٢٧,٥٪)، بينما شغلت الأراضي ذات التربة متوسطة الملائمة نحو ٩,١١ كم^٢ (٢٦,٠٢٪)، والأراضي ذات التربة الملائمة نحو ٤,٦٥ كم^٢ (٣,٠٧٪)، في حين شغلت الأراضي ذات التربة الملائمة جداً نحو ٢,٠٨ كم^٢ أي ما يعادل ١,٣٨٪ من مساحة الحوض، الأمر الذي يتطلب زيادة تحسين خصائص التربة من خلال الاستفادة من التربة الطميية المطمورة أسفل تكوين أرمنت على الجانب الشمالي لحوض الوادي، واتباع بعض الممارسات الزراعية التي تساعد على الاستدامة الزراعية بحوض الوادي كالتسميد العضوي الذي يسهم بدور فعال في تحسين جودة التربة وزيادة الإنتاج.



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على الجدول السابق.

شكل (٢٣) درجات ملائمة التربة للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً لخصائصها الكيميائية

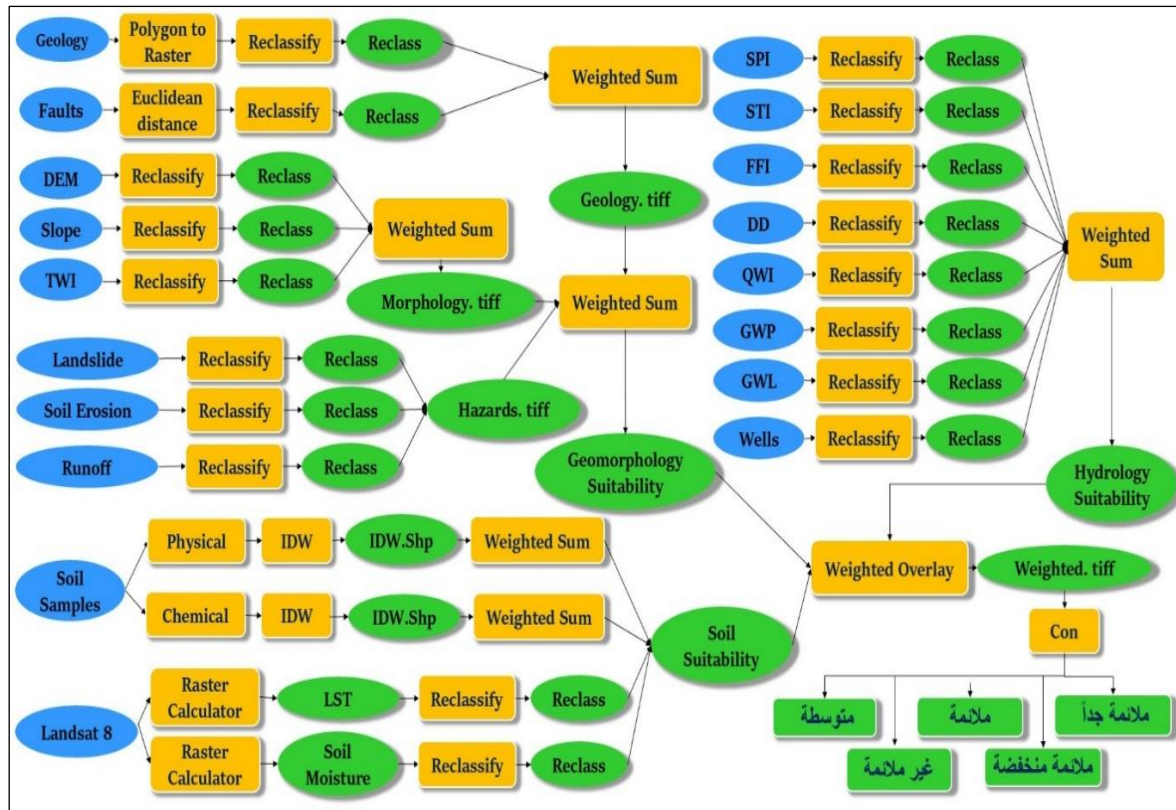
ثانياً : النمذجة المكانية والتحقق الميداني

لنمذجة كافة المعايير الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية السالف ذكرها تم بناء النموذج شكل (٢٤) في ضوء المصفوفة التالية، والتي تم ترتيب مجموعات المعايير فيها وفقاً للأهمية النسبية باستخدام برنامجي extAhp20 & ArcMAP10.5

جدول (١٣) مصفوفة المقارنات الزوجية والأوزان النسبية للمعايير الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية

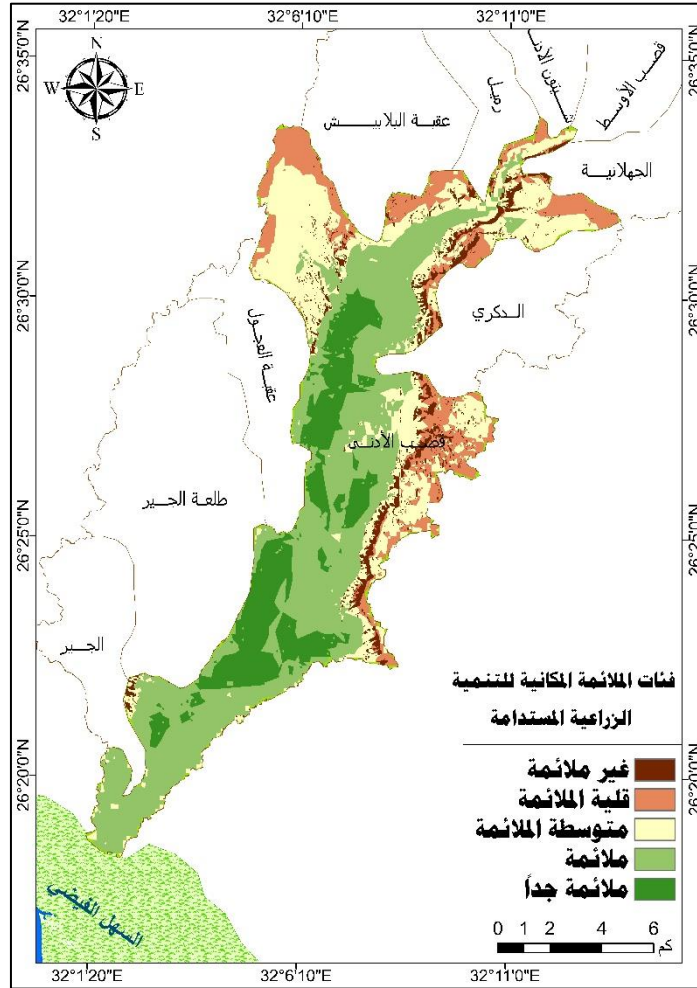
الأوزان النسبية	الهيدروجيومورفولوجية الأخطار	الخصائص الجيولوجية	الخصائص البيدولوجية	الخصائص التضاريسية	الخصائص الهيدروجولوجية	رقم المعامل	المعاملات
٤٢,٧١٨%	7	5	3	3	1	1	الخصائص الهيدروجولوجية
٢٧,٨٩٤%	7	5	3	1	.333	2	الخصائص التضاريسية
١٨,٢١٤%	7	5	1	.333	.333	3	الخصائص البيدولوجية
٨,٢١٤%	7	1	.2	.2	.2	4	الخصائص الجيولوجية
٢,٩٥٩%	1	.143	.143	.143	.143	5	الأخطار الهيدروجيومورفولوجية
١٠٠%							مجموع

المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على برنامج extAhp20



المصدر: من إعداد الباحث باستخدام برنامج ArcMap 10.5 شكل (٢٤) نموذج محاكاة لتحديد المواضع المثلى للتنمية الزراعية المستدامة بحوض وادي قصب الأدنى وفقاً للمعايير والمؤشرات الهيدروجيومورفولوجية والبيدولوجية

وتجدر الإشارة هنا أنه تم تقسيم فئات الملائمة إلى خمس فئات كما يوضحه الشكل (٢٥)، وقد أسفرت نتائج النمذجة للمعايير المختارة عن أن نحو ٥٤,٥٤٪ من أراضي الوادي تتراوح أراضيها بين الفئات الملائمة والملائمة جداً للتنمية الزراعية المستدامة وفقاً للمعايير الهيدرولوجية ومورفولوجية والبيدولوجية المختارة، وهذا ما يوضحه العرض الآتي:



المصدر: من إعداد الباحث اعتماداً على النموذج السابق

شكل (٢٥) فئات الملائمة المكانية للتنمية الزراعية المستدامة بحوض قصب الأدنى

١. أراضي ملائمة جداً للتنمية الزراعية المستدامة

تشغل هذه الفئة نحو ٢٣,٦٠٣ كم^٢ من أراضي الوادي أي ما يعادل ١٥,٦١٪ من مساحته الكلية وتوزعت في بطن الوادي في قسميه الأوسط والجنوبي، على الجانب الغربي للوادي فيما بين مروحتي واديي الجير وعقبة البلايش، حيث تتوزع رواسب قيعان الوادي الحصوية الجيرية والتكوينات الطينية المستخرجة من المدرجات الفيضية على الجانب الغربي للوادي، وهذه المواضع ارتفعت فيها إمكانيات تواجد المياه الجوفية وجودتها ودرجات ملائمة التربة وفقاً لخصائصها الفيزيائية والكيميائية، وقد أكدت نتائج التحقق الميداني صدق النتائج التي توصلت إليها نتائج النمذجة كما يوضحه الشكل (٢٦)، حيث يعتمد المزارعين في تلك المواضع على استخراج المياه الجوفية اعتماداً على محطات الطاقة الشمسية لري العديد

من المحاصيل كالقمح والبرسيم والخضروات، واستغلال أحواض التخزين في تربية الأسماك وسقي مواشهم .



تاريخ التصوير ٢٥ إبريل ٢٠٢٣ م

اتجاه الناظر: صوب الغرب

الموقع: بئر رقم ٥ بإحدى المزارع الواقعة بقاع الوادي في قطاعه الأدنى

إحداثيات الموقع: $32.07979=X$ $26.369512=Y$

شكل (٢٦) نموذج من التحقق الميداني للأراضي الملائمة جداً للتنمية الزراعية المستدامة بحوض وادي قصب الأدنى

٢. أراضي ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة

شغلت فئة الأراضي الملائمة نحو ٦٠,٣٩ كم^٢ من أراضي الوادي، وهو ما يوازي تقريباً ٣٩,٩٣٪ من مساحة الحوض، وتوزعت أراضي تلك الفئة في أجزائه الوسطى والدنيا والمدرجات والمراوح الفيضية

على جانبه من أقصى جنوب الوادي حتى وادي رميل والجهلانية، وأراضي هذه الفئة تمثلها معظم أراضي قاع الوادي الجيرية الحصوية التي تجهز للزراعة في الوقت الراهن من قبل المزارعين والمستثمرين من خلال ردمها بالطين المطمور أسفل المدرجات الفيضية على الجانب الغربي للوادي كما يوضحه الشكل (٢٧) بدءاً من مروحته الفيضية في الجنوب ومنبعه الأعلى عند التقائه بوادي قصب الأوسط وشيتون الأدنى في الشمال.



الإحداثيات: ٣٠.٥٧° شمالاً - ٣٢° ٤' شرقاً
الموقع: باطن وادي قصب الأدنى ناظراً صوب الغرب
تاريخ وتوقيت التصوير: ٢٠ إبريل ٢٠٢٣ م _ الساعة ٥:05 مساءً



الإحداثيات: ٧.٨٣° شمالاً - ٥٣.٠٥° شرقاً
الموقع: الجانب الأيسر للوادي قصب الأدنى ناظراً صوب الشرق
تاريخ وتوقيت التصوير: يوم ٢٥ إبريل ٢٠٢٣ م _ الساعة 10:45 صباحاً

شكل (٢٧) نموذج من التحقق الميداني للأراضي الملائمة للزراعة بحوض وادي قصب الأدنى

٣. فئات متوسطة الملائمة للتنمية الزراعية المستدامة.

شغلت أراضي هذه الفئة نحو ٩٨٣,٤٠ كم^٢ من أراضي الوادي، أي ما يوازي ٢٧,١٪ تقريباً من المساحة الكلية للوادي، وتمثلها التربات الجيرية الحصوية على هوامش الفئة السابقة، وهي تربة فقيرة تتوزع على جانبي الوادي على مناسيب مرتفعة تسود فيها زراعة المدرجات الزراعية من خلال قيام المزارعين بعمل حفر ذات أقطار ١ متر في المتوسط (شكل ٢٨-A) و ردم هذه الحفر بالطين المنقول وزراعتها بالنخيل والزيتون والأشجار المعمرة بمياه منقولة من الآبار الموزعة بقاع الوادي.

٤. فئات قليلة الملائمة للتنمية الزراعية المستدامة.

شغلت هذه الفئة نحو ١٥,٦٤ كم^٢ من أراضي الوادي، وهو ما يعادل (١٠,٣٤٪) من المساحة الكلية للوادي، وتمثلها المواضع التي تسودها التكوينات الجيرية المغطاة بتجمعات هائلة من العقد الصوانية

متباينة الأحجام والأقطار شكل (B-٢٨) ، ومجاري الأودية بعد نقاط التجديد و سطح الهضبة على جانبي الوادي إلا أن الأخيرة تصلح للزراعة إذا تم تسوية أسطحها وحمايتها من الأخطار الهيدرولوجية التي تتعرض لها في الوقت الراهن ، بالإضافة إلى سطح الهضبة الأقرب إلى الاستواء في بعض أجزائه مما غر العديد من الأهالي لتسويته تمهيداً لاستغلاله في زراعة الأشجار المعمرة بحوضي الجير وطلعة الجير إلا أن العديد منها باء بالفشل نظراً لصعوبة توفير المياه لهذه الأشجار، فلا يزال الوضع القائم فيها ما هو إلا وضع يد من قبل الأهالي على تلك الأراضي ليس إلا.

٥. فئات غير ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة.

تشغل هذه الفئة نحو ١٠,٦١ كم^٢ من أراضي الحوض (٠,٢٪)، وتمثلها المناطق المضرسة ذات الانحدارات الشديدة على جانبي الوادي، وتلك المواضع تتسم بتعرضها للعديد من الأخطار الهيدرولوجية التي سبق ذكرها.



الموقع: ٢٤,٩٤°٢٦'٢٢" شمالاً _ ١٧,٢٤°٣٢'١٥" شرقاً
تاريخ التصوير: ٢٥ إبريل ٢٠٢٣ م (3:15م)
اتجاه الناظر: صوب الجنوب الشرقي



الموقع: الجانب الشرقي لحوض قصب الأدنى
تاريخ التصوير: ١٧ إبريل ٢٠٢٣ م (10:23ص)
اتجاه الناظر صوب الشمال الغربي

شكل () نموذج من المواضع قليلة الملائمة وغير الملائمة للتنمية الزراعية المستدامة بحوض قصب الأدنى

٣- النتائج العامة والمقترحات

أولاً: النتائج

- ١- من خلال عملية التحليل البليومتري تبين تصدرت في الآونة الأخيرة قائمة الدول العربية في الدراسات الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية وأثرها على الزراعة والتنمية الزراعية المستدامة، كما احتلت المرتبة الخامسة عشر من حيث عدد الأوراق البحثية ذات الصلة بهذا الموضوع.
- ٢- أثر التكوين الجيولوجي لحوض وادي قصب بشكل كبير في نشأة تربة قيعان الأودية التي اشتقت من طبقة الأصل من هضبة المعازة الجيرية الإيوسينية بتكوينها طيبة ودرنكة.
- ٣- يعد حوض الوادي بوابة التنمية المستدامة في الفترة القادمة لا سيما الزراعة منها وبخاصة في قطاعيه الأوسط والأدنى نظراً لتوافر العديد من المقومات الفطرية التي تمثل الركيزة الرئيسية لعمليات التنمية، والتي أسفرت عنها الدراسة لعل من أبرزها أن ٩٧,٥٢٪ من مساحة الحوض مواضع خزن عالية للمياه الجوفية وإن كانت خصائص ٧٧,٨٣٪ من المساحات التي تشغلها متوسطة الملائمة، ٩٦,٤٪ ملائمة نظراً لانخفاض معدلات الأملاح المركزة بها.
- ٤- أثرت الخصائص الجيومورفولوجية والهيدولوجية والبيدولوجية للحوض وموضعه بدور كبير في عمليات خزن مياه الجريان السطحي مما زاد من إمكانية تواجد مياه جوفية به.
- ٥- تعد الحافة الهضبية الممتدة بين خط تقسيم مياه الحوض وحوض وادي عقبة العجول جنوباً وخط تقسيم الحوض وحوض شيتون الأدنى، والحافة الهضبية الشرقية لحوض وادي الجير أكثر المواضع عرضة للانهدامات الأرضية، تلتها الحافة الهضبية على الجانب الشرقي لحوض الوادي، ويعزي ذلك إلى كونها أشد المواضع انحداراً وكثافة صدعية.
- ٦- قدر حجم التربة المقتلعة بنحو ٠,٧٦ طن / كم^٢ / سنة، شكلت جوانب المنحدرات أكثر المواضع عرضة لفقد التربة بفعل التعرية المائية.
- ٧- أسفرت نتائج التحليل الكيميائي لعينات التربة أن تربة الوادي تربة فقيرة نسبياً، وقد فسرت ذلك نتائج النمذجة المكانية لخصائصها الفيزيائية والكيميائية، حيث شغلت المواضع غير الملائمة نحو ٨٤,٢٦٪ من مساحة الحوض مثلتها الأراضي الصخرية الجيرية والحصى التي تفتقر للعديد من الخصائص الفطرية والكيميائية الداعمة للتنمية الزراعية المستدامة والمعززة لها بينما شغلت الملائمة الأخرى نحو ١٥,٧٤٪ من مساحة الحوض وتركزت بوضوح في القطاع الأوسط من الحوض.
- ٨- أسفرت نمذجة المعايير الهيدروجيوميورفولوجية والبيدولوجية عن أن ٥٥,٥٤٪ من مساحة الحوض أراضيها ملائمة للتنمية الزراعية المستدامة تركزت في بطن الوادي حيث انبساط السطح ومكامن المياه الجوفية، وعلى المدرجات الفيضية بجانب الوادي حيث التربات الأكثر ملائمة نظراً لارتفاع قيم رطوبة

التربة وعمق التربة وارتفاع نسب الطمي والطين في نسيج التربة وانخفاض قيم الكثافة الظاهرية، وانخفاض قيم العناصر الكيميائية المؤثرة على الزراعة وارتفاع قيم العناصر المعززة لها.

ثانياً: التوصيات والمقترحات

- ١- ضرورة التخطيط الجيد لإدارة وصيانة تربة المنطقة وتحسين خصائصها، واختيار أنسب المحاصيل التي يمكن زراعتها بأراضي الحوض وفقاً لخصائصها الهيدروجيولوجية والبيولوجية.
- ٢- استخراج التربة الفيضية الطميية القابضة أسفل المدرجات النهرية على جانبي الوادي والتي تظهر بشكل واضح على جانبه الغربي، وتسوية قاع الوادي بها لاستغلالها في التنمية الزراعية المستدامة.
- ٣- ضرورة بناء ستة سدود تجميعية خمسة منها عند نهايات أحواض الدكري وطلعة الجير وعقبة العجول وعقبة البلايش ورميل للاستفادة بمياه الجريان السطحي في عمليات التنمية الزراعية المستدامة بالوادي وسادسهم والأكثر إلحاحاً في الوقت الراهن عند مروحة حوض وادي الجير لدرء أخطار الجريان السطحي التي تسببت في حدوث انهيارات صخرية لمنحدرات الهضبة تسببت في هدم وغرق أكثر من ١٠٠ منزل لسكان نجع مازن القابع فوق مروحة الوادي أثناء حدوث سيلبي ١٩٩٧، ١٩٩٤م، وتحويل السد الواقع عند المنطقة الخانقية بين وادي الجهلانية ورميل من سد خرساني يحول دون الوصول للمنابع العليا لوادي قصب وتنميتها مستقبلاً.
- ٤- ضرورة مد طريق سريع يصل بين طريق سوهاج الغردقة قنا وطريق القاهرة أسوان الصحراوي الشرقي مروراً بالوادي لفتح آفاق جديدة للتنمية الزراعية والعمرانية المستدامة به في المستقبل القريب.
- ٥- تطبيق نظام العمل الجماعي وتعزيز دور العقل الجمعي في اتخاذ القرارات التخطيطية المكانية من خلال إسهام ذوي الخبرة في التخصصات التطبيقية والمهتمة بالدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية والبيولوجية والبيدولوجية والهندسية والجغرافية بكافة تخصصاتها في فريق واحد لتحديد الملائمات المكانية واختيار المواقع المثلى للمشروعات التنموية على أسس أكثر دقة.
- ٦- في ظل التغيرات الطارئة على نظام التعليم الجامعي وما قبل الجامعي يمكن القول بضرورة المسارعة بفتح كليات للعلوم التطبيقية المكانية بالجامعات المصرية تضم أقسام وبرامج علمية تتساير مع متطلبات الدولة للتنمية المستدامة لا سيما في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية تركز في الأساس على النمذجة الجيومكانية والذكاء الاصطناعي المكاني، لتأهيل متخصصين في إدارة الكوارث والأزمات ذات الصلة بالأخطار الجيومورفولوجية وبناء قواعد بيانات لأغراض التخطيط المستدام وفقاً لطرق ودعم اتخاذ القرار المعتمدة.

المراجع والمصادر

أولاً: المراجع

أ_ المراجع باللغة العربية

- ١- توفيق, سحر نور الدين (٢٠٢١) النمذجة الديناميكية لتقدير انجراف التربة في المنطقة فيما بين رأس حولة ورأس علم الروم بالساحل الشمالي الغربي لمصر (دراسة في الجيومورفولوجيا التطبيقية) . مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، مج ١٣ ع ١ ، ص١٧٣٦_١٧٧٣.
- ٢- خطاب , محمد إبراهيم محمد خطاب ، سليم ،مها كمال (٢٠٢١) الخصائص الجيومورفولوجية وإمكانات التنمية الزراعية في حوض وادي القرن بالصحراء الشرقية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .المجلة الجغرافية العربية، العدد ٧٧.
- ٣- درويش, عز الدين جمعة و توفيق, جزا طالب (٢٠١١) تقويم حجم القدرة الحثية الريحية والمطرية لمنطقة خانقين (دراسة في العمليات الجيومورفولوجية)، مجلة ديالي، ص ١٠ _ ١٢.
- ٤- شربات، عطيه (٢٠١٣) التربة في منخفض الداخل دراسة جغرافية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد.قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة القاهرة، رسالة ماجستير غير منشورة.
- ٥- صالح, كريم مصلح، حجاب ،محمود أحمد(٢٠٠٨) التحليل المورفولوجي لمنحدرات جوانب وادي قصب(الصحراء الشرقية)، مجلة مركز البحوث الجغرافية والكارتوجرافية بجامعة المنوفية ، عدد ٢٠.
- ٦- عارف, محمد كامل (١٩٨٩) اللجنة العالمية للبيئة والتنمية (مستقبلنا المشترك). الكويت: سلسلة عالم المعرفة ، المجلس الوطني للثقافة .
- ٧- عماشه , صلاح معروف عبده(٢٠١٩) علم البيدوجرافية (جغرافية التربة)، الماهية ومناهج وأساليب الدراسة ومراحل التطور، القاهرة ، مكتبة جزيرة الورد.
- ٨- عيد, حمدي نبيه (٢٠٢٣) النمذجة الهيدروجيوميورفولوجية لتحديد مكامن المياه الجوفية بحوض وادي قصب باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي و نظم المعلومات الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية.

ب_ المراجع باللغة الأجنبية

1. **Aghazadeh, N. &. (2010):** Assessment of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural uses in the Oshnavieh area, Northwest of Iran. Journal of environmental protection, P1-30.
2. **Arnab Saha, M. P. (2018):** Assessment and Impact of Soil Moisture Index In Agricultural Drought Estimation Using Remote Sensing and GIS Techniques, . the 3rd International Electronic Conference on Water (15-30November).

3. **Atesmachew Bizuwerk, G. T. (2000):** Application of GIS for Modeling Soil loss rate in Awash River Basin, Ethiopia. International Livestock Research Institute (ILRI), 5.
4. **Baret, F, a., (1991):** Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, pp. PP.161–173.
5. **Belal, A.A, Mohamed E.S., Abu-Hashim, M.S.D. (2015):** Land Evaluation Based on GIS-Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) for Agricultural Development in Dry Wadi, Eastern Desert, International Journal of Soil Science
6. **B OLS, P. L. (1978):** The iso-erodent map of Java and Madura. Belgian. Soil Research, 39.
7. **Danielson, T. (2013):** Utilizing a High-Resolution Digital Elevation Model (DEM) to Develop a Stream Power Index (SPI) for the Gilmore Creek Watershed in Winona County, Minnesota. Minnesota. Volume 15, Papers in Resource, 5.
8. **Eriyana Yulistia, Fauziah, & Hermansyah. (2018):** Assessment of Ogan River Water Quality Kabupaten OKU SOUTH. Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry, 56.
9. **Fournier. F(1960):** Climate Erosion La relation enter le erosion du sol par l'eau et les perceptions Atmosphere, Ques, Paris. Paris: 201.
10. **Gelagay, S. H., & Minale, S. A. (2016):** Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case. International Soil and Water Conservation Research, 126-136.
11. **Getu, L. A., Nagy, A., & Addis, H. K. (2022):** Soil loss estimation and severity mapping using the RUSLE model and GIS in the Megech watershed, Ethiopia. Environmental Challenges, 1-11.
12. **Horton, R.E. (1956):** Erosional development of streams & their drainage, Geo.Soc. Ame, Bull, p56.
13. **Keshav Bhattarai, M. Y. (2020):** Influence of Topography on Sustainable Land Management: An Analysis of Socioeconomic and Eco demographic Conditions of Nepal. Agriculture, 20.
14. **Kotecha, M. J., Gaurav Tripathi, Singh, K. S., Shruti Kanga, Gowhar Meraj, Bhartendu Sajan, & r Rai, P. K. (2023):** GIS-Based Novel Ensemble MCDM-AHP Modeling for Flash Flood Susceptibility Mapping of Luni River Basin, Rajasthan. <https://www.researchgate.net/publication/371919043>, 289.
15. **Letminthang Baite, N. B. (2024):** Agricultural land suitability analysis in Manipur, India using GIS and AHP. Acta Universitatis Carolinae. Geographica. Univerzita Karlova.
16. **Meseret, W., & Habtamu, T. (2021):** RUSLE Model Based Annual Soil Loss Quantification for Soil Erosion Protection: A Case of Fincha Catchment, Ethiopia. Air, Soil and Water Research.

17. **Mohsen Farzin, M. A. (2021):** Assessment of Ensemble Models for Groundwater Potential Modeling and Prediction in a Karst Watershed. Water Journal.
18. **Nachtergaele, F. v. (2012):** Harmonized World Soil Database Version 2.1, IIASA, Luxemburg, Austria and FAO. Rome, Italy.
19. **Riley, S. J. (1999):** A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences.
20. **Strahler, A.N. (1968)** Quantitative geomorphology in Fair bridge, R.W. (eds), New York: The Encyclopedia of geomorphology, Reinhold Book Crop
21. **Storie, R. E (1954):** Land classification as used in California for the appraisal of land for taxation purposes. Trans. 5th Int. Cong. Soil Sci., 3p.407-420.
22. **Taddese, G. & Bizuwerk, Y. G. A. (2000)** Application of GIS for Modeling Soil loss rate in Awash River Basin, Ethiopia, International Livestock Research Institute (ILRI), p.5.
23. **Tew, K. H. (1999):** Production of Malaysian soil erodibility nomograph in relation to soil erosion issues. VT Soil Erosion Research and Consultancy.
24. **Velthuisen, F., van, H., Verelst, L., & Wiberg, D., Nachtergaele (2012)** Harmonized World Soil Database Version 2.1, IIASA, Luxemburg, Austria and FAO. Rome, Italy.
25. **Voženilek, S. P. (2015):** LANDSCAPE VISIBILITY ANALYSIS AND THEIR VISUALISATION. Dept. of Geoinformatics, Palacky University, Olomouc, Czech Republic, 3.
26. **Zaghlool, E. (2020):** Geochemical Modeling and Statistical Analysis for Groundwater Evolution Assessment in Wadi Qasab, Sohag, Eastern Desert, Egypt. Journal of Geoscience and Environment Protection.

ثانياً: المصادر.

- ١ - الخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠ ألف، إنتاج الهيئة العامة للمساحة.
- ٢ - الهيئة العامة للبتترول بالتعاون مع شركة CONCO، خريطة مصر الجيولوجية لوحة أسبوط مقياس ١ : ٥٠ ألف، القاهرة ١٩٨٨، ومتاح تحميلها على الرابط <https://bit.ly/3SL5GPz>
- ٣ - قواعد بيانات التربة العالمية Soil Grids على الرابط <https://bit.ly/4cjdzTu>
- ٤ - مدونة Arab Nubia Group Blog لتحميل نموذج DEM 30m على الرابط <https://bit.ly/4fGcs3a>
- ٥ - موقع Research Data والخاص بتحميل نماذج INSAR على الرابط <https://bit.ly/3Mip6HX>
- ٦ - موقع SRTM Data لتحميل (SRTM) Shuttle Radar Topography Mission على الرابط <https://bit.ly/4dYaKIO>
- ٧ - هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية على الرابط <https://earthexplorer.usgs.gov>
- ٨ - موقع FAO SOILS PORTAL على الرابط <https://bit.ly/3WE5djw>