

تقييم الحساسية للانهيّارات الأرضية في الساحل السوري باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

الدكتورة صونيا سرّكيس*

الدكتور إياد عباس**

لما معلا***

(تاريخ الإيداع 2 / 7 / 2015 . قُبل للنشر في 2 / 8 / 2015)

□ ملخّص □

إن الهدف الأساس من هذه الدراسة هو إنتاج خريطة الحساسية للانهيّارات الأرضية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في الساحل السوري. في المرحلة الأولى من الدراسة، 75% من مواقع الانهيّارات الأرضية (45 موقعاً من الانهيّارات الأرضية) استخدمت كعينات بيانية تدريبية والباقي استخدم (15 موقعاً من الانهيّارات الأرضية) كعينات بيانية للتحقيق. تم توظيف 14 طبقة من البيانات كعوامل شرطية لحدوث الانهيّارات الأرضية . هذه العوامل هي الميل، اتجاه الميل، الارتفاع، الانحناء الأفقي، الانحناء الرأسي، الانحناء المماسي، نسبة مساحة السطح (SAR)، الليثولوجيا، استخدام الأراضي، المسافات عن الفوالق، المسافات عن الأنهار، المسافات عن الطرق، دليل الرطوبة الطبوغرافي (TWI)، دليل قوة لتيار المائي (SPI).

باستخدام هذه العوامل الشرطية تم حساب دليل الحساسية للانهيّارات الأرضية. بعد ذلك، رسمت النتيجة في برنامج ArcGIS وحصلنا على خريطة الحساسية للانهيّارات الأرضية. تعتبر خريطة الحساسية الناتجة مفيدة في مجال تخطيط استخدامات الأراضي العامة.

الكلمات المفتاحية: خريطة الحساسية، الانهيّارات الأرضية، نظم المعلومات الجغرافية، الساحل السوري.

* أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة حلب - حلب - سورية

**مدرس - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

***مهندسة - قسم الهندسة الطبوغرافية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Assessment Sensitivity Of Landslides In The Syrian Coast Using Geographic Information Systems

Dr. Sonia Sarkis^{*}
Dr. Iyad Abbas^{**}
Lama Moualla^{***}

(Received 2 / 7 / 2015. Accepted 2 / 8 / 2015)

□ ABSTRACT □

The main goal of this study is to produce landslide sensitivity map using GIS at Syrian Coast area. At the first stage of the study, 75% of the landslides locations (45 landslide locations) are used as training dataset and the rest was used as (15 landslide locations) the validation dataset. Fourteen input data layers were employed as landslide conditioning factors in the landslide sensitivity mapping. These factors are slope degree, aspect, altitude, plan curvature, profile curvature, tangential curvature, surface area ratio (SAR), lithology, land use, distance from faults, distance from rivers, distance from roads, topographic wetness index (TWI) and stream power index (SPI).

Using these conditioning factors, landslide sensitivity index was calculated. Subsequently, the result was plotted in ArcGIS and landslide sensitivity map was obtained. The produced sensitivity map is useful for general land-use planning.

Key words: sensitivity map, landslides, GIS, Syrian Coast.

^{*} Associate Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Aleppo University, Aleppo, Syria.

^{**} Assistant Professor, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{***} Engineer, Department of Topographic Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

تعرف الانهيارات الأرضية بأنها عملية جيولوجية تحدث في الأجزاء المكونة للمنحدرات بغض النظر عن كونها تربة أو صخور، حيث يفصل جزء كبير من التربة أو الصخور عن القسم الرئيسي، ويتحرك بعيداً عنه متى توافرت العوامل المسببة لذلك، وهي إما أن تتخذ الشكل الفجائي بدون مؤشرات، أو على فترات طويلة بمعدلات ثابتة. تحدث الانهيارات الأرضية نتيجة لواحد أو أكثر من الأسباب التالية:

1. ضعف في التركيب البنيوي للصخور أو التربة؛
2. التغييرات في منسوب المياه الجوفية؛
3. تغييرات في جريان المياه السطحية؛
4. الأحمال الثقيلة على المنحدرات؛
5. تشبع منطقة الانهيار بالماء (بسبب تساقط الأمطار بغزارة، ضراوة الفيضانات، الخ ..)؛
6. الاهتزازات بفعل الزلازل أو البراكين أو عمليات التفجير؛
7. أعمال التقليب أو التعدين فضلاً عن الاستثمارات الإنشائية؛
8. الجاذبية الأرضية وعامل الانحدار.

تؤدي الانهيارات الأرضية إلى عواقب كارثية على النشاط البشري، وأثار مدمرة للممتلكات والبنى التحتية والخدمات تقدر بملايين الدولارات، كما تؤدي إلى سقوط آلاف الضحايا عندما تجتاح مساكنهم وأماكن أعمالهم أطنان من الطين أو الصخور المنهارة، وهم آمنون يمارسون حياتهم وأعمالهم المعتادة.

أهمية البحث وأهدافه

تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية في البحث من أجل الحصول على خريطة الحساسية للانهايات الأرضية في الساحل السوري ليتم اعتمادها من قبل الدوائر المحلية والبلديات بهدف التعرف على مناطق الخطر في إقليم الساحل مما يساعد على تحديد الحلول الممكنة، وتجنب الوقوع في مخاطر محتملة وذلك من خلال:

1. تقييم الحساسية للانهايات الأرضية في منطقة الدراسة (حوض الساحل)؛
2. تحديد المناطق الأكثر عرضة للانهايات الأرضية؛
3. تقديم تحليل مكاني للعوامل والظروف التي يمكن بموجبها حدوث الانهايات الأرضية ضمن بيئة

نظم المعلومات الجغرافية.

ويعتبر البحث ذو أهمية علمية وإدارية عالية لأسباب عديدة منها:

1. حاجة جميع مؤسسات الدولة وفعاليتها لمعرفة المناطق ذات الحساسية (المعرضة لمخاطر تضعفها)؛
2. ضرورة وجود الوعي والإدراك لدرجة الخطر والتأثيرات الناجمة عنها على الإنسان والطبيعة؛
3. ارتكاز مجال دراسة الأثر البيئي على البحث كأساس هام.

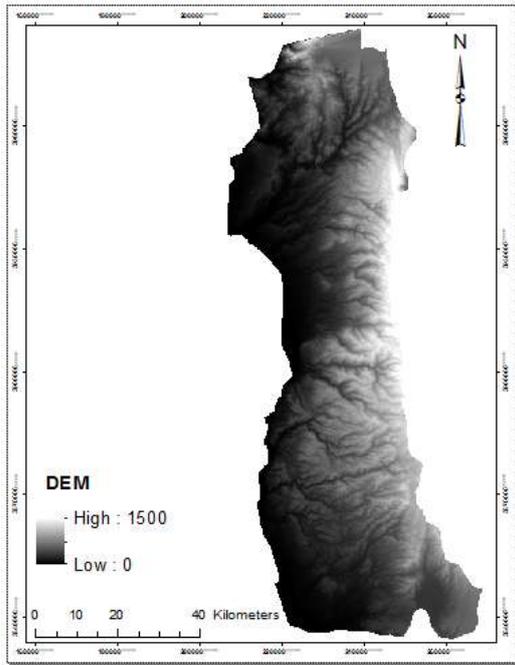
طرائق البحث ومواده

تم تطبيقهذه الدراسة على امتداد الساحل السوري الذي يشمل اليوم محافظتين رئيسيتين هما اللاذقية وطرطوس (اللاذقية ذات الإحداثيات الجغرافية: 35°31'40" N ، 35°47'21" E، وطرطوس: 34°53'20" N ، 35°53'11" E)

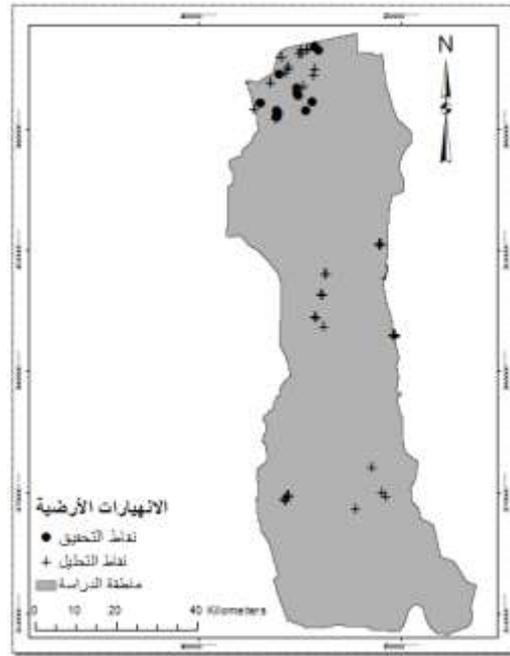
بطول يصل حتى 180 كلم، وبمساحة إجمالية تبلغ 4377 كيلومتراً مربعاً خلال فترة زمنية مدتها تسعة أشهر وعلى أرض المنطقة الساحلية نفسها.

اعتمدنا في البحث على أربعة عشر عاملاً شرطياً، وقمنا بتحليل العلاقة إحصائياً فيما بينها وبين مجموعة مختارة عشوائياً من الانهدامات الأرضية الموجودة في المنطقة الساحلية (45 موقعاً)، الشكل (1)، وذلك باستخدام برنامج ARCGIS 10.2 وبالاعتماد على طبقة نموذج الارتفاع الرقمي DEM الموضحة في الشكل (2)، ثم جمعنا الطبقات الأخيرة الناتجة عن التحليلات حسب المعادلة (1)، وأعدنا تصنيفها لإنتاج خريطة درجات الحساسية للانهدامات الأرضية [3].

حيث: **LSI** - دليل الحساسية للانهدامات الأرضية. **fr** - نسبة التكرار المحسوبة لكل صنف من كل عامل بتقسيم نسبتين وهما نسبة عدد البيكسلات التي تشغل كل صنف من العدد الكلي للبيكسلات على نسبة عدد نقاط الانهدامات الأرضية ضمن الصنف نفسهم العدد الكلي للانهدامات. **i** - رقم أحد العوامل ويأخذ القيم من 1 إلى 14.



الشكل (2) نموذج الارتفاع الرقمي في منطقة الدراسة



الشكل (1) مواقع الانهدامات الأرضية في منطقة الدراسة

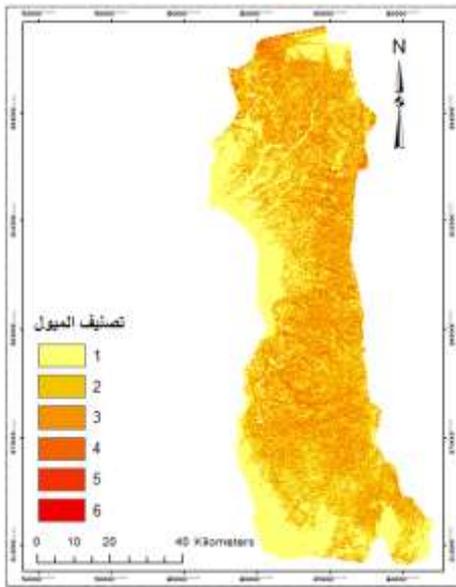
العوامل الشرطية المدروسة هي:

(1) . الميل (الانحدار) (Slope): يعتبر العامل الأهم في تحليل استقرار المنحدرات بسبب ارتباطه المباشر بالانهيارات، واستخدامه المتكرر في إعداد خرائط الحساسية لها؛ اعتباراً من النموذج الارتفاعي الرقمي DEM لمنطقة الدراسة الشكل (2). في الشكل (3) والجدولين (1) و(2) موضحة طبقة الميول بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (1) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل الميل

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	265578	0.322805	6	0.133333	0.413046
1	2	298270	0.362542	21	0.466667	1.287207
2	3	230958	0.280726	16	0.355556	1.266558
3	4	270198	0.032842	2	0.044444	1.353279
4	5	5320	0.000647	0	0	0
5	6	3609	0.000439	0	0	0

حيث - Count حقل في البرنامج يبين عدد البيكسلات ضمن الصنف الواحد.
PIX_RAT حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا من خلاله نسبة عدد البيكسلات للصنف إلى العدد الكلي للبيكسلات.
NUM_PO حقل تمت إضافته من النوع "short integer" حددنا من خلاله عدد نقاط الانهيارات الأرضية الموجودة ضمن الصنف الواحد.
PO_RAT حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا من خلاله نسبة عدد نقاط الانهيارات الأرضية ضمن الصنف الواحد إلى العدد الكلي للانتهيارات (عددها 45 نقطة).
FIN_RATIO حقل تمت إضافته من النوع "double" حسبنا من خلاله نسبة التكرار وهي ناتج قسمة PO_RAT على PIX_RAT.



الشكل (3) طبقة الميول في منطقة الدراسة

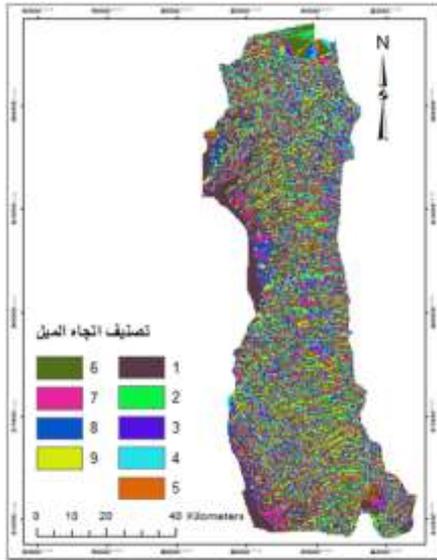
الجدول (2) توضيح أصناف الميول

رقم الصنف	الميل بالدرجات
1	0 _ 5
2	6 _ 15
3	16 _ 30
4	31 _ 50
5	51 _ 70
6	> 70

(2) . اتجاه الميل (Aspect): تؤثر بعض الأرصاد الجوية على استقرار الميل كاتجاه الهطول المطري، ومقدار السطوح الشمسي، والبناء الجيومورفولوجي للمنطقة. فسطوح التلال التي تستقبل هطول مطري كثيف تصل إلى حد الإشباع بشكل أسرع، بالنتيجة يزداد ضغط المياه التي تتخلل بنية المنحدر. في الشكل (3) و(4) موضحة طبقة اتجاه الميل بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (3) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل اتجاه الميل

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	939538	0.114199	2	0.044444	0.389184
1	2	814519	0.099003	4	0.088889	0.897839
2	3	563974	0.06855	0	0	0
3	4	485870	0.059057	0	0	0
4	5	747138	0.090813	4	0.088889	0.978811
5	6	110884	0.134778	2	0.044444	0.32976
6	7	126356	0.153584	17	0.377778	2.459747
7	8	122498	0.148894	8	0.177778	1.193987
8	9	107876	0.131122	8	0.177778	1.355823



الشكل (4) طبقة اتجاه الميل في منطقة الدراسة

الجدول (4) توضيح أصناف الارتفاعات

رقم الصنف	اتجاه الميل
1	منبسط
2	شمالي
3	شمالي شرقي
4	شرقي
5	جنوبي شرقي
6	جنوبي
7	جنوبي غربي
8	غربي
9	شمالي غربي

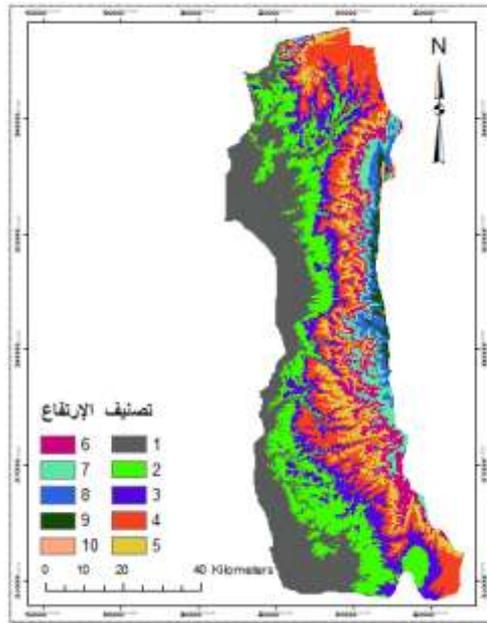
(3) . الارتفاع (Altitude): عامل شرطي هام تتحكم به عدة عمليات جيولوجية وحيومورفولوجية، تم استخدام الارتفاع كأحد المتحولات المدخلة في إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية. في الشكل (5) والجدولين (5) و(6) موضحة طبقة الارتفاع بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (5) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل الارتفاع

rec_dem_la						
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	214322	0.260505	5	0.111111	0.426521
1	2	1611177	0.195835	19	0.422222	2.156005
2	3	115826	0.140785	0	0	0
3	4	124508	0.151337	8	0.177778	1.174713
4	5	721210	0.087662	2	0.044444	0.507
5	6	602596	0.073244	3	0.066667	0.910195
6	7	397910	0.048365	2	0.044444	0.918935
7	8	231305	0.028115	5	0.111111	3.952069
8	9	104731	0.01273	0	0	0
9	10	11691	0.001421	1	0.022222	15.638238

الجدول (6) توضيح أصناف الارتفاعات

الارتفاع (م)	رقم الصنف
0 _ 150	1
150 _ 300	2
300 _ 450	3
450 _ 600	4
600 _ 750	5
750 _ 900	6
900 _ 1050	7
1050 _ 1200	8
1200 _ 1350	9
1350 _ 1500	10

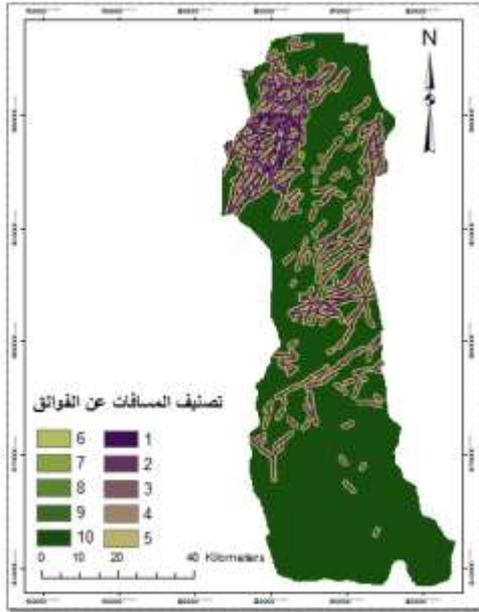


الشكل (5) طبقة الارتفاعات في منطقة الدراسة

(4) . المسافة عن الفوالق (Distance from faults): الفوالق هي خطوط أو مناطق ضعف متمثلة بصخور شديدة التكسر، وكنتيجة لعمليات تآكل انتقائية، ولحركة انتقائية للمياه على طول مستويات الفوالق، يبدأ احتمال التعرض لحدوث الانهيارات الأرضية. في الشكل (6) والجدولين (7) و(8) موضحة طبقة المسافات عن الفوالق بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (7) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل المسافة عن الفوالق

ext_rec_fal						
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	479630	0.034145	3	0.066667	1.952466
1	2	412363	0.02949	4	0.088889	3.014236
2	3	366508	0.026375	2	0.044444	1.685124
3	4	350921	0.025388	5	0.111111	4.376472
4	5	314459	0.02294	0	0	0
5	6	265869	0.019583	2	0.044444	2.269508
6	7	250955	0.018667	0	0	0
7	8	225685	0.016968	0	0	0
8	9	202641	0.015405	4	0.088889	5.770259
9	10	533767	0.791039	25	0.555556	0.702311



الشكل (6) طبقة المسافات عن الفواثق

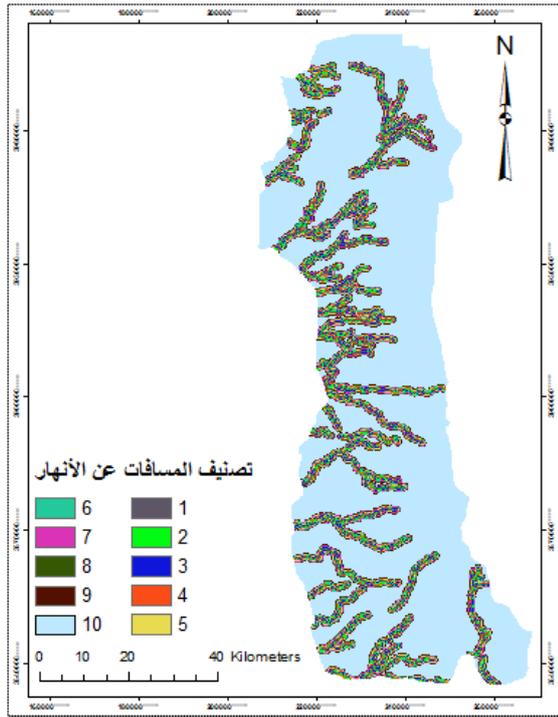
الجدول (8) توضيح أصناف المسافات عن الفواثق

رقم الصنف	المسافات عن الفواثق (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 31540.4

(5) . المسافة عن الأنهار (Distance from rivers): تعتبر درجة الإشباع في منطقة ذات ميل معين أحد العوامل الهامة التي تتحكم باستقرار الميل فيها، كما يعتبر قرب المنحدر إلى شبكات الصرف عاملاً هاماً إضافياً. قد تؤثر الأنهار بشكل سلبي على استقرار المنحدرات من خلال تأكلها أو بإشباع المنطقة الدنيا من المنحدر مما يؤدي إلى ارتفاع مستوى المياه. في الشكل (7) والجدولين (9) و(10) موضحة طبقة المسافات عن الأنهار بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (9) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل المسافة عن الأنهار

ext_rec_riv							
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO	
0	1	314637	0.038339	0	0	0	
1	2	261721	0.031891	2	0.044444	1.393631	
2	3	249157	0.03036	1	0.022222	0.731953	
3	4	254447	0.031005	3	0.066667	2.150208	
4	5	248154	0.030238	0	0	0	
5	6	231023	0.028151	2	0.044444	1.578815	
6	7	235679	0.028718	3	0.066667	2.321437	
7	8	227090	0.027671	1	0.022222	0.803079	
8	9	216561	0.026388	1	0.022222	0.842124	
9	10	596823	0.727239	32	0.711111	0.977823	



الشكل (7) طبقة المسافات عن الأنهار

الجدول (10) توضيح أصناف المسافات عن الأنهار

رقم الصنف	المسافات عن الأنهار (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 33586.9

(6) . المسافة عن الطرق (Distance from roads): بشكل مشابه لتأثير المسافة عن الأنهار من

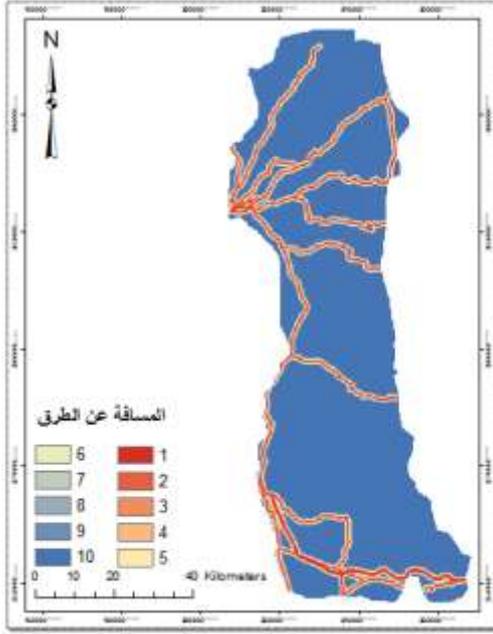
الممكن حدوث الانهيارات الأرضية على الطريق أو على جوانب المنحدرات قرب الطريق. الطريق المبني بجانب المنحدرات يؤدي إلى تغير في طبوغرافية المنحدر وإلى تناقص الحمل على سفحه. بالنتيجة يزداد الإجهاد على الجزء الخلفي من المنحدر وتنشط بعض الصدوع المتوترة Tension cracks. في الشكل (8) والجدولين (11) و(12) موضحة طبقة المسافات عن الطرق بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (11) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل المسافة عن الطرق

ext_rec_rd							
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO	
0	1	243642	0.029688	0	0	0	
1	2	186461	0.022721	1	0.022222	0.978067	
2	3	177482	0.021626	2	0.044444	2.055096	
3	4	177943	0.021683	2	0.044444	2.049772	
4	5	172557	0.021026	0	0	0	
5	6	158844	0.019355	2	0.044444	2.296231	
6	7	160263	0.019528	1	0.022222	1.13795	
7	8	153809	0.018742	1	0.022222	1.1857	
8	9	144456	0.017602	0	0	0	
9	10	663125	0.808028	36	0.8	0.990065	

الجدول (12) توضيح الأصناف للمسافات عن الطرق

رقم الصنف	المسافات عن الطرق (م)
1	0 _ 100
2	100 _ 200
3	200 _ 300
4	300 _ 400
5	400 _ 500
6	500 _ 600
7	600 _ 700
8	700 _ 800
9	800 _ 900
10	900 _ 26796.9



الشكل (8) طبقة المسافات عن الطرق

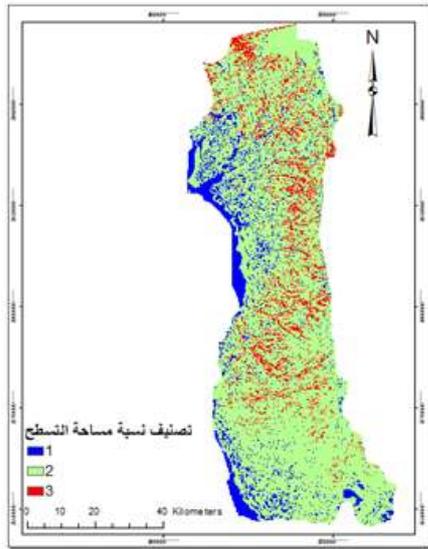
(7) نسبة تسطح المنطقة (SAR Surface Area Ratio): يعتبر هذا العامل مفيداً في قياس خشونة الطبوغرافية لسطح الأرض والتوائه. القيم المساوية لـ 1 تدل على نعومة السطح بينما القيم الأكبر من 1 تدل على خشونته، أما القيم الأكبر من 1.1 فتدل على خشونة عالية. ويمكن حساب نسبة مساحة السطح في أي منطقة من سطح الأرض بتقسيم مساحة السطح في هذه المنطقة S على المساحة البلانيمترية A_S بالعلاقة (2) [2]:

$$SAR = S/A_S \quad (2)$$

في الشكل (9) والجدولين (13) و(14) موضحة طبقة نسبة تسطح المنطقة بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (13) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل نسبة تسطح المنطقة

rec_sar							
	Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
▶	0	1	936765	0.114139	2	0.044444	0.389389
	1	2	646348	0.787536	40	0.888889	1.128696
	2	3	806971	0.098324	3	0.066667	0.678027



الجدول (14) توضيح أصناف نسبة مساحة التسطح

رقم الصنف	نسبة مساحة التسطح
1	1
2	1 _ 1.1
3	> 1.1

الشكل (9) طبقة نسبة مساحة التسطح

(8) دليل الرطوبة الطبوغرافي (TWI Topographic Wettness Index): يشير إلى التوزع المكاني لرطوبة التربة وسطح الإشباع، وله الأهمية في وصف التشابه الهيدرولوجي للمنطقة المعرضة للانهايار عن طريق تحديد مقدار تحكم طبوغرافية هذه المنطقة في العملية الهيدرولوجية. يحسب الدليل من المعادلة (3) [1]:

$$TWI = \ln \left(\frac{A_s}{\tan \beta} \right) \quad (3)$$

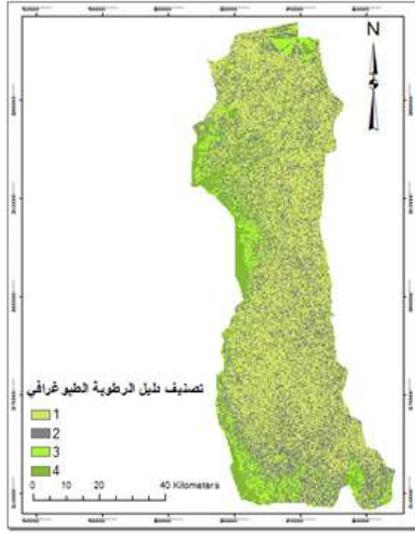
حيث A_s - هي مساحة منطقة الحوض وتقدر بـ m^2/m .

β - هي الميل المقدر بالدرجات.

في الشكل (10) والجدولين (15) و (16) موضحة طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (15) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل دليل الرطوبة الطبوغرافي

rec_twi1							
	Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
▶	0	1	352823	0.42885	25	0.555556	1.295454
	1	2	266868	0.324374	15	0.333333	1.027621
	2	3	128291	0.155936	5	0.111111	0.712544
	3	4	747361	0.09084	0	0	0



الشكل (10) طبقة دليل الرطوبة الطبوغرافي

الجدول (16) توضيح أصناف دليل الرطوبة الطبوغرافي

رقم الصنف	دليل الرطوبة الطبوغرافي
1	0.758 _ 6.256
2	6.256 _ 8.736
3	8.736 _ 12.078
4	12.078 _ 28.248

(9) دليل قوة التيار المائي (SPI Stream Power Index) : هو قياس قوة تدفق المياه استناداً إلى الافتراض بأن تدفق الصرف متناسب مع مساحة حوض محدد. كلما زادت مساحة حوض المنطقة وزاد ميلها فإن كمية وسرعة المياه التي تساهم في المناطق المائلة للأعلى تزداد وكذلك سرعة تدفق المياه تزداد بالتالي فإن قيمة SPI تزداد وخطر تآكل المنحدر يزداد، بحسب الدليل من المعادلة (4)[1]:

$$SPI = A_s * \tan\beta \quad (4)$$

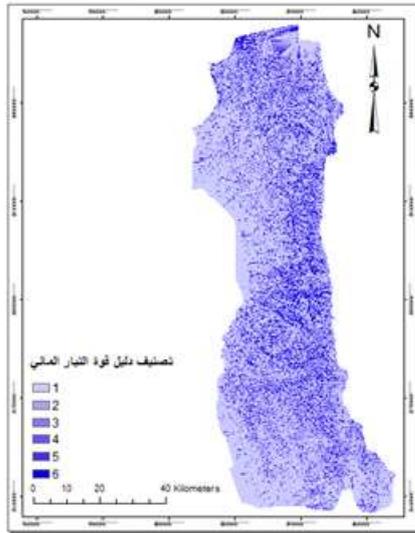
حيث A_s - هي مساحة منطقة الحوض وتقدر بـ m^2/m .

β - هي الميل المقدر بالدرجات.

في الشكل (11) والجدولين (17) و(18) موضحة طبقة دليل قوة التيار المائي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف.

الجدول (17) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل دليل قوة التيار المائي

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	457904	0.556574	23	0.511111	0.918316
1	2	134657	0.163674	11	0.244444	1.493487
2	3	678454	0.082465	4	0.088889	1.077901
3	4	393310	0.047806	1	0.022222	0.464841
4	5	247278	0.030056	0	0	0
5	6	982532	0.119425	6	0.133333	1.116462



الجدول (18) توضيح أصناف دليل قوة التيار المائي

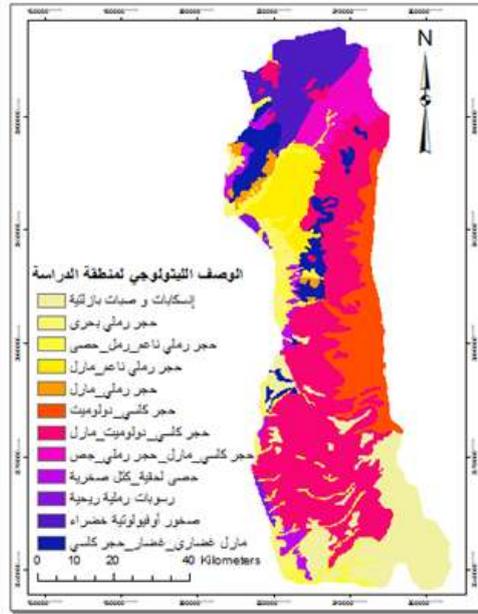
رقم الصنف	دليل قوة التيار المائي
1	0 _ 2362.816
2	2362.816 _ 16539.712
3	16539.712 _ 56707.582
4	56707.582 _ 144131.772
5	144131.772 _ 297714.807
6	297714.807 _ 602518.063

الشكل (11) طبقة دليل قوة التيار المائي

10). الليثولوجيا (Lithology): تعرف الليثولوجيا بأنها مصطلح يشير إلى العلم الذي يدرس الخصائص الفيزيائية للصخور. كثيراً ما تتحكم الخصائص الليثولوجية لسطح الأرض بالانهيارات الأرضية، حيث أنه لكل وصف ليثولوجي قيمة مختلقة لقابلية حدوث الانهيارات الأرضية، وتمتلك هذه القيم أهمية كبيرة جداً من أجل التزود بالبيانات اللازمة لإنتاج خرائط الحساسية. في الشكل (12) والجدولين (19) و(20) موضحة طبقة الوصف الليثولوجي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (19) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل الليثولوجيا

lithology							
Rowid	VALUE *	COUNT	الوصف_اللي	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	695904	صخور أوفولوتية خضراء	0.086079	13	0.288889	3.356094
1	2	414954	حجر كلسي_مارل_حجر رملي_جص	0.051327	0	0	0
2	3	449809	حجر رملي ناعم_رملي_حصى	0.055639	3	0.066667	1.198211
3	4	293772	حجر كلسي_دولوميت_مارل	0.363378	16	0.355556	0.978473
4	5	455330	مارل خضاري_خضار_حجر كلسي	0.056321	5	0.111111	1.972804
5	6	218107	حصى لحيقة_كثك صخرية	0.026978	0	0	0
6	7	453947	حجر رملي ناعم_مارل	0.05615	0	0	0
7	8	96221	حجر رملي_مارل	0.011902	0	0	0
8	9	822681	حجر كلسي_دولوميت	0.10176	6	0.133333	1.310267
9	10	279207	حجر رملي بحري	0.034536	0	0	0
10	11	59299	رسوبات رملية رحيبة	0.007335	0	0	0
11	12	120130	إسكابات و صهبات بازلتية	0.148594	2	0.044444	0.299101



الجدول (20) توضيح الأصناف الليتولوجية

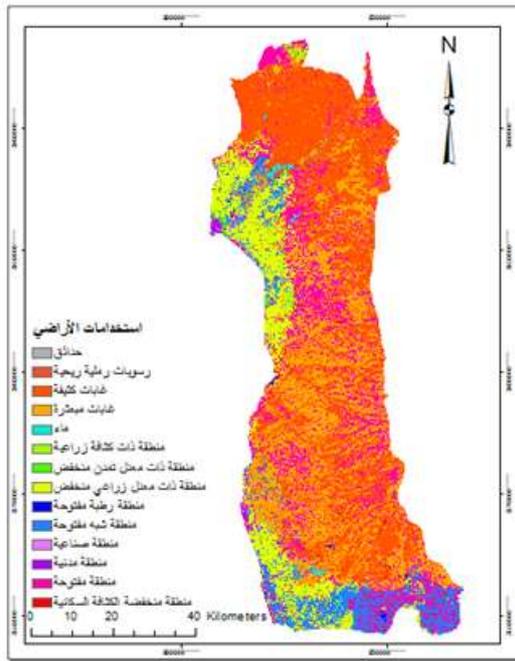
رقم الصنف	الوصف الليتولوجي لمنطقة الدراسة
1	صخور أوليغينية خضراء
2	حجر كلسي-مارل-حجر رملي-حصص
3	حجر رملي ناعم-رمل-حصص
4	حجر كلسي-نولوميت-مارل
5	مارل-غضاري-غضار-حجر كلسي
6	حصص لثقية-كث-صخرية
7	حجر رملي ناعم-مارل
8	حجر رملي-مارل
9	حجر كلسي-نولوميت
10	حجر رملي بحري
11	رسوبات رملية ريفية
12	الساكنات وصبات بازلتية

الشكل (12) طبقة الوصف الليتولوجي لمنطقة الدراسة

11). استخدام الأرض (Land Use): أكد عدد كبير من الدراسين على أهمية تأثير هذا العامل على الانهيارات الأرضية، يوجد في منطقة الدراسة أربعة عشر نوعاً مختلفاً لاستخدامات الغطاء الأرضي تمت دراسة العلاقة المكانية بينها وبين الانهيارات الأرضية. في الشكل (13) والجدولين (21) و(22) موضحة طبقة استخدامات الأراضي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (21) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل استخدامات الأراضي

Rowid	VALUE *	COUNT	FEATURE	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	627420	SEMI_OPEN_AREA	0.078887	2	0.044444	0.563391
1	2	941490	LOW_PLANTATION	0.118376	0	0	0
2	3	209727	SPARSE_FOREST	0.263697	18	0.4	1.516895
3	4	28466	HIGH_PLANTATION	0.003579	1	0.022222	6.208857
4	5	147904	OPEN_AREA	0.185964	6	0.133333	0.716983
5	6	53668	LOW_RESIDENTIAL	0.006748	0	0	0
6	7	263292	DENSE_FOREST	0.331045	18	0.4	1.208294
7	8	34138	WATER	0.004292	0	0	0
8	9	15713	INDUSTRIAL_AREA	0.001976	0	0	0
9	10	15047	HIGH_RESIDENTIAL	0.001892	0	0	0
10	11	496	OPEN_WET_AREA	0.000062	0	0	0
11	12	11813	LOW_URBAN	0.001485	0	0	0
12	13	395	PARK	0.00005	0	0	0
13	14	15477	URBAN	0.001946	0	0	0



الجدول (22) توضيح الأصناف لاستخدامات الأراضي

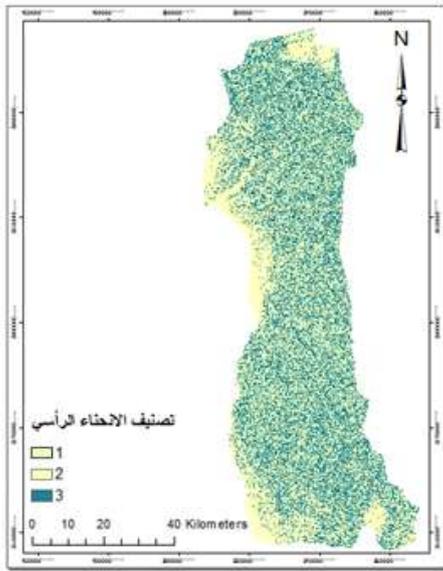
رقم الصنف	استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة
1	منطقة شبه مفتوحة
2	منطقة معدل زراعي منخفض
3	غابات مبعثرة
4	منطقة ذات كثافة زراعية
5	منطقة مفتوحة
6	منطقة منخفضة الكثافة السكانية
7	غابات كثيفة
8	ماء
9	منطقة صناعية
10	منطقة مبللة مفتوحة
11	رسوبات رملية ريحية
12	منطقة معدل تمدن منخفض
13	حداائق
14	منطقة مدنية

الشكل (13) طبقة استخدامات الأراضي في منطقة الدراسة

(12). الانحناء الرأسي (Profile Curvature): هو مقدار الانحناء الموازي لاتجاه الميل الأعظم، ويشير إلى الانحناء الرأسي حيث يتم حساب مقدار الانحناء بشكل مباشر أسفل المنحدر، يشرح هذا العامل كيفية تأثير حركة السوائل أسفل سفوح التلال، فقد تتسارع أو تتباطأ استناداً إلى تقعر المنحدر أو تحدبه أو كونه منبسطة نسبياً. تتراوح القيم لهذا العامل من الموجب إلى السالب، حيث تمثل القيم الموجبة البيكسلات المقعرة، وتمثل القيم السالبة البيكسلات المدببة، بينما تمثل القيم القريبة من الصفر تسطح الأرض [3]. في الشكل (14) والجدولين (23) و(24) موضحة طبقة الانحناء الرأسي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف.

الجدول (23) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل الانحناء الرأسي

rec_cu_pr							
	Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
▶	0	1	337824	0.411618	25	0.555556	1.349688
	1	2	162848	0.19842	3	0.066667	0.335987
	2	3	320050	0.389962	17	0.377778	0.968756



الجدول (24) توضيح أصناف الانحناء الرأسي (100/m)

الانحناء الرأسي	رقم الصنف
-59.384 _ -0.001	1
-0.001 _ 0.001	2
0.001 _ 13.668	3

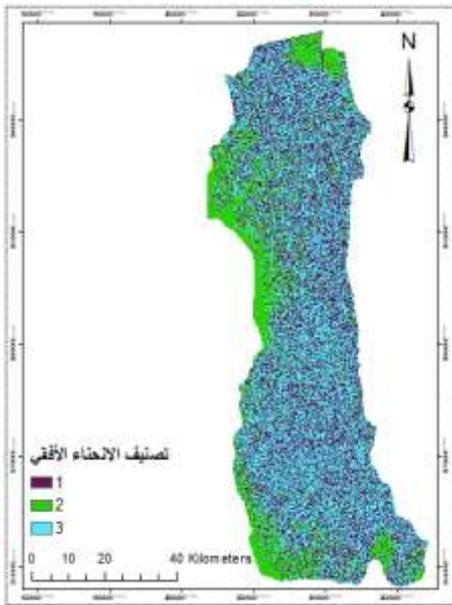
الشكل (14) طبقة الانحناء الرأسي profile curvature

13). الانحناء الأفقي (Plan Curvature): هو مقدار الانحناء المتعاقد مع اتجاه الميل الأعظم. ويشير إلى

الانحناء الأفقي حيث يتم حساب مقدار انحناء المنحدر بشكل عرضي نسبة لخطوط التسوية. يشرح هذا العامل كيفية تقارب أو تباعد السوائل بينما تتحرك أسفل المنحدر، تتراوح القيم لهذا العامل من الموجب إلى السالب، حيث تمثل القيم الموجبة البيكسلات المحدبة، والقيم السالبة تمثل البيكسلات المقعرة، والقيم القريبة من الصفر تمثل تسطح الأرض [3]. في الشكل (15) والجدولين (25) و (26) موضحة طبقة الانحناء الأفقي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف منها.

الجدول (25) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل

الانحناء الأفقي



rec_cu_pl

Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	PO_RAT	FIN_RATIO
0	1	303052	0.36925	15	0.333333	0.90273
1	2	145282	0.177018	4	0.088889	0.502146
2	3	372387	0.453732	26	0.577778	1.273391

الجدول (26) توضيح أصناف الانحناء الأفقي (100/m)

الانحناء الأفقي	رقم الصنف
-3361.02 _ -0.001	1
-0.001 _ 0.001	2
0.001 _ 4977.15	3

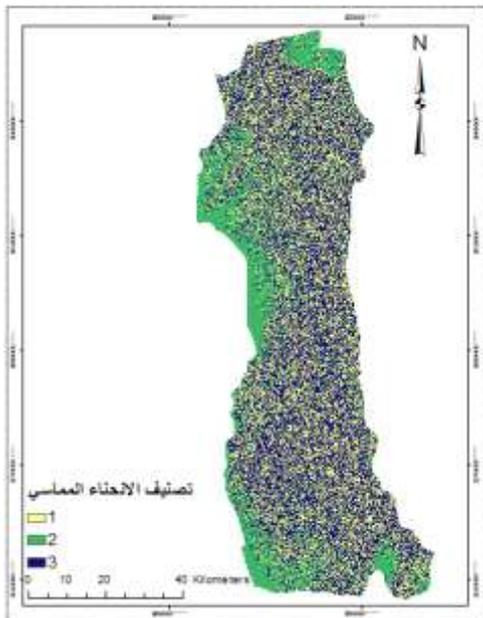
plan cutvature

الشكل (15) طبقة الانحناء الأفقي

14). الانحناء المماسي (Tangential Curvature): هو أحد الخصائص الطبوغرافية الأساسية، ويقاس في اتجاه المماس لخط التسوية، ويمثل تغيرات محلية في اتجاه خط التسوية حيث ترتبط هذه التغيرات بالجريان حسب الجاذبية الأرضية. تمثل القيم الأقل من صفر عملية الترسيب بينما تمثل القيم الأعلى من صفر عملية التآكل. في الشكل (16) والجدولين (27) و(28) موضحة طبقة الانحناء المماسي بعد إعادة تصنيفها بهدف حساب نسبة التكرار عند كل صنف [2].

الجدول (27) حساب نسبة التكرار عند كل صنف لعامل الانحناء المماسي

rec_cu_tan						
Rowid	VALUE *	COUNT	PIX_RAT	NUM_PO	FIN_RATIO	PO_RAT
0	1	296911	0.361768	15	0.921401	0.333333
1	2	157688	0.192134	4	0.46264	0.088889
2	3	366122	0.446098	26	1.295182	0.577778



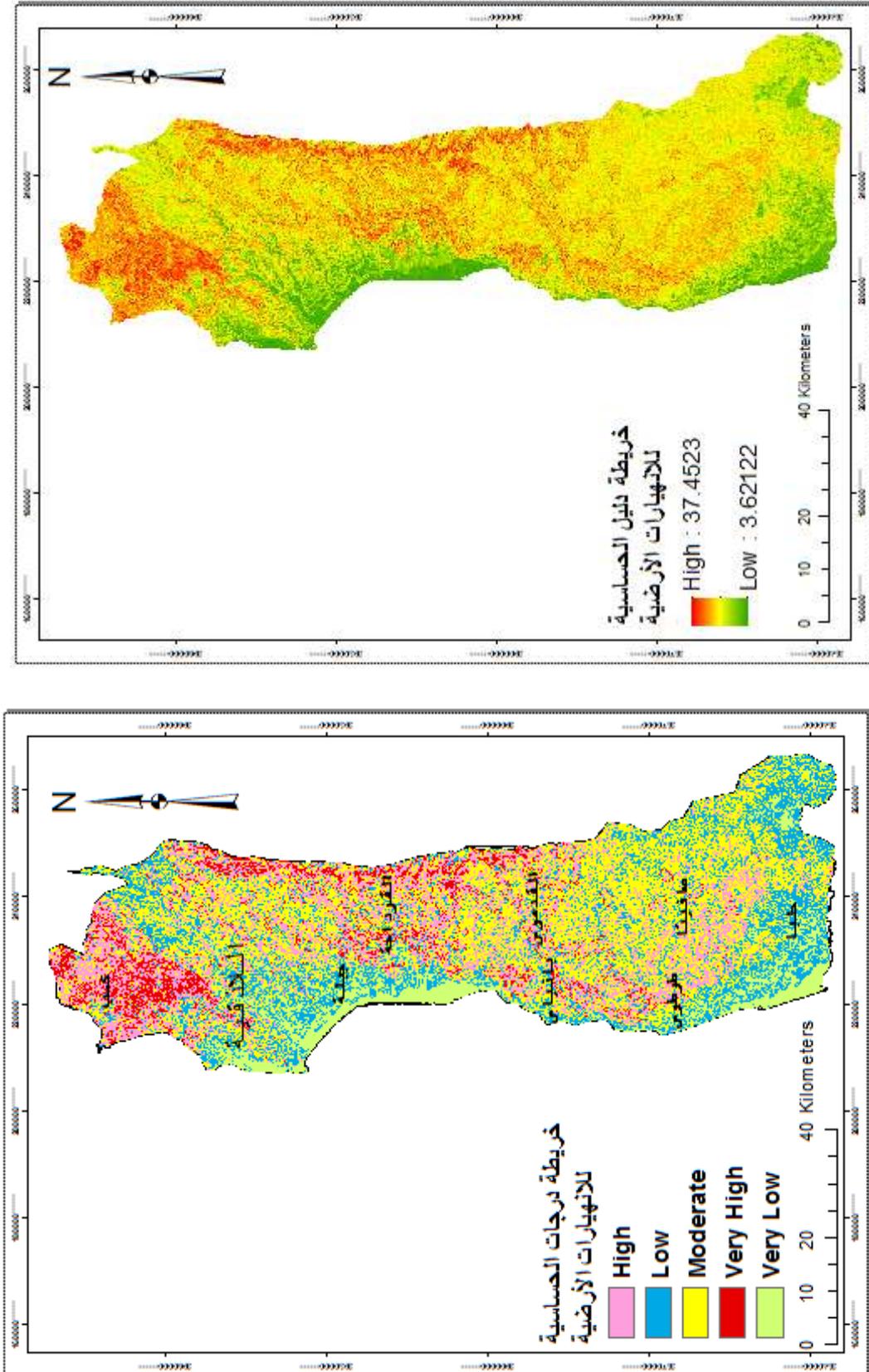
الشكل (16) طبقة الانحناء المماسي

الجدول (28) توضيح أصناف الانحناء المماسي (100/m)

رقم الصنف	الانحناء المماسي
1	-34.249 _ -0.001
2	-0.001 _ 0.001
3	0.001 _ 24.985

النتائج والمناقشة

بتطبيق المعادلة (1) نتجت لدينا خريطة دليل الحساسية للانهيارات الأرضية كما في الشكل (17)، وإعادة تصنيفها إلى خمسة أصناف باستخدام طريقة الحدود الطبيعية "Jenks" حصلنا على خمس درجات للحساسية في منطقة الدراسة موضحة في الشكل (18)، أي قمنا بتحديد خمس درجات لخطر الانهيارات على امتداد المنطقة (درجة منخفضة جداً، درجة منخفضة، درجة متوسطة، درجة عالية، درجة عالية جداً). أخيراً، تم تحقيق العمل بالاعتماد على عينة أخرى من الانهيارات الأرضية (15 موقعاً) موجودة ضمن المنطقة المدروسة وموضحة في الشكل (1)، وذلك بمقاطعة مواقعها مع خريطة درجات الحساسية النهائية فكانت درجة الحساسية لخمس مواقع منها عالية جداً ولتسعة مواقع عالية وحصلنا على موقع وحيد ذو درجة حساسية متوسطة.



الشكل (17) خريطة دليل الحساسية للانهيارات الأرضية في الشكل (18) خريطة درجات الحساسية للانهيارات الأرضية في الساحل السوري

- في الدراسة إنتاج خريطة الحساسية للانهيارات الأرضية وفيها 5 درجات للحساسية:
- ✓ درجة الحساسية المنخفضة جداً: تشغل نسبة 11.02% من منطقة الدراسة و تتركز على امتداد شاطئ الساحل وتحديداً في مدينة جبلة من اللاذقية.
 - ✓ درجة الحساسية المنخفضة: تشغل نسبة 22.14% من منطقة الدراسة وتتنوع بين القسم الغربي من اللاذقية (مدينتي جبلة واللاذقية) والقسم الجنوبي من طرطوس (حلبا).
 - ✓ درجة الحساسية المتوسطة: تشغل نسبة 37.38% من منطقة الدراسة ولها توزيع منتظم على امتداد المنطقة.
 - ✓ درجة الحساسية العالية: تشغل نسبة 22.15% من منطقة الدراسة حيث تتوزع على كامل المنطقة وتتركز في منطقة صافيتا من محافظة طرطوس وفي كسب والقرداحة من محافظة اللاذقية.
 - ✓ درجة الحساسية العالية جداً: تشغل نسبة 7.31% من منطقة الدراسة وهي النسبة الأقل يلحظ تركزها في أقصى الشرق من منطقة الدراسة حيث المرتفعات الجبلية وتحديداً في كسب من محافظة اللاذقية.

الاستنتاجات والتوصيات:

- بالاستناد إلى الدراسة النظرية والتطبيقية للبحث يمكن كتابة الاستنتاجات الآتية:
1. من النتائج نجد أن نسبة الحساسية الأعلى في المنطقة المدروسة هي الدرجة المتوسطة لكنها ليست أعلى من باقي النسب بفارق كبير لذا نقول أن الحساسية في الساحل السوري للانهيارات الأرضية متوسطة إلى حد ما.
 2. بما أن الميل هو العامل الأكثر أهمية فالقيود التنموية كالمتطلبات والشروط الخاصة عند تصميم الإنشاءات توضع على أساس درجات الميل العالية. يبدأ مجال القيود التنموية عند نسبة الميل 18% وحتى النسبة 25%، أما عندما تزداد النسبة عن 25% فمن الضروري استبعاد أي عملية تنمية في هذه المنطقة.
 3. استناداً إلى نتيجة عملية التحقيق كانت نسبة نجاح عملية التحليل ونموذج الحساسية لحدوث الانهيارات الأرضية الناتج مساوية لـ 93% باعتبار أن درجة الحساسية المتوسطة تمثل فشلاً وعليه فإن دقة الخريطة الناتجة (خريطة درجات الحساسية للانهيارات الأرضية) ممتازة.
- ونبين فيما يلي أهم التوصيات المتعلقة بالبحث:
1. الاستفادة من البحث في وزارات الدولة (وزارة السياحة، وزارة المواصلات، وزارة البيئة، وزارة الإسكان ، وزارة المواصلات، وزارة الزراعة) ومؤسساتها من أجل تحديد إمكانات منح تراخيص الإنشاء للمشاريع على تنوعها من عدمه تبعاً لدرجة الحساسية في المنطقة المطلوب إنشاء المشروع فيها ومدى تأثيره عليها.
 2. إنشاء قنوات تصريف لمياه الأمطار لمنعها من الوصول إلى الكتل الصخرية القابلة للسقوط.
 3. تقنين وتكسير الكتل الصخرية التي تهدد الأبنية المتواجدة أسفل المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً للانهيارات الأرضية بطرق فنية حديثة من أجل عدم إحداث أي أضرار في تلك المناطق كونها مزدحمة بالسكان.
 4. عدم زيادة الأحمال في المناطق ذات درجات الحساسية العالية والعالية جداً للانهيارات الأرضية وعدم السماح بإنشاء المباني أو الطرق فيها.

المراجع:

1. POURGHASEMI, H. R.؛PRADHAN, B. ؛GOKCEOGLU,C.andMOEZZ, K.D.Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Iran,2012,23-49.
2. POURGHASEMI, H. R.؛ JIRANDEH, G. A., PRADHAN, B.؛ XU, Cand GOKCEOGLU, C.Landslide susceptibility mapping using support vector machine and GIS at the Golestan Province. Indian Academy of Sciences, Iran, 2012, 349-369.
3. ABD LATIF, Z. ؛ PRADHAN, B. and AMAN, S. N. *Spatial probabilistic approach on landslide susceptibility assessment from high resolution sensors derived parameters*, Earth and Environmental Science, United Kingdom 2014, 1-6.