

العنوان:	النمذجة الرقمية للتعزية الخطية في الشمال الجزائري على ضوء معطيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية
المصدر:	مجلة جامعة الملك عبدالعزيز - الآداب والعلوم الإنسانية
الناشر:	جامعة الملك عبدالعزيز
المؤلف الرئيسي:	داودي، محمد العباس
المجلد/العدد:	مج25, ع1
محكمة:	نعم
التاريخ الميلادي:	2017
الصفحات:	37 - 63
رقم MD:	961216
نوع المحتوى:	بحوث ومقالات
اللغة:	Arabic
قواعد المعلومات:	HumanIndex, AraBase
مواضيع:	الجزائر، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، النمذجة الرقمية، التعزية الخطية
رابط:	http://search.mandumah.com/Record/961216

النمذجة الرقمية للتعرية الخطية في الشمال الجزائري على ضوء معطيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

محمد العباس داودي

جامعة الملك عبد العزيز

mdaoudi65@gmail.com

مستخلص تعد التعرية الخطية الأكثر انتشارا في دول حوض البحر المتوسط، وتمس تحديدا الشمال الجزائري. وهي تعتبر مظهرا مركبا ومعقدا في نفس الوقت نظرا لنتائجها الوخيمة، حيث تقلل من إمكانات الخزانات المائية، وتقلص شيئا فشيئا المساحات الزراعية وتعمل على تدهور الهياكل القاعدية. وانطلاقا من هذه المعاينة، يهتم في هذا العمل بالنمذجة الرقمية لتحليل وتنبؤ التعرية الخطية اعتمادا على نظم المعلومات الجغرافية ومعطيات الاستشعار عن بعد بتواريخ مختلفة. وسعيا للوقوف على أبعاد وخطورة هذه الظاهرة، هدف هذا البحث إلى الإجابة عن ثلاثة أسئلة أساسية : (١) ما العوامل المسببة للتعرية الخطية ؟ (٢) كيف تتطور هذه الظاهرة ؟ (٣) ما المناطق المناسبة لها ؟

اقتصرت الدراسة على الحوض التجميعي "الواد يسر" جنوب الجزائر العاصمة، وبالتركيز في التطبيق على القسم العلوي للحوض. في هذا البحث تم دراسة قطاع شمال - جنوب، وهو يمثل ثلاثة أحواض تجميعية صغرى. ومن الواضح أن اختيار هذه المناطق التجريبية يرتكز على أربعة محاور تم اعتمادها في طريقة المقارنة : التمثيلية، والتجانس، وتوفر المعطيات، و سهولة الوصول إلى الميدان. وبعد إنجاز قاعدة المعطيات متعددة المصادر، تم تطبيق التحليل العاملي، والذي سمح بتحديد العوامل المسببة للتعرية الخطية من جهة وترتيب تأثير هذه العوامل من جهة ثانية. أما التحليل متعدد المتغيرات بواسطة نموذج الانحدار اللوجيستي (Logistic Regression Model) فقد

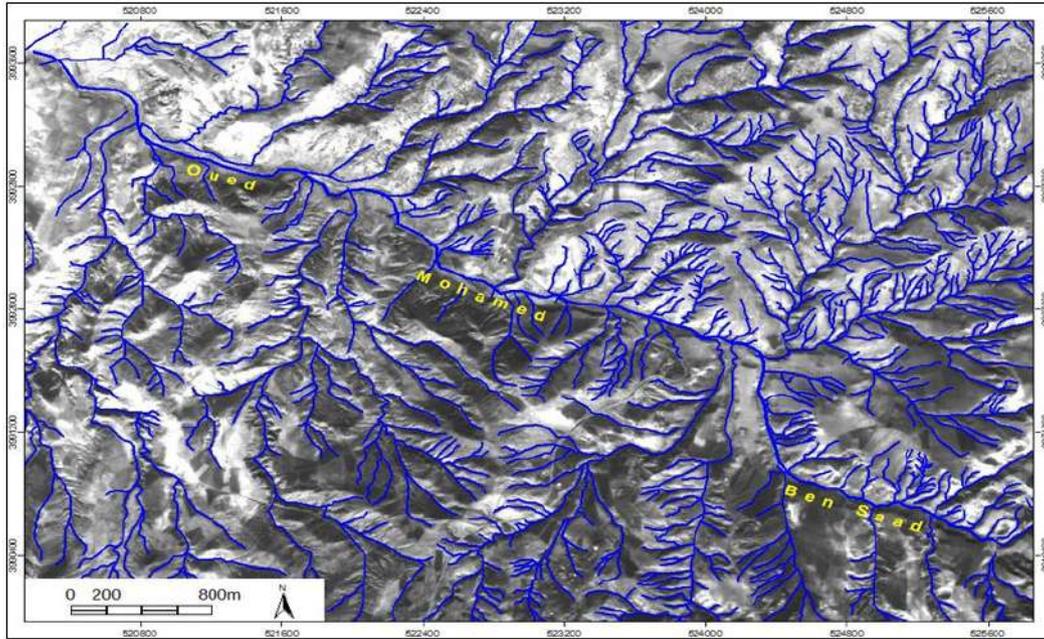
سمح باختيار العوامل الدالة وتحديد المناطق المناسبة للتعرية الخطية. أما تثبيت النماذج المنجزة، فقد تم تقييمها اعتمادا على منحنيات ليفت. وتبرز النتائج أن المتغيرات الظاهرة في النماذج تتجلى في العوامل التالية : طبيعة الصخور، الانحدار، المورفوبيدولوجية، شدة الأمطار وتغطية السطح، ومجمل هذه المقاربة تم تمثيلها مجاليا في خرائط تنبؤية لأربعة أصناف احتمالية. وحصيلة هذه الدراسة تبين الأهمية الأساسية لهذه المقاربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، خاصة بالنسبة للأحواض الهيدرولوجية لجنوب البحر المتوسط بإدماج عوامل إضافية، مع إمكانية تعميم هذه المنهجية على مناطق أخرى.

الكلمات المفتاحية: التعرية الخطية - النمذجة الرقمية - نظم المعلومات الجغرافية - الاستشعار عن بعد - الجزائر.

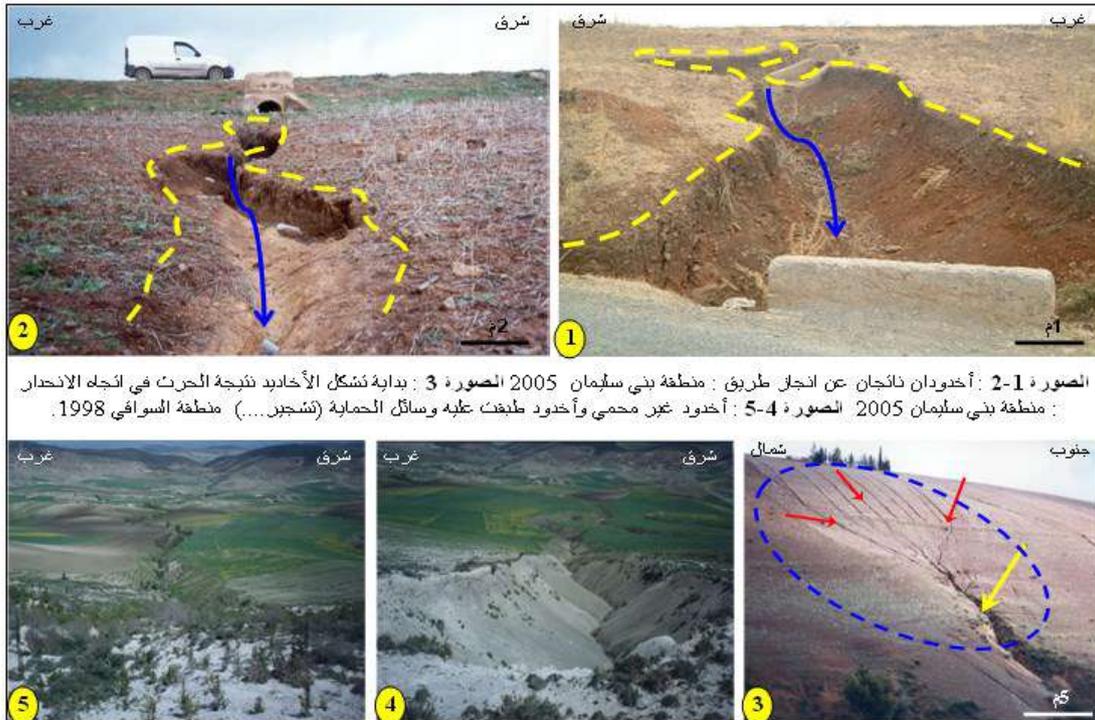
مقدمة

تعتبر التعرية الخطية الظاهرة الأكثر انتشارا في بلدان حوض البحر المتوسط، نظرا لتفاعل عدة عوامل منها: طبيعة الصخور، اماناخ، خصائص التربة، واستعمال الأرض (Bou Kheir et al., 2008) (Poesen et al., 2004) (Bouchnak et al., 2002) (Meyer and Martinez-Casasnovas, 1999) (Martinez - Casasnovas, 2003) فهي مصدر هام للرواسب في الميادين الجافة وشبه الجافة، حيث تساهم ب ٦٠ ٪ كنسبة متوسطة من نتاج التعرية المائية (Poesen et al., 2002). ويعد الشمال الجزائري نموذجا حيا لانتشار هذه الظاهرة (شكل ١) حيث تعمل على التقليل من حجم الخزانات المائية، وتنقص من المساحات الزراعية وتهدد الهياكل القاعدية (شكل ٢) وبالتالي تصبح عائقا حقيقيا أمام متطلبات ومسيرة التنمية

المستدامة. فحسب الدراسة التي قام بها كل من (Lefay, 1986 ; Roose et al., 2000) فإنه يتم سنويا نقل حمولة صلبة تتراوح ما بين ٩٠ إلى ٣٠٠ طن/هكتار، حيث قدرت الخسائر ب ٢٠ مليون م^٣ (Demmak, 1982 ; Gomer, 1994). لقد أصبحت عملية مواجهة التعرية بمختلف أشكالها في الجزائر، تحظى باهتمام بالغ لدى عدد كبير من الأكاديميين والمشرفين على عدة مراكز ومشاريع في هذا الميدان بغية حماية السكان والأراضي الفلاحية والهياكل القاعدية المهددة، حيث هناك عدد ضئيل من الدراسات الخاصة بالتعرية الخطية التي تغطي مناطق قليلة مقارنة بالمساحة الشاسعة للبلاد.



شكل ١. انتشار التعرية الخطية في منطقة السواقي (الصورة الجوية - ١٩٩٢)



شكل ٢. تشكل التعرية الخطية (الأخدودية)

المائية (Van Den Eeckhaut et al., 2006) (Ayalew and Yamagishi, 2005) (Martinez-Casasnovas et al., 2004) (Lee, 2005b) (Lee, 2004) (Gorsevski et al., 2000) (Meyer and Martinez-Casasnovas, 1999) (Dai et al., 2004) مما يتيح من مرونة في دراسة المتغيرات الكمية والنوعية وعلاجها بسهولة مع الاستعانة بالبرامج الإحصائية المتعددة (جدول ١).

يهدف هذا العمل إلى تقديم مقارنة احتمالية جديدة، لتحديد المناطق المحتملة لعملية التعرية الخطية. ويستند هذا البحث إلى معطيات متعددة المصادر وطريقة النمذجة الرقمية في الدراسة والتحليل. ومن بين أساليب التحديد المباشر للعلاقة بين وجود وانعدام الأخاديد من ناحية والمتغيرات البيئية المتحكمة فيها من ناحية أخرى، يمكن أن نذكر منها نموذج الانحدار اللوجستي الأكثر استخداماً في الوقت الراهن في ميدان التعرية

جدول ١. تطبيق نموذج الانحدار اللوجستي في ميدان التعرية المائية

المراجع	العملية	المعطيات	الوصف	المتغيرات	المعاينة	التثبيت	البلد
Ayalew and Yamagishi (2005)	انزلاقات أرضية	٣، ١	P_{10}, χ^2	S, A, E, Li, R	نعم	ROC	اليابان
Dai and Lee (2002)	انزلاقات أرضية	٤، ٣، ١	P_{20}, χ^2, R^2	S, A, E, LC, Prd	نعم	لا	اليابان
Dai and Lee (2003)	انزلاقات أرضية	٤، ٣، ١	P_2	S, A, E, C, LC, O, ,	نعم	RP	اليابان
Dai et al., (2004)	انزلاقات أرضية	٥، ٦، ٤، ٣	P_{20}		نعم	لا	اليابان
Lee (2004)	انزلاقات أرضية	٣، ٢	P_{10}	S, A, C, LC, V, ,	نعم	RP	كوريا الجنوبية
Lee (2005a)	انزلاقات أرضية	٤، ٣، ٢	W, P_5	S, A, C, LC, V, ,	نعم	RP	كوريا الجنوبية
Lee (2005b)	انزلاقات أرضية	٣، ٢، ١	P_{10}, χ^2	S, A, C, F, LC, R, ,	نعم	RP	ماليزيا
Martinez-Casasnovas et al., (2004)	تعرية خطية	٣، ١	P_1, χ^2, R^2, t	S, C, V, ,	نعم	ROC	اسبانيا
Meyer et al., (1999)	تعرية خطية	٣، ١	W, P_{25}, χ^2, D, t	S, C, LC, ,	نعم	ME	اسبانيا
Ohlmachean d Davis (2003)	انزلاقات أرضية	٣، ٢	P_{10}, χ^2	S, L	لا	لا	الولايات المتحدة الأمريكية
Van Den Eeckhaut et al., (2006)	انزلاقات أرضية	٣، ١	W, P_{10}, χ^2, V	S, A, C, F, , Prd	نعم	ROC	بلجيكا
Vanwallegem et al., (2008)	تعرية خطية	٨، ٣	W, P_5, χ^2	S, E, R, ,	نعم	ROC	بلجيكا
Yesilnacar and Topal (2005)	انزلاقات أرضية	٣، ١	D_s, χ^2, R^2	S, A, E, C, F, LC, R, Rd	نعم	ROC	تركيا

المعطيات : ١ : صور جوية، ٢ : صور فضائية، ٣ : نموذج الارتفاع الرقمي، ٤ : طبيعة الصخور، ٥ : تساقط، ٦ : غطاء نباتي، ٧ : تربة، ٨ : نظام تحديد المواقع العالمي، الوصف: R^2 : معامل التحديد، χ^2 : شي مربع، $P_{1, 10, 20, \dots}$: بكسل "متر"، W : اختبار والد، V : قوة الارتباط لكريمير، t : اختبار t ستوننت، D : معامل سومرز، D_s : إحصاءات وصفية، المتغيرات : S : انحدار، A : اتجاه الانحدار، E : ارتفاع، C : تقوس، Li : التخطط، F : انكسار، LC : تغطية السطح، R : طرق، Rd : شبكة التصريف، Prd : القرب من شبكة التصريف، التثبيت : ROC : محنى روك، RP : نسبة الاحتمال، ME : مصفوفة الخطأ بين المعطيات الأصلية والمعطيات المحتملة.

في هذا الإطار، استندت هذه الدراسة إلى جميع الأحاديد التي تنتشر على مستوى الأحواض التجميعة الثلاثة (شكل ١) من أدناها إلى أقصاها طولا حسب أنواعها المورفومترية التي تميزها (جدول ٢).

قصد الوقوف على أبعاد وخطورة هذه الظاهرة، سوف تتم الإجابة على ثلاثة أسئلة أساسية :
 أ) ما العوامل المسببة للتعرية الخطية ؟
 ب) كيف تتطور هذه الظاهرة ؟
 ج) ما المناطق المعرضة لها ؟

جدول ٢. الخصائص المورفومترية للتعرية الخطية للأحواض التجميعة

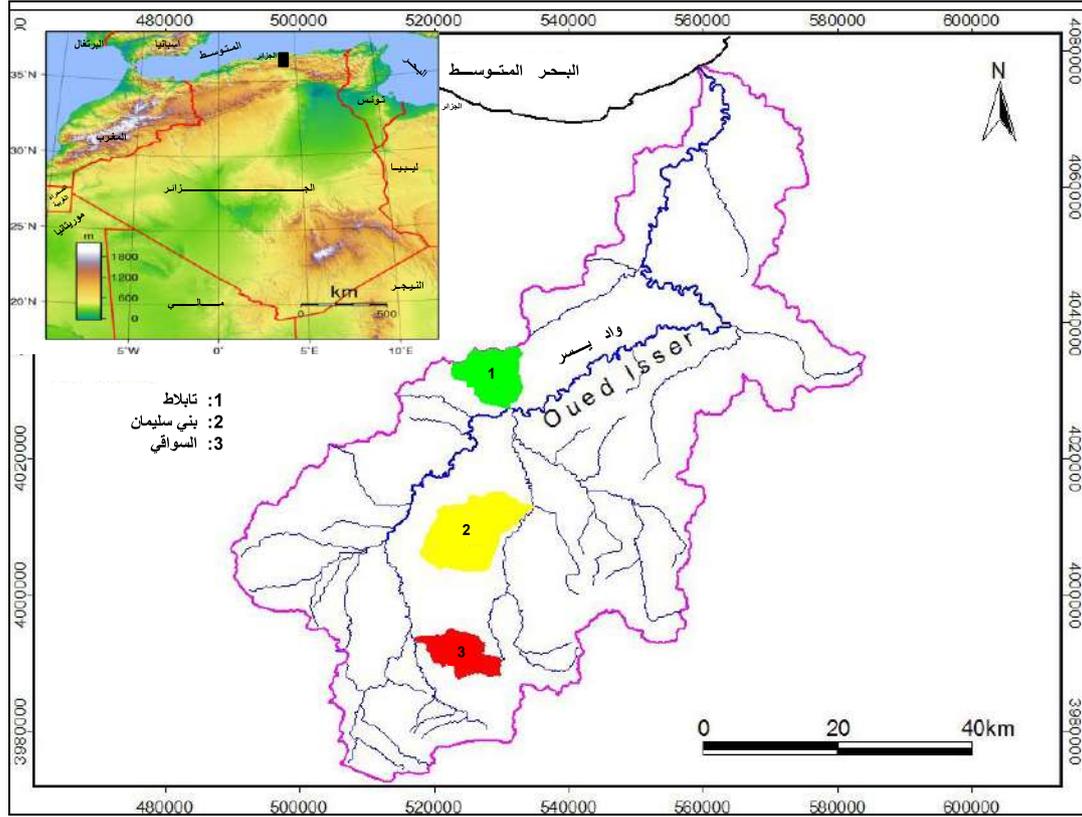
مساحة الحوض التجميعة	عدد الأحاديد	الطول الإجمالي للأحاديد (كلم)	الطول الأقصى (كلم)	الطول المتوسط (كلم)	الطول الأدنى (كلم)	الوحدة المجالية (كلم ²)	معامل الغرارة	كثافة الأحاديد (كلم/كلم ²)	شدة التعرية
تابلاط (٦٢ كم ²)	1026	316	5	0,30	0,04	0,19	62,28	5	معتدلة
بني سليمان (١١٨ كم ²)	355	243	5	0,68	0,08	0,48	6,55	2	قليلة
السواقي (٥١ كم ²)	929	317	2	0,34	0,02	0,16	87,17	6	خطيرة

مساحة تقدر ب ٤١٦٥ كم². وتحليل مختصر للإطار الطبيعي الذي ينتمي إليه هذا النظام ، نجده يتكون من السفح الجنوبي "للأطلس البلدي"، ويتمثل أساسا في جبل "تمزقيدة" البالغ ارتفاعه ١٠٣٠م "منطقة تابلاط" وجنوبا السفح الشمالي لسلسلة "البيبان" التي تبلغ ١٨١٠م بجبل "ديرة"، ويتوسط هاتين السلسلتين سهل "عريب" (منطقة بني سليمان) بارتفاع متوسط يصل إلى ٥٥٠م (شكل ٤).

١. وسائل ومنهجية البحث

١.٢. منطقة الدراسة

يعتبر الحوض التجميعي لواد يسر إقليميا هاما بحكم موقعه الجغرافي المنتمي له، حيث يشكل نظاما طبيعيا معقدا بسبب مميزاته الفيزيومناخية الممثلة للمنطقة الشمالية للجزائر. يقع على بعد ٧٠ كلم جنوب شرق الجزائر العاصمة (شكل ٣) المنتمي لسلسلة "الأطلس التلي"، ويتوسطها بشكل عرضي باتجاه جنوب غرب - شمال شرق، ليشغل



شكل ٣. مجال الدراسة

تظهر في شكل محلي أو مسحوب تشكل النسبة الغالبة، وهذا يترجم تواجد الشيست والمارن (Schist, Marl) في شمال المنطقة التلية وعدة أنواع من الأطيان ذات حساسية عالية لعملية التعرية الخطية (Daoudi, 2008). أما في جنوب "سلسلة البيبان" فنجد تكوينات المارن الشيستي مع طبقات جيرية، بالإضافة إلى تكوينات الزمن الرابع المحصورة بين السلاسل الجبلية في الأقسام الثلاثة للحوض والتي هي عبارة عن تكوينات فيضية ناتجة أساساً من النشاط الجيومورفولوجي "لواد يسر" (شكل ٥).

ونتيجة للحركات التكتونية التي تعرض لها القسم الشمالي للجزائر خلال الزمنين الجيولوجيين الثاني والثالث والتي كانت آنذاك مصحوبة بأغشية السحب المختلفة، فقد أكسبت المنطقة بنية جيولوجية معقدة من حيث نوع تكويناتها، ونظام توضعها، وسمك وميل طبقاتها. ونستطيع أن نميز فيها صخوراً شيستية (مارن وطين Marl, Clay) وحجر رملي وجير (Sandstone, Limestone) من أصل كريتاسي. هذه البنية ذات التواءات شديدة وانكسارات أعطت أشكالاً مورفولوجية معقدة، تتميز بصخور مختلفة المقاومة. ومن ناحية الطبيعة الصخرية، فإن تكوينات الكريتاسي والميوسان التي

من الخرائط الطبوغرافية والموضوعية التي سبق ترميزها : نموذج الارتفاع الرقمي (انحدار، اتجاه الانحدار، ارتفاع، تقوس عمودي، تقوس أفقي) طبيعة الصخور، انكسارات، مورفوبيدلوجية، طرق، ينابيع المياه. أما فيما يخص موقع الأخاديد وتغطية السطح فقد تم تقديرهما من الصور الجوية والمرئيات الفضائية على الترتيب. هذه الأخيرة استخدمت بتواريخ مختلفة وأجهزة استشعار متعددة (تيرا- أستر ٢٠٠٥، لاندسات ETM+ ٢٠٠١، لاندسات TM ١٩٨٧، سبوت ١٩٩٨).

أعقت عملية التصحيح الهندسي والطيفي حساب مؤشر الغطاء النباتي Perpendicular « (PVI) Vegetation Index لإعداد خرائط تغطية السطح والذي يحسب بالمعادلة التالية :

$$PVI_{(i,j)} = \frac{PIR_{(i,j)} - aR_{(i,j)} - b}{\sqrt{a^2 + 1}}$$

حيث :

R : المرئية المأخوذة في المجال الأحمر، PIR : المرئية المأخوذة في الأشعة (مجال الطيف) القريبة من تحت الأحمر، a : انحدار إسقاط مستقيم لتربة جرداء في الفضاء الأحمر/ القريب من تحت الأحمر، b : معامل يتوقف على إسقاط مستقيم لتربة جرداء في الفضاء : الأحمر/تحت الأحمر.

أما فيما يخص الجانب المناخي للحوض التجميحي، فإنه يتدرج بين مناخ شبه جاف في قسمه الجنوبي (٦٠ %) ومناخ شبه رطب في قسمه الشمالي (٤٠ %)، مع تناقص تدريجي في كمية التساقط من الشمال إلى الجنوب (٤٠٠-٨٠٠ مم) مما أدى من ناحية الجغرافية الحيوية إلى تشكل عدة ترب، وظهور غطاء نباتي يختلف كثافة وتنوعا وتطورا من بقعة لأخرى.

٢,٢. إنجاز قاعدة معطيات متعددة المصادر

تعتبر عملية إنجاز قاعدة معطيات متعددة المصادر مرحلة أساسية في كل الدراسات والأبحاث البيئية. والبيانات ذات المرجعية المكانية تعد بمثابة نموذج للحقيقة الميدانية وموثوقيتها أمر أساس لتحقيق نتائج ذات نوعية عالية (Chung et al., 1995 (Sidorchuk, 1999) (Capra et al., 2005). فقد استقر اختيار المتغيرات المتحكممة في التعرية الخطية اعتمادا على عناصر الوسط الطبيعي، بمعنى الميدان الذي تتطور فيه هذه العملية من ناحية والتفاعل القائم بين مختلف العناصر من ناحية أخرى (Valentin et al., 2005). تم استخدام ثلاثة أنواع من المعطيات للحصول على جميع المتغيرات المستخدمة في تنبؤ الظاهرة، هذه البيانات مخزنة على شكلين مختلفين : تمثيل خطي وتمثيل خلوي. بعض العوامل اشتقت

٣,٢. **مصادقية البيانات المعتمدة في الدراسة**
 هناك عدة مصادر للأخطاء التي تنتج من المحاكاة
 المجالية للنماذج الرياضية الخاصة بالتعرية،
 والمحاولات الخاصة بتثبيتها (Bonn, 1998).
 والمعطيات المستعملة في هذا العمل تتطلب حذرا
 كبيرا بسبب مختلف الأخطاء المرتكبة، ليس فقط في
 عملية الرفع الميداني لإنجاز الخرائط الطبوغرافية،
 الجيولوجية... وتحليل الصور الجوية فحسب، بل
 هناك أخطاء مرتكبة في المناهج الإحصائية وطرق
 حسابها (نموذج الارتفاع الرقمي، استكمال البيانات
 المناخية...) وحتى في الفئات المختارة لتصنيف البيانات
 (انحدار، طبيعة الصخور، تغطية السطح...).

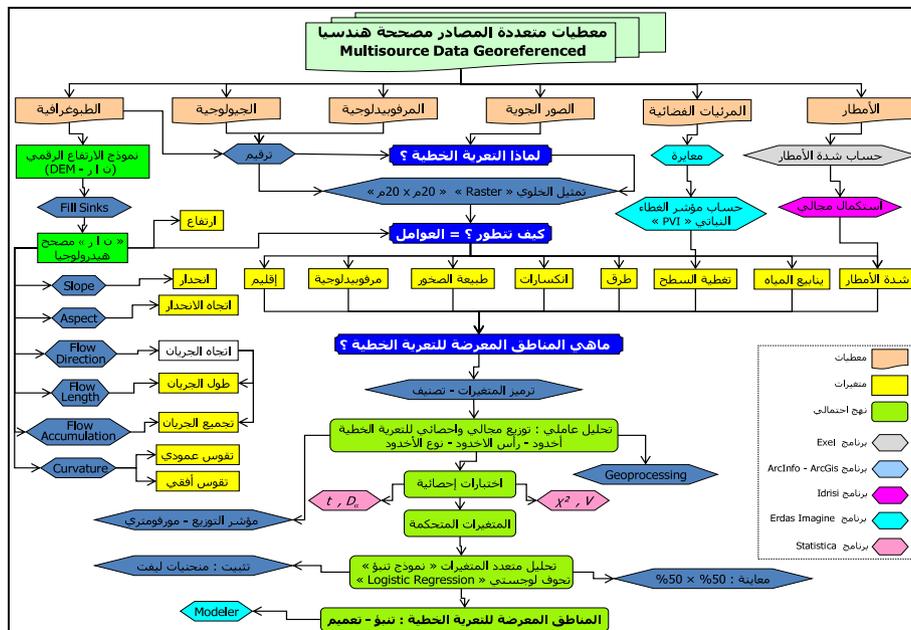
أما البيانات المناخية والمتمثلة خصوصا في
 الأمطار، فقد تم قياس شدتها اعتمادا على المعادلة
 المطورة من طرف: (Heusch, 1970) و (Kalman,
 1970) الملائمة لنطاق شمال إفريقيا، وهي على
 المنوال التالي :

$$R_p = 143 \log(P \times P_{24}^2 \times 10^{-6}) + 89,7 \quad (2)$$

حيث :

P : المتوسط السنوي للأمطار (مم)، P_{24} :
 المتوسط الأقصى للأمطار (مم) خلال ٢٤ ساعة
 لفترة عودة مدة ٢٠ سنة.

منهجية هذا العمل موضحة في الشكل ٦ والتي تقدم
 حصيلة لمصادر المعطيات الكمية والكيفية ومختلف
 المتغيرات التي تستند إليها هذه الدراسة.



شكل ٦. مخطط منهجية الدراسة

٤,٢ . اختيار الوحدة المكانية (المجالية)

يستند اختيار الوحدة المكانية المناسبة إلى عدة عوامل منها: (أ) نوع الظاهرة المدروسة (ب) مقياس البحث (ج) نوعية المعلومات المعتمدة (د) توافر الوسائل والأدوات اللازمة لتحليل البيانات (Dewitte, 2006) (Guzzetti, 2005). وهذه الدراسة تعمل على الجمع والتركيب بين عدد كبير من المعلومات المكانية المرتبطة ارتباطا وثيقا بالمجال الجغرافي، مع إمكانية المحافظة على تمثيل أكثر دقة. وهناك عائقان يحددان متطلبات التمثيل الصحيح هما: المعاينة والترميز (الانتقال من المعلومة الجغرافية إلى معالجة البيانات وتحليلها). فالوحدة المكانية هي مساحة تمثل أقصى حد ممكن من التجانس الداخلي دون أي تباين وفي كل خلية من خلايا الشبكة (البيكسل) يتم تعيين قيمة لكل عامل.

إن عملية التعرية الخطية والمتغيرات (العوامل) المتحركة فيها مترجمة في الوحدة المكانية. وهذه الطريقة تقدم الكثير من المعلومات عن بنية الميدان ولكنها توفر إمكانية ضئيلة لقياس العلاقات الوظيفية بين هذه العوامل. وتنبؤ الظاهرة الأخدودية يتطلب اختيار الوحدة المكانية لرسم خرائط المناطق

المعرضة للخطر، وهذه الوحدة يجب أن تكون ممثلة للمنطقة المدروسة وتعالجها كميدان متجانس مجاليا. إن اختيار الوحدة المكانية (٢٠م X ٢٠م) للأحواض التجميعة الصغرى الثلاثة يستند إلى نموذج الارتفاع الرقمي والمساحة الدنيا للحوض التجميعي اللازمة لضمان تشكل مجرى مائي (Meyer and Martinez- (Moreiras, 2005) (Casasnovas, 1999).

٥,٢ . ترميز البيانات الجغرافية ومعالجتها

لترميز المعلومات الجغرافية أهمية أساسية عند القيام بمعالجات خاصة، بغية تحويل الخصائص النوعية إلى متغيرات كمية مبنية منطقيا ضمن نظام هرمي (شكل ٧). وجميع البيانات تم تحويلها إلى شكل أصكي (ASCII) مع إدخال إحداثيات إسقاط مركبوتور العالمي (UTM) لكل وحدة مكانية (بيكسل) ثم استيرادها إلى البرنامج الإحصائي (Statistica) للمعالجة والتحليل. في هذا العمل، تم استخدام البرامج التالية: ArcView3.2, Statistica8. لقد اعتمدت طريقة تنظيم وتصنيف بعض البيانات إلى فئات لتسهيل التحليلات الإحصائية المطبقة.

جدول ٣. إيجاز نتائج الاختبارات الإحصائية المطبقة

الحوض التجميحي	الاختبار																												
	شي مربع (χ^2)							كولموغوروف-سميرنوف (D_0)																					
	١٥	١٤	١٣	١٢	١١	١٠	٩	٨	٧	٦	٥	٤	٣	٢	١	١٤	٧	٦	٥	٤	٣	١	١٤	٧	٦	٥	٤	٣	١
تابلاط	-	■	-	■	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
بني سليمان	-	■	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
السواقي	-	■	-	■	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
أحواض	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

١ : انحدار، ٢ : اتجاه الانحدار، ٣ : ارتفاع، ٤ : تقوس عمودي، ٥ : تقوس أفقي، ٦ : طول الجريان، ٧ : تجميع الجريان، ٨ : طبيعة الصخور، ٩ : انكسار، ١٠ : ينباع المياه، ١١ : مورفوبيدولوجية، ١٢ : تغطية السطح، ١٣ : طرق، ١٤ : شدة الأمطار، ١٥ : إقليم، ■ متغير يؤثر (قيمة احتمال « p value » أقل من ٠,٠٥)، ■ متغير لا يؤثر (قيمة احتمال أكبر من ٠,٠٥)، - لا توجد بيانات.

الثانية، ثم يأتي كل من اتجاه الانحدار، وشدة الأمطار، وغطاء السطح ونوع التقوس في المرتبة الثالثة وأخيرا نجد عامل التأثير الضعيف جدا المتمثل في المعالم الهيدرومترية.

بالنسبة للحوض التجميحي "الواد الأحد - تابلاط"، فإن هناك ثلاثة عوامل رئيسية تتحكم بصفة خاصة في الظاهرة وهي على الترتيب : طبيعة الصخور، الارتفاع، وشدة الأمطار. أما الحوض التجميحي "الواد عليم - بني سليمان" فتأتي المورفوبيدولوجية في المرتبة الأولى ثم تليها طبيعة الصخور. أما فيما يخص الحوض التجميحي "الواد محمد بن ساعد - السواقي" فإن عاملي شدة الأمطار والارتفاع يسيطران على الظاهرة.

٢,٣. توزيع مجالي للتعرية الخطية حسب بعض المتغيرات

التشتت الملحوظ على قيم كثافة التعرية الخطية في الأحواض التجميحية يدل على أنها تتأثر بعوامل عديدة (Bravard and Petit, 1997). واعتمادا على قاعدة البيانات المنجزة، تم حساب

أما بالنسبة لحساب مؤشر V كريم (Cramer's V) الذي يعتبر من المؤشرات الأكثر استخداما في الوقت الحالي، حيث تتراوح قيمته بين ٠ و ١ و يرتكز أساسا على اختبار مربع كاي (χ^2) بغض النظر عن حجم العينة (Meyer and Van Den Martinez- Casasnovas 1999) (Eeckhaut et al., 2006) فإنه يحسب بالمعادلة التالية :

$$V = \sqrt{\frac{Chi^2}{N \min(L-1, C-1)}} \quad (3)$$

حيث أن :

N : العدد الإجمالي للملاحظات L : عدد الأسطر في الجدول C : عدد الأعمدة سمح تطبيق مؤشر كريم بتقدير درجة الروابط بين المتغيرات، وتسهيل الضوء على التفاعل القائم بينها، مع تحديد القوة النسبية لمختلف العوامل التي تتحكم في الظاهرة. وبصفة شاملة من الشكل ٨ يظهر جليا أن العوامل الثلاثة الأولى المتحكممة في التعرية الخطية تتمثل أساسا في : طبيعة الصخور، الإقليم والارتفاع، ثم يليها كل من الانحدار والمورفوبيدولوجية في الدرجة

- الفئة ٢٥ - ٤٥ % بالنسبة لمنطقة "تابلاط".
- الفئة ٣ - ١٢ % بالنسبة لمنطقة "بني سليمان".
- الفئة ١٢ - ٢٥ % بالنسبة لمنطقة "السواقي".

هذه النتائج تؤكد انفرادية الحوض التجميعي "لبنى سليمان" فيما يخص عامل الانحدار.

فيما يتعلق بطبيعة الصخور، فان دليل التوزيع جد مرتفع في تكوينات الترياس الهشة والمتمثلة أساسا في المارن والجبس (Marl, Gypsum) في كل من الأحواض التجميعية الثلاثة، ذات التغطية النباتية الضعيفة والمنعدمة أحيانا في بعض الأماكن. ويأخذ كذلك قيمة مرتفعة في تكوينات الكريتاسي الأعلى (مارن، طين وجير، Marl, Clay, Sandstone) والمشكلة لسفوح وأحاديير التعرية لمنطقة "بني سليمان".

دليل التوزيع الخاص بالظاهرة (معادلة ٤)، بالتركيز على العوامل الأساس المتحكم في العملية، ولمعرفة كيفية انتشارها حسب نوع الأخاديد ورؤوسها.

$$I_D = \frac{N_C}{N_T * R} \quad (٤)$$

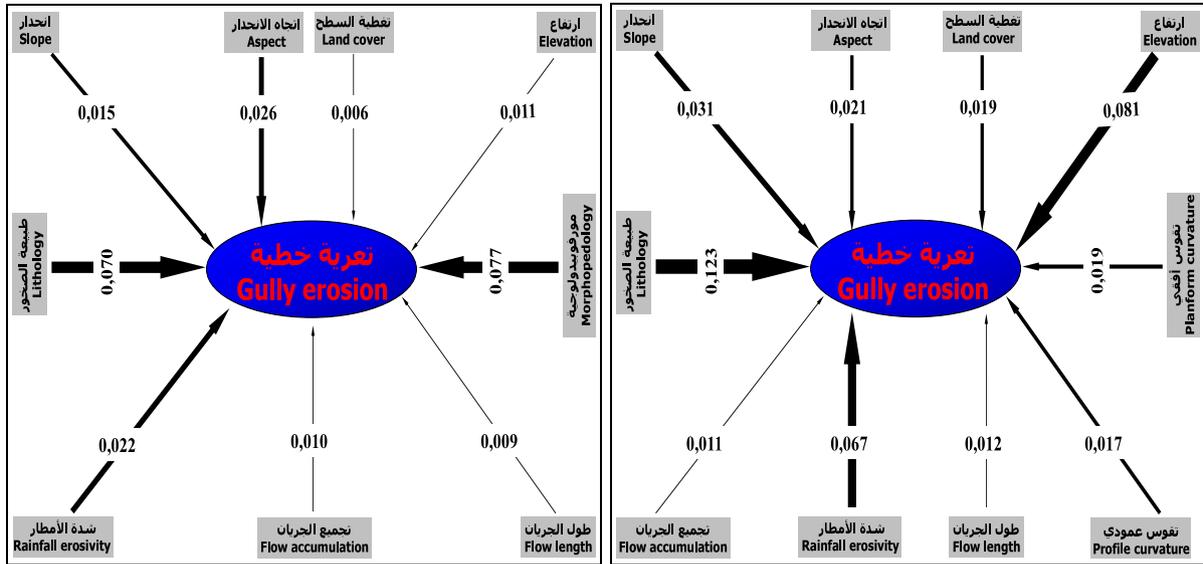
حيث أن :

I_D : دليل التوزيع، N_C : عدد الأخاديد في الفئة،
 N_T : العدد الكلي للأخاديد، R : نسبة مساحة الفئة (مساحة الفئة / المساحة الكلية).

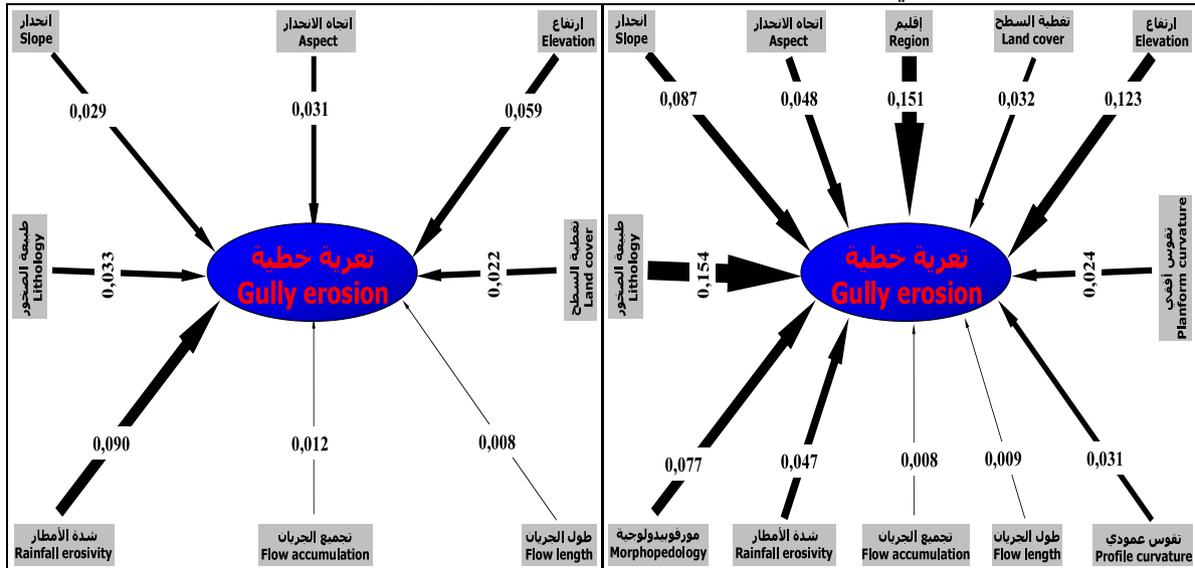
سمح التحليل المجالي بتحديد في أي فئة لكل من عامل: الانحدار، اتجاه الانحدار، الارتفاع، الطبيعة الصخرية، المورفوبيدولوجية وتغطية السطح يتم انتشار التعرية الخطية، والشكل ٩ يبين دليل التوزيع الإحصائي للظاهرة حسب الفئات لمختلف العوامل.

على سبيل المثال لا الحصر، نسجل الانتشار الأقصى للأخاديد حسب عامل الانحدار في الفئات التالية:

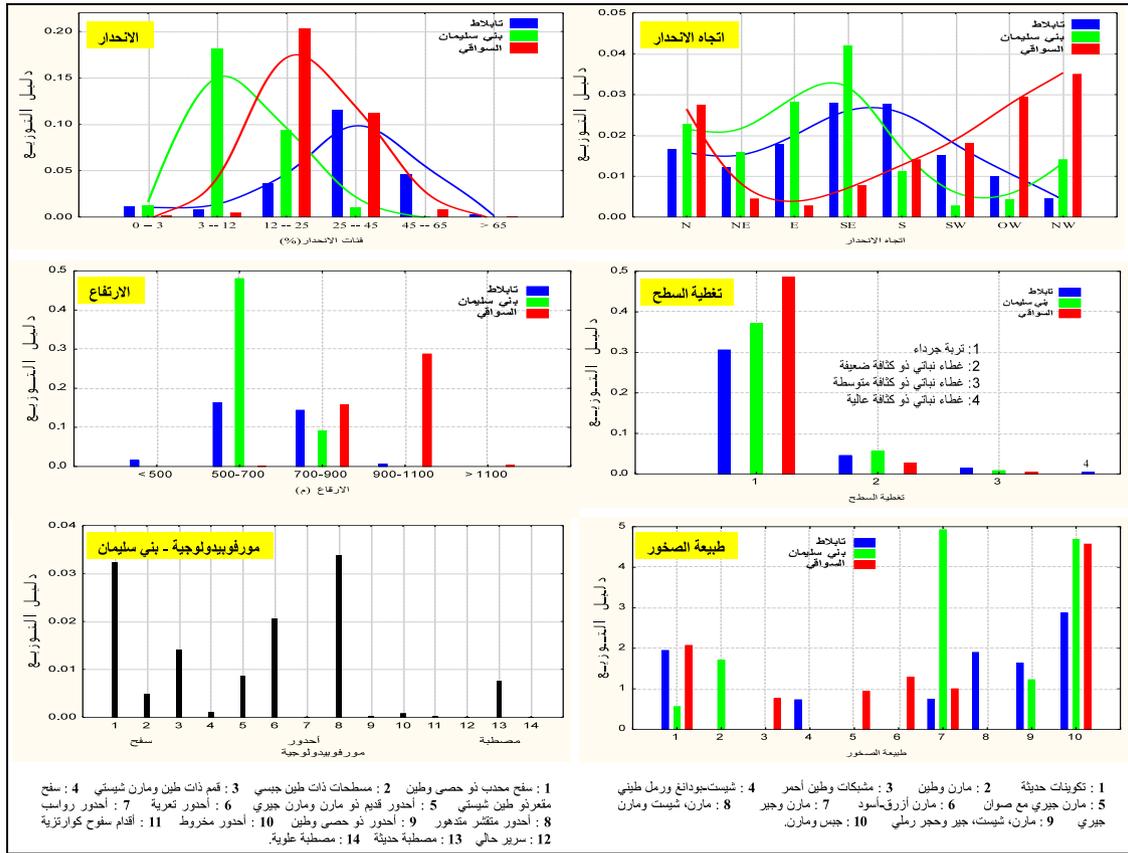
تابلط بني سليمان



الأحواض التجميعية الثلاثة



شكل ٨. تسلسل هرمي ودرجة تأثير المتغيرات على عملية التعرية الخفية اعتمادا على مؤشر كريم



شكل ٩. توزيع مجالي للتعرية الخطية في الأحواض التجميعية حسب المتغيرات المصنفة

٧ = ٠ (انعدام الأخاديد) بواسطة المعادلة

حيث نستنتج : $1 - \pi = P[y = 0]$

(٥)

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0 + \beta x}}{1 + e^{\beta_0 + \beta x}}$$

هذه الأخيرة يمكن كتابتها على الشكل التالي:

(٦)

$$\pi(x_1, \dots, x_p) = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}}{1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}}$$

في المعادلتين (٥) و (٦) فان β_0 و β_i ($i=1, \dots, n$) هي معاملات الانحدار (coefficients of regression) وتسمى أيضا

٣,٣. تنبؤ التعرية الخطية بتطبيق نموذج

الانحدار اللوجستي

يفترض نموذج الانحدار اللوجستي أن يكون

المتغير المفسر γ ثنائي (تواجد الأخاديد = ١

انعدام الأخاديد = ٠)، هذا الأسلوب لا يقوم

بالنمذجة المباشرة للمتغير γ ولكن يعمل على

إيجاد علاقة احتمال مرتبطة بقيم المتغير γ

(Martinez et al., 2004) (Meyer et al., 1999)

تعريف (Ayalew and Yamagishi, 2005).

الاحتمال في حالة $\gamma = 1$ (تواجد الأخاديد)

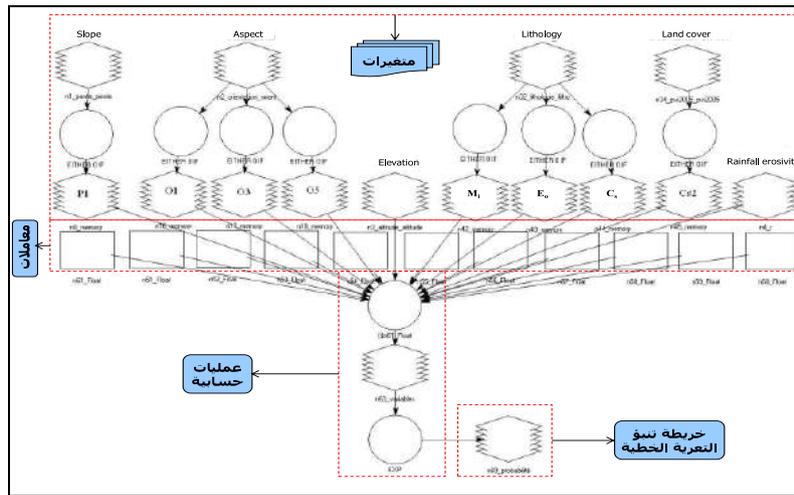
بواسطة المعادلة $\pi = P[y=1]$ والاحتمال في حالة

$$\pi = \frac{e^{(-1,87+0,1P_3+0,12O_4-0,09O_7-0,001A-0,55Q_a+0,21C_s+0,12C_7+0,17M_1-0,4M_2+0,55M_4-0,56M_5+0,09M_6+0,45M_9+0,34M_{11}-0,57M_{13}-0,12C_{c1-1998}-0,08C_{c2-1998}+0,1C_{c2-2005})}}{1+e^{(-1,87+0,1P_3+0,12O_4-0,09O_7-0,001A-0,55Q_a+0,21C_s+0,12C_7+0,17M_1-0,4M_2+0,55M_4-0,56M_5+0,09M_6+0,45M_9+0,34M_{11}-0,57M_{13}-0,12C_{c1-1998}-0,08C_{c2-1998}+0,1C_{c2-2005})}}$$

$$(7) \frac{0,12C_{c1-1998}-0,08C_{c2-1998}+0,1C_{c2-2005}}{0,12C_{c1-1998}-0,08C_{c2-1998}+0,1C_{c2-2005}}$$

تتوقف الأهمية النسبية للمتغيرات على إشارة معاملاتهما، فإذا كان المعامل موجبا يعني أن هذا المتغير يساهم في زيادة احتمال التعرية الخطية، وأما إذا كان عكس ذلك (يحمل إشارة سالبة) فإن احتمال حدوث الظاهرة يكون منخفضا (Martinez-Casasnovas et al., 2004) (Ayalew and Yamagishi, 2005) (Dai and Lee, 2002)

التحول المستخدم يسمى تحول *logit* : يلعب دورا هاما في تحليل المعطيات الثنائية (١-٠) والمتغيرات التفسيرية. يهدف الانحدار اللوجستي إلى البحث عن تقدير المعاملات $\beta_i (i = 0, \dots, p)$ وأيجاد أفضل نموذج مناسب لوصف العلاقة بين احتمال وجود وبالتالي عدم وجود عملية التعرية الخطية (المتغير المعتمد) ومجموعة من المتغيرات المستقلة (مثل: X_1, X_2, \dots, X_n) المعالم الطبوغرافية، الليتولوجية، تغطية السطح وشدة الأمطار... (معادلة ٧ جدول ٢ شكل ١٠).



شكل ١٠. مخطط هيكل لنموذج الانحدار اللوجستي لحساب احتمال التعرية الخطية

جدول ٤. مثال لنموذج نهائي بعد حذف المتغيرات غير المؤثرة

متغيرات	(W) اختبار والد	(χ^2) اختبار شي مربع	* / درجة الحرية χ^2	(p) قيمة احتمال
---------	-----------------	-----------------------------	--------------------------	-----------------

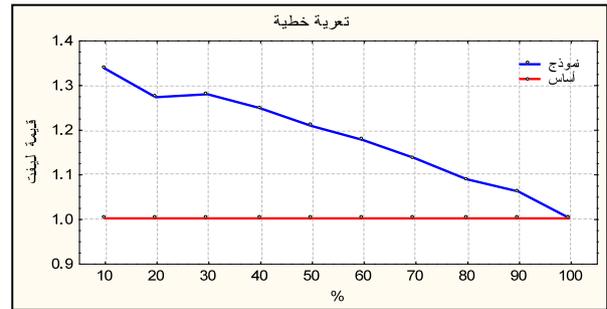
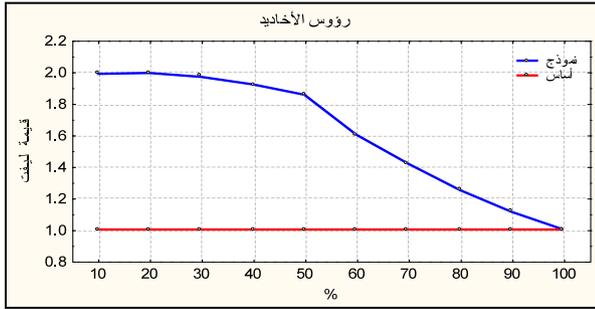
0,01 >	-	-	1027,22	β_0
0,01 >	24,73	123,66	48,16	انحدار
0,01 >	10,65	74,61	46,50	اتجاه الانحدار
0,01 >	16,29	16,29	17,571	ارتفاع
0,01 >	397,16	1985,83	1118,14	طبيعة الصخور
0,01 >	7,45	22,36	21,13	تغطية السطح (٢٠٠١)
0,01 >	31,41	31,41	28,36	طرق

* درجة تأثير المتغيرات تقاس اعتمادا على ارتفاع وانخفاض قيمة (χ^2 / درجة الحرية)

٤,٣ . تثبيت نموذج التنبؤ

تم تثبيت نموذج الانحدار اللوجستي ببيانيا على منحنى ليفت الممثل في معلم، حيث يطبق على معظم الطرق الإحصائية التي تهتم بحساب التوقعات بالنسبة لردود ثنائية (شكل ١١). وهذا التمثيل البياني يعرض حصيلة للمعلومات المستنبطة من نموذج إحصائي لمتغير مزدوج الإخراج. يبرز منحنى ليفت في كل نسبة مئوية

للمتغير x من ناحية، والنسبة بين مناطق التعرية الخطية لـ s من بين الأماكن التي تعتبر الأكثر احتمالا للظاهرة حسب النموذج، ومن ناحية ثانية مناطق التعرية الخطية في كل منطقة الدراسة. وبمعنى آخر على وجه التحديد، يترجم هذا المنحنى المكاسب التي يمكن توقعها باستخدام نموذج تنبؤي مثالي، مقارنة مع استخدام المعلومات المرجعية فقط (Clech, 2004 ; Fischer, 2004).



شكل ١١ منحنى ليفت لتثبيت نموذج الانحدار اللوجستي

إلى قيمة ٢ معناه ١٣,٤ % في الحالة الأولى و ٢٠% في الحالة الثانية.

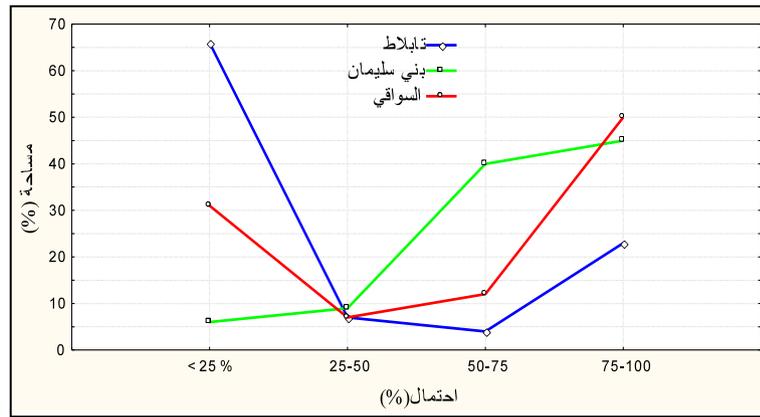
٥,٣ . انجاز خرائط تنبؤ المناطق المعرضة للتعرية الخطية

بعد إعداد النموذج تم ترجمة نتائجه ميدانيا إلى خرائط تنبؤية لأربع فئات احتمالية تتراوح بين ٠ و ١ (أشكال ١٣-١٤-١٥)، وعملية تصنيفها إلى أقسام متساوية (٠-٢٥ % ، ٢٥-٥٠ ، ٥٠-٧٥ ،

على سبيل المثال، إذا اختيرت النسبة ١٠ % الأولى (شكل ١١ المنحنى الأيمن) الأقوى تنبؤا بوجود تعرية أخدودية، هذا يعادل القيمة ١,٣٤ على منحنى ليفت. أما إذا أخذت نسبة ١٠ % الأولى الأقوى تنبؤا بوجود تعرية بالنسبة لرؤوس الأخاديد (شكل ١١ المنحنى الأيسر) تساوي القيمة ٢ أي تحسن في عملية التنبؤ بالانتقال من قيمة ١,٣٤

المجال. ومن خلال ملاحظة الخرائط المنجزة، يظهر جليا أن التعرية الخطية تزداد من الشمال إلى الجنوب هذا من جهة، ومن جهة ثانية التوزيع المكاني غير العادل للمناطق المعرضة لعملية التعرية في القطاعات المدروسة (شكل ١٢)، هذا نتيجة لاختلاف حدة التفاعل المحتمل بين العوامل التي تتحكم في الظاهرة (جدول ٥). الزيارات الميدانية العديدة أثناء فترة البحث أكدت النتائج المتوصل إليها من خلال موثوقية النموذج المنجز (شكل ١٣).

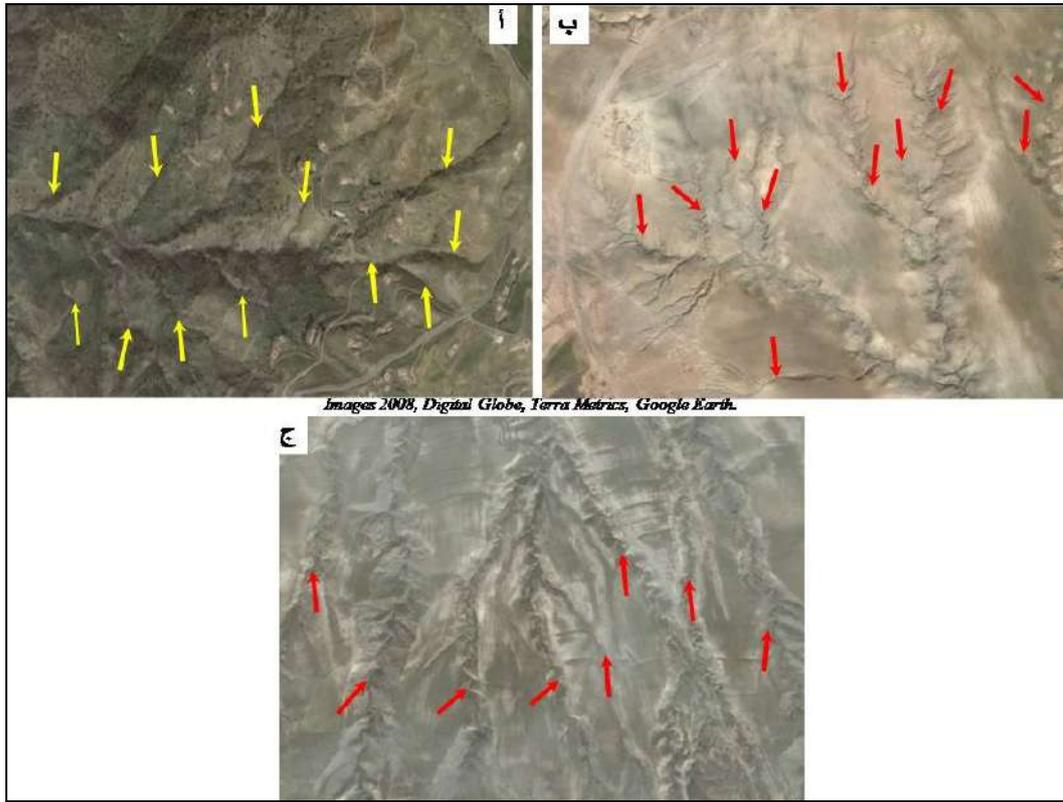
اعتمدت على تردد مدرجاتها التكرارية (٧٥-١٠٠) (Ayalew and Meyer et al., 1999) (Yamagishi, 2005). ومن الشكل ١٠ يظهر جليا طريقة إنجاز هذا النوع من الخرائط، بالاعتماد على برنامج الإرداس، حيث تم اختيار المتغيرات المتحكممة في التعرية الخطية ثم إدخال معاملاتهما، وبعد عمليات حسابية تم الوصول إلى إنجاز الخريطة التنبؤية (معادلة ٧). واعتمد تفسير نتائج تطبيق التحليل متعدد المتغيرات على المعرفة الشخصية للميدان، وآراء بعض الخبراء في هذا



شكل ١٢. تباين مجالي لاحتمال التعرية الخطية في الأحواض التجميعية المدروسة

جدول ٥. ترتيب المتغيرات حسب درجة تأثيرها على التعرية الخطية

الحوض التجميعي			
تابلطاط	بني سليمان	السواقي	٣ أحواض
١: شدة الأمطار	١: شدة الأمطار	١: شدة الأمطار	١: شدة الأمطار
٢: طبيعة الصخور	٢: انحدار	٢: تغطية السطح	٢: إقليم
٣: تغطية السطح	٣: ارتفاع	٣: طبيعة الصخور	٣: طبيعة الصخور
٤: ارتفاع	٤: طبيعة الصخور	٤: اتجاه الانحدار	٤: تغطية السطح
٥: اتجاه الانحدار	٥: اتجاه الانحدار	٥: ارتفاع	٥: انحدار
٦: انحدار	٦: تغطية السطح	٦: انحدار	٦: اتجاه الانحدار



شكل ١٣. المناطق المحتملة أكثر للتعرية الأخدودية حسب النموذج المنجز (أ: تابلاط، ب: بني سليمان، ج: السواقي)

تكون محمية بغطاء نباتي ذي كثافة ضعيفة. ومما تجدر الإشارة إليه، أن عامل الطبوغرافية (ارتفاع، اتجاه الانحدار: السفوح الجنوبية والشمالية الشرقية) يساعد على فعل المتغير المناخي.

فيما يخص منطقة "بني سليمان"، يلاحظ تركيز أكبر احتمال في الأقسام العليا للحوض مثل سابقه، ويمس بالخصوص السفوح المواجهة للشمال والجنوب "جبال شايف ومشته اللبوخ" ويمثل ٤٥ ٪ من المساحة الكلية، والاحتمال (٠,٧٥-٠,٥٠) يغطي مساحة ٤٠ ٪ يتواجد على الأحادير، أما النسبة الباقية (١٥ ٪) للاحتمال (أقل من ٠,٥٠) فموزعة في القسم الأدنى للحوض (شكل ١٥).

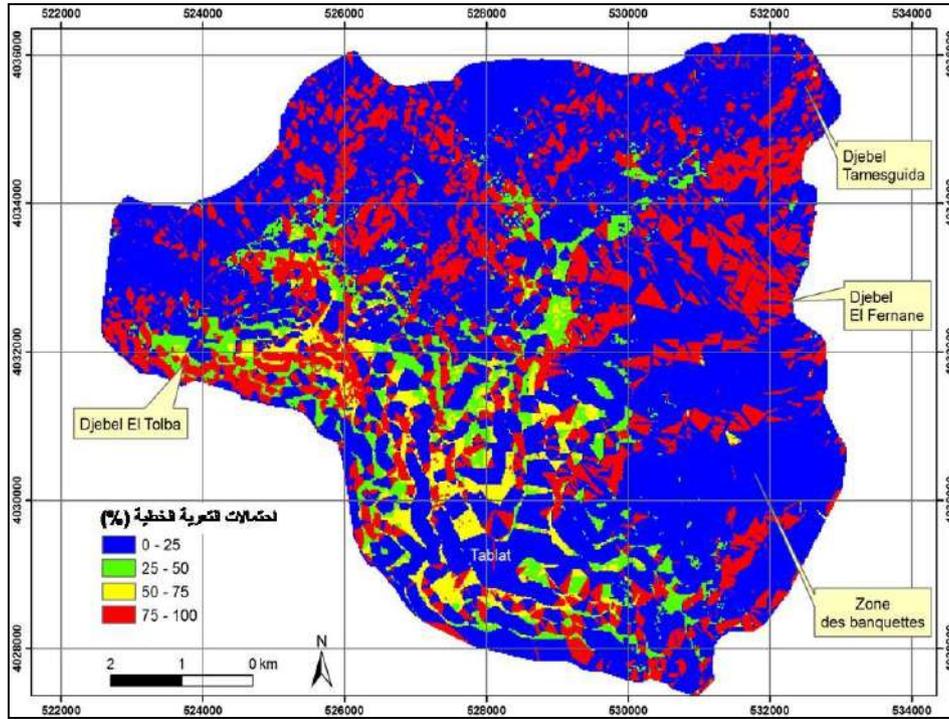
بالنسبة للحوض التجميحي "لواد الأحد - تابلاط"، فإن أعلى احتمال (٠,٧٥ - ١) للتعرية الخطية يمثل ٢٣ ٪ من المساحة الكلية للمنطقة، مركزة خصوصا في الشمال الشرقي "جبال تمسقيدة والفرنان"، مما يلاحظ أن القسم العلوي للحوض الأكثر عرضة للتعرية الخطية (شكل ١٤). أما الأراضي ذات الاحتمال الضعيف جدا (أقل من ٠,٢٥) فتشكل ٦٦ ٪، وباقي المساحة تتوزع بين الاحتمالين الضعيف والمتوسط ويشغلان على الترتيب ٧ - ٤ ٪. يفسر هذه الوضعية في المقام الأول شدة الأمطار وطبيعة الصخور الهشة (مارن وشيست Marl, Schist) وأراضي جرداء نادرا ما

سمكتيت، إليت (Kaolinite, Smectite, Illite) ذات الحساسية العالية للتعرية الأخودية عملت مجتمعة بمساعدة الطبوغرافية خاصة عامل الانحدار في تجزئة الحوض.

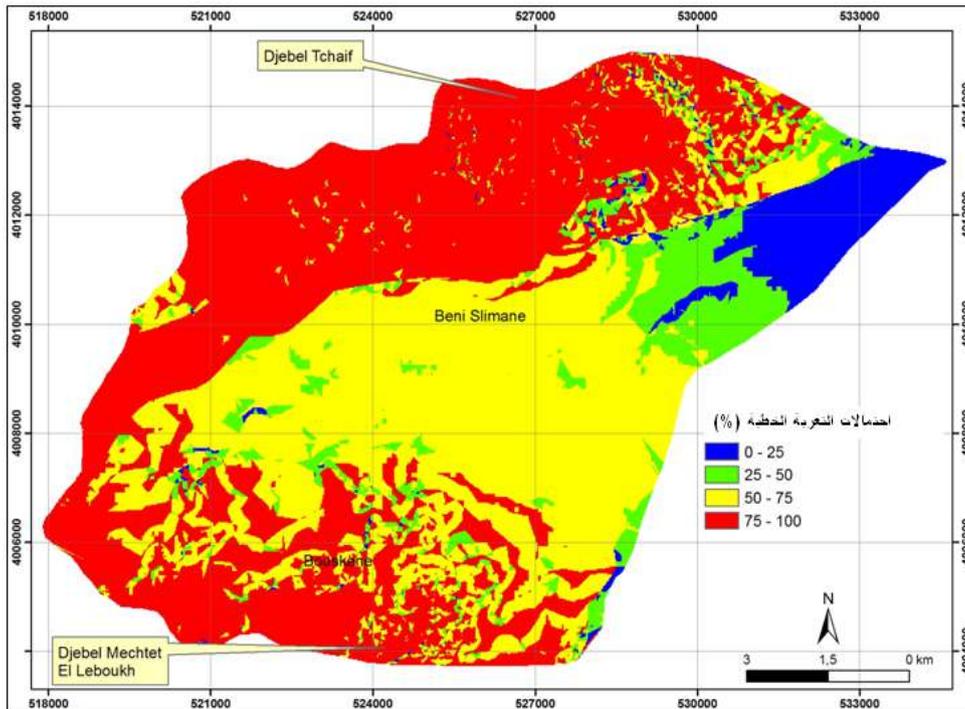
لمعرفة أثر التعرية الخطية وما تنتجه من رواسب، تم تركيب الخرائط التنبؤية مع المرئيات الفضائية ذات التركيب الملون. عملية الدمج بين الوثيقتين سمحت بتحديد المناطق ذات التنبؤ العالي للأخاديد بالنسبة لاستخدام الأرض (شكل ١٧)، بما في ذلك النشاط الفلاحي، النسيج العمراني والهياكل القاعدية. ومن الشكل ١٨ يظهر جليا أن مدينة "بني سليمان" بمحيطها متموضعة على ضفتي المجرى الرئيسي "واد عليم" ومصبات عدد كبير من الروافد المغذية له، مهددة بالرواسب المنقولة وبالتالي مشكلة نقل الأطينان (Clays) خاصة أثناء الأيام الممطرة والفيضانات التي تشهدها دائما المناطق شبه الجافة، حيث ينتمي إقليم "بني سليمان" (Roose et al., 2000). أما منطقة "السواقي" فيلاحظ أن فئة الاحتمال الأعلى (شكل ١٩) تساهم إلى حد كبير في إطماء السد المنجز على مستوى "واد محمد بن ساعد" (الواقع بين الإحداثيات "كلم" : س : ٥٢٤-٥٢٦ ع : ٣٩٩٠-٣٩٩٢) وتهديد الأراضي الزراعية والسكن الريفي المنتشر على كامل المنطقة.

تحليل حالة هذا الحوض تعود لتفاعل عدة متغيرات، منها شدة التساقط والطبوغرافية (انحدار - ارتفاع) مع طبيعة صخرية ضعيفة المقاومة (مارن وطين Marl, Clay للميوسان الأعلى) أكسبت المنطقة ديناميكية جيومورفولوجية هامة، متمثلة في عملية النحت الأخودي للسفوح والأحاديير. والمتمعن في الشكل ١٨ يلاحظ حداً فاصلاً يمتد بشكل طولي من الشرق إلى الغرب للفئة ذات أعلى احتمال، فهو مرتبط بانكسار يفصل بين السفوح والأحاديير. فحسب دراسة (Raunet, 1973) هذا الفاصل عبارة عن اتصال بين أشكال وتكوينات طينية وحصوية ارتبط حدوثه بانكسار حديث (الزمن الرابع) حيث سهّل من عملية التعرية الخطية لنحت تكوينات الكريتاسي.

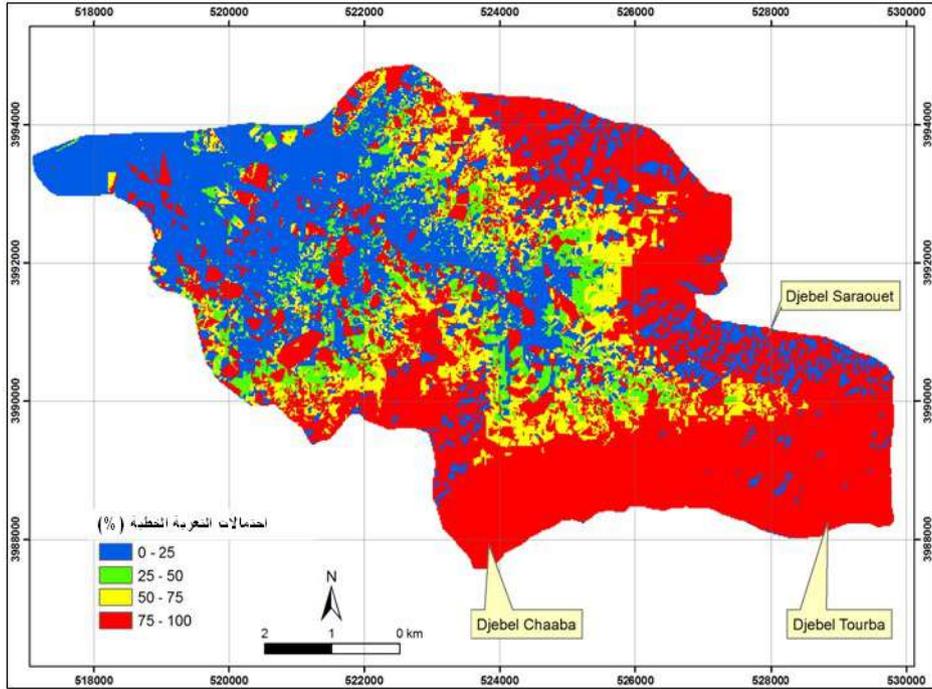
أما الحوض التجميحي "لواد محمد بن ساعد - السواقي" (اسم على مسمى) فيختلف تماما عن المنطقتين السابقتين من حيث احتمالها للتعرية الخطية، حيث يظهر أكثر تعرضا للتعرية من حوضي "تابلاط وبني سليمان" (شكل ١٦). تمثل فئة أعلى احتمال نصف مساحة المنطقة "جبال : صروات - تربة - شعبة" أما البقية فتتوزع بين الاحتمالات المتوسطة (١٢٪) والضعيفة (٣٨٪). ومما سبق ذكره يفسر بالليتولوجية الهشة (مارن Marl) وبعض المعادن الطينية (كولنيت،



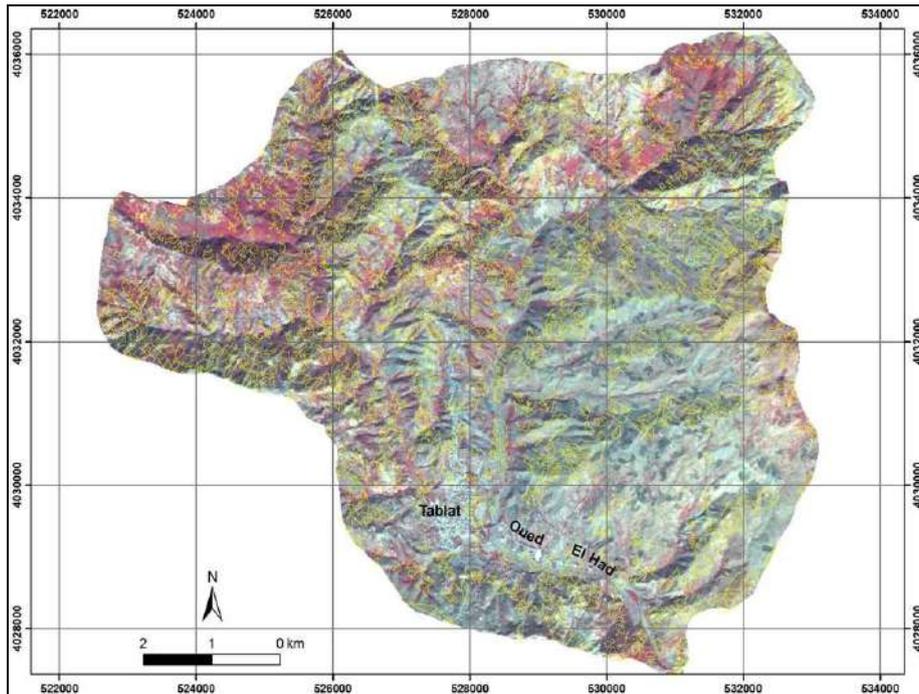
شكل ١٤ . المناطق المحتملة لعملية التعرية الخطية - منطقة تابلاط



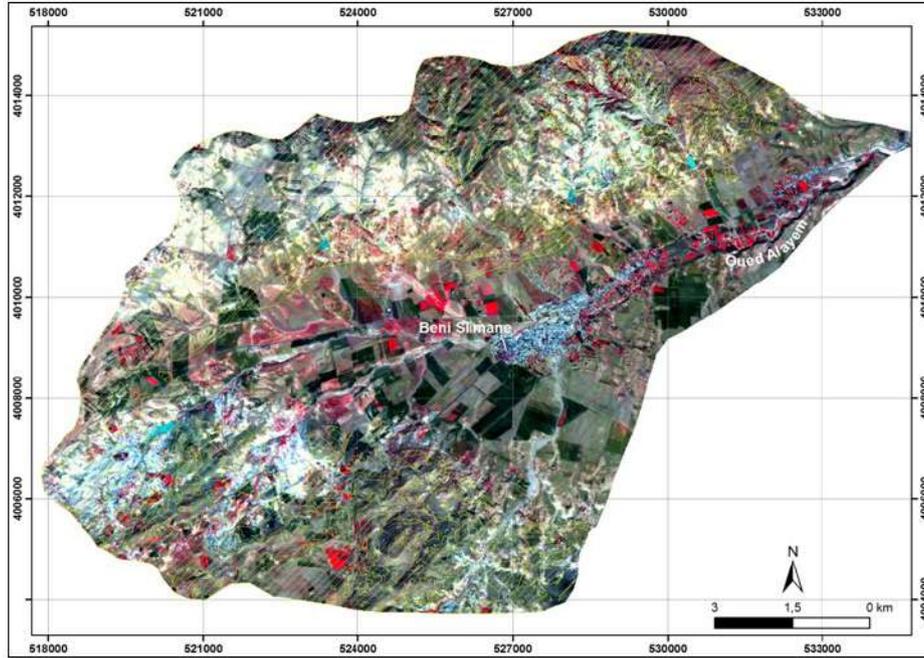
شكل ١٥ . المناطق المحتملة لعملية التعرية الخطية - منطقة بني سليمان



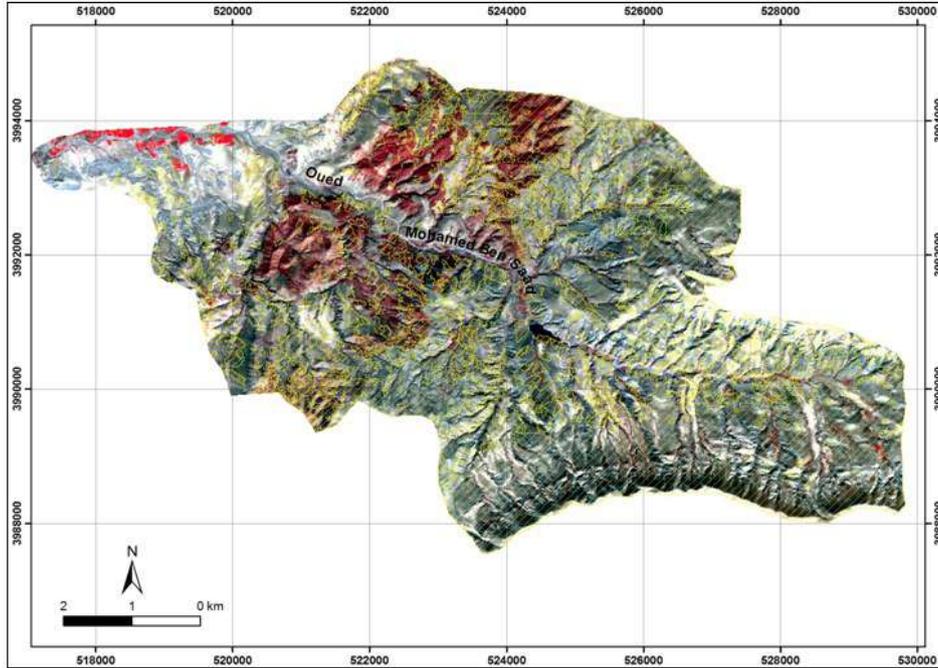
شكل ١٦. المناطق المحتملة لعملية التعرية الخطية - منطقة السواقي



شكل ١٧. أثر التعرية الخطية على الحوض التجميعي لمنطقة تابلاط : تركيب فئة التنبؤ العالي مع المرئية الفضائية لسبوت ٥ (٢٠٠٥)



شكل ١٨. أثر التعرية الخطية على مدينة بني سليمان ومحيطها : تركيب فئة التنبؤ العالي مع المرئية الفضائية نسبت ٥ (٢٠٠٥)



شكل ١٩. أثر التعرية الخطية على التكوينات السطحية لمنطقة السواقي : تركيب فئة التنبؤ العالي مع المرئية الفضائية نسبت ٥ (٢٠٠٥)

الخلاصة

أوضحت الدراسة الأهمية البالغة لهذه المقاربة الجديدة لتتبع مخاطر التعرية الخطية ومعرفة أماكنها المحتملة، مع إمكانية تعميمها على أقاليم أخرى، بمراعاة المميزات الطبيعية والبشرية لكل منطقة على حدة. ولتحسين النطاق الاحتمالي للنموذج المقترح وتطوير أبعاده، يجب إدخال متغيرات (عوامل) أخرى مع الاستعانة بأساليب إحصائية إضافية وهذا يتوقف على إشكالية وهدف الدراسة والإمكانات المتاحة لذلك. والخرائط الموضوعية المنجزة الخاصة بمعرفة المناطق المحتملة للتعرية الخطية ليست فقط نتائج علمية

للباحثين في هذا الميدان فحسب، بل وسيلة عمل لإدارة مستدامة للحفاظ على الأوساط الطبيعية ذات الأولوية في التدخل والاستصلاح. ويمكن القول: إن هذا العمل بداية طريق لأبحاث أخرى مماثلة وبرؤى متعددة، لكثير من التخصصات التي تهتم بتحليل وحماية المجال الجغرافي، وهو ما يستدعي إنشاء منظومة ذكاء جهوي (Regional Intelligence System) من شأنها أن تقلل من خطر التعرية الأخرودية. وفي ظل انتشار النموذج الإرشادي للشبكة العنكبوتية من الجيل الثاني (Web2.0 Paradigm)، يمكن الاعتماد على بيانات سكان المنطقة لتعزيز هذه المنظومة للذكاء الجهوي.

قائمة المصادر والمراجع

- Ayalew, L., Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2): 15-31.
- Beavis, S.G., 2000. Structural controls on the orientation of erosion gullies in mid-western New South Wales, Australia. *Geomorphology* 33, 59-72.
- Bledsoe, B.P., Watson, C.C., 2001. Logistic analysis of channel pattern thresholds: meandering, braiding, and incising. *Geomorphology* 38, 281-300.
- Boardman, J., Parsons, A.J., Holland, R., Holmes, P.J., Washington, R., 2003. Development of badlands and gullies in the Sneeuwberg, Great Karoo, South Africa. *Catena* 50, 165-184.
- Bonn, F., 1998. La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et SIG : possibilités, erreurs et limites. *Sécheresse*, 3, vol. 9, 185-192.
- Bou Kheir, R., Chorowicz, J., Abdallah, C., Dhont, D., 2008. Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model for Lebanon. *Geomorphology* 93, 482-492.

- Bouchnak, H., Felfoul, M. S., Boussema, M. R., Snane, M. H., 2004. Étude de l'évolution du ravinement en fonction de la lithologie dans les bassins versant des oueds El Hammam et Rmel en Tunisie centrale. *Télé-détection*, vol. 4, 1, 75-93.
- Bravard, J.P. & Petit, F., 1997. Les cours d'eau, dynamique du système fluvial. Armand Colin, 222 p.
- Capra, A., Mazzara, L.M., Scicolone, B., 2005. Application of the EGEM model to predict ephemeral gully erosion in Sicily, Italy. *Catena* 59, 133-146.
- Casalý, J., Lopez, J.J., Giraldez, J.V., 1999. Ephemeral gully erosion in southern Navarra-Spain. *Catena* 36, 65-84.
- Chung, C.F., Fabbri, A., G., 2003. Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping. *Natural Hazards* 30, Netherlands, 451-472.
- Chung, C.F., Fabbri A.G., Van Westen, C.J., 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation, *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, 107-133.
- Clech, J., 2004. Contribution méthodologique à la fouille de données complexes, Thèse de doctorat en informatique, Université Lumière Lyon 2, 201 p.
- Costa, F.M., de Almeida Prado Bacellar, L., 2007. Analysis of the influence of gully erosion in the

- flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil. *Catena* 69, 230-238.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Tham, L.G., Ng, K.C., Shum, W.L., 2004. Logistic regression modelling of storm-induced shallow landsliding in time and space of natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63: 315-327.
- Dai, F.C., Lee, C.F., 2003. A spatiotemporal probabilistic modelling of storm-induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(5): 527-545.
- Dai, F.C., Lee, F.C., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology* 42, 213- 228.
- Daoudi, M., Dewitte, O., Gerard, P., Abdellaoui, A. & Ozer, A. 2013. Modélisation et géomorphologie dynamique dans le nord de l'Algérie. 8e Conférence Internationale de Géomorphologie de l'AIG-Paris, 27-31 aout (oral).
- Bamoussa, A.O., Matar, S., Daoudi, M. & Al-Doaan, M., 2012. Structural and geomorphic features accommodating groundwater of Al-Madinah City. *Arab J Geosci* (2013) 6:3127–3132 DOI 10.1007/s12517-012-0574-x <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12517-012-0574-x>
- Daoudi, M. & Bamoussa, A.O., 2011. Clay Minerals Accelerating Gully Erosion in Wadi Isser Watershed, Northern Algeria, Mediterranean Region. *Int. j. econ. env. geol.* Vol: 2(2) 5-9. http://www.econ-environ-geol.org/index.php?option=com_content&view=article&id=196&Itemid=28
- Daoudi, M., 2008. Analyse et prédiction de l'érosion ravinante par une approche probabiliste sur des données multisources. Cas du bassin versant de l'oued Isser, Algérie, Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département de Géographie, 288 p.
- Daoudi, M., Abdellaoui, A., Boussema, M.R., 1994. SIG pour le suivi de l'évolution de l'érosion par ravinement. Cas de la zone de Tablat - Algérie. 6e Conférence canadienne sur les SIG, Ottawa du 4 au 10 juin, 594-604.
- Daoudi, M., Dewitte, O., Gérard, P., Cornet, Y., Nicolas, J., Abdellaoui, A., Ozer, A., 2007. Controlling factors of gully erosion in the upper part of the Isser River watershed (Algiers, N Algeria). European Geosciences Union (EGU) Vienna, Austria.
- Dewitte, O., Daoudi, M., Bosco, C. & Eeckhaut, M.V.D. 2015. Predicting the susceptibility to gully initiation in data-poor regions. Vol. 228, pp 101–115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X14004188>
- Dewitte, O., Bosco, C., Van Den Eeckhaut, M. and Daoudi, M., 2011. A statistical approach to predict gully initiation susceptibility with common spatial data. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 13, PREVIEW, EGU General Assembly.
- Dewitte, O., Daoudi, M., Ozer, A., 2008. Mapping gully erosion susceptibility at the regional scale using a likelihood-ratio-based approach: the Isser River area (N Algeria). European Geosciences Union (EGU) Vienna, Austria.
- Dewitte, O., 2006. Cinématique de glissement et prédiction de leur activation : approche probabiliste dans la région d'Oudenaarde, Thèse de doctorat en Sciences, Université de Liège, Faculté des Sciences, Département de Géographie, 216 p.
- Duyme, F., 2001. Qualité des modèles de régression logistique binaire : effet de la proportion d'individus par catégorie et du mode d'utilisation des données. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques, Gembloux.
- Fischer, N., 2004. Fusion statistique de fichiers de données, Thèse de doctorat en informatique, Conservatoire National Des Arts Et Métiers, Paris, 130 p.
- Guzzetti, F., 2005. Landslide hazard and risk assessment. Concepts, methods and tools for the detection and mapping of landslides, for landslide susceptibility zonation and hazard assessment, and for landslide risk evaluation, Thesis of doctorate, Rheinischen Friedrich- Wilhelms-Universität Bonn, 389 p.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Foltz, R.B., 2000. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS, In: Proceedings 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling, Alberta, Canada, 9 p.
- Heusch, B., 1970. Estimation et contrôle de l'érosion hydraulique. *Soc. Sc. Nat. Phys. Maroc, spécial*, 41-54.
- Hosmer, D.W. and Lemeshow, S., 2000. Applied logistic regression, Wiley, New York, 375 p.
- Hyde, K., Woods, S.W., Donahue, J., 2007. Predicting gully rejuvenation after wildfire using remotely sensed burn severity data. *Geomorphology* 86, 496-511.
- Kalman, R., 1970. Ruissellement et érosion en nappe (Expérimentation au simulateur de pluie). *Annales de la Recherche Forestière au Maroc, tome 12, Rabat*, pp. 177-287.
- King, G., Zeng, L.C., 2001. Logistic regression in rare events data. *Political Analysis*, 9(2): 137-163.

- Lee, S., 2004. Application of likelihood ratio and logistic regression models to landslide susceptibility mapping using GIS. *Environmental Management*, 34(2): 223-232.
- Lee, S., 2005a. Application and cross-validation of spatial logistic multiple regression for landslide susceptibility analysis. *Geosciences Journal*, 9(1): 63-71.
- Lee, S., 2005b. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data journals. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7) : 1477-1491.
- Martinez-Casasnovas, J.A., Ramos, M.C., Poesen, J., 2004. Assessment of sidewall erosion in large gullies using multitemporal DEMs and logistic regression analysis. *Geomorphology*, 58(1 4): 305-321.
- Menéndez-Duarte, R., Marquínez, J., Fernández-Menéndez, S., Santos, R., 2007. Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and geomorphic setting. *Catena* 71, 267-278.
- Meyer, A., Martinez-Casasnovas, J.A., 1999. Prediction of existing gully in vineyard parcels of the NE Spain: a logistic modelling approach. *Soil et Tillage Research* 50, 319-331.
- Moreiras, S.M., 2005. Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology* 66, 345-357.
- Ohlmacher, G.C., Davis, J.C., 2003. Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69(3-4): 331-343.
- Poesen, J., Vandaele, K., Van Wesemael, B., 1998. Gully erosion: Importance and model implications. *NATO ASI Series, Vol.155, Modelling Soil Erosion by Water*, 285-311.
- Poesen, J., Vandekerckhove, L., Nachtergaele, J., Oostwoud Wijdenes, D., Verstraeten, G., 2002. Gully erosion in Dryland Environments, *Dryland Rivers: Hydrology and geomorphology of Semi-arid Channels*, 229-262.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., Valentin, C., 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena* 50, 91-133.
- Raunet, M., 1973. Etude morphopédologique dans la région des Béni Slimane (Algérie), contraintes pour la mise en valeur. *Revue d'agronomie tropicale*, 2-3, V. 29, 258-299.
- Richard, J., and Aspinall, R.J., 2002. Use of logistic regression for validation of maps of the spatial distribution of vegetation species derived from high spatial resolution hyperspectral remotely sensed data, *Ecological Modelling* 157, 301-312.
- Roose, E., Chebbani, R., Bourougaa, L., 2000. Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation, *Sécheresse*, volume 11, Numéro 4, 317-326.
- Sidorchuk, A., 1999. Dynamic and static models of gully erosion, *Catena* 37, 401-414.
- Valentin, C., Poesen, J., Li, Y. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* 63, 132-153.
- Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. & Vandekerckhove, L. 2006. Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology* 76, 392-410.
- Vanwalleghem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G., Deckers, J., 2008. Spatial analysis of factors controlling the presence of closed depressions and gullies under forest : Application of rare event logistic regression. *Geomorphology* 95, 504-517.
- Yesilnacar, E., Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3-4): 251-266.

Numerical Modeling for Gully Erosion in the North of Algeria based on Data of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Mohammad Abbas Daoudi

King Abdulaziz University

Abstract. The problems of soil erosion are largely widespread in the countries of the Mediterranean basin. The process of gully erosion is a complex phenomenon with disastrous consequences. It particularly affects northern Algeria, decreasing the potentialities of the water tanks, reducing cultivable lands availability and degrading infrastructures. Therefore, this work studies the analysis and the prediction of gully erosion by using a probabilistic approach based on multisource data. The objective of this search is to answer to the three following questions: *i)* which factors support the process of gully erosion ? *ii)* how does a process of gully erosion develop? *iii)* which are the zones favourable to gully erosion ? Works are undertaken on the catchment area of the *Isser* River. We focused the applications on the upstream part of the basin. In this research, we study a North-South transect which corresponds to three under-basins slopes. The choice of these tests areas answers to four criteria defined in our method: the representativeness, the homogeneity, the availability of former data and, finally, the accessibility. After the completion of the multisource data, modelling and multivariate analysis for the prediction of gully erosion. The combination factor-process by the univariate analysis allows on the one hand, to highlight the variables controlling the process of gully erosion, and on the other hand, to analyse the variables on a hierarchical basis and to know their degree of influence. The multivariate analysis, by the logistic regression model (LRM), enabled us to select the significant variables and to locate the most favourable zones for the process of gully erosion. The validation of the models is evaluated using the curves of lift spin. The results suggest that the factors highlighted by the model to be most influential on gully erosion are: the lithology, the slope, the morphopedology, the rainfall erosivity and the land cover. The synthesis of this approach is illustrated in the form of charts of gully erosion risk maps in four classes of probability. The assessment of the study shows the fundamental interest of this approach using geographical information systems and remote sensing, in particular for the watersheds of the southern Mediterranean, with the possibility of extending this methodology to other regions.

Key words: Gully Erosion - Numerical Modeling – GIS - Remote Sensing – Algeria.