Derna University Journal of Applied Sciences
Vol. 3, Issue 1, 2026
ISSN: 3079-0719 (Online) | DOI: https://doi.org/10.58987/4me9qv69

التحليل المورفولوجي لانحدارات جانبي المجرى الرئيسي لحوض وادي بو مسافر باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية وحساب ظل زاوية الانحدار

عائشة عبد المنصف الخجخاج
قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة درنة، ليبيا
aisha.alkhjkhaj@uod.edu.ly

Received: May 05, 2026; **Accepted**: Jun 15, 2026

الملخص—هدفت هذه الدراسة إلى قياس انحدارات جانبي المجرى الرئيسي لحوض وادي بو مسافر، حيث تم استخدام قانون (فيثاغورس) لحساب ظل زاوية الانحدار في مثلث قائم الزاوية لاستخراج بعض الخصائص المورفولوجية لجانبي المجرى، اعتمادًا على تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) باستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، حيث أجريت هذه الدراسة بأخذ مجموعة من المقاطع العرضية لحوض وادي بو مسافر على امتداد مجراه الرئيسي، وذلك بالاعتماد على خريطة كنتورية مستخرجة من نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) ذات فاصل رأسي (20 مترا) وبلغ عدد المقاطع العرضية (21) مقطعًا وبفاصل كنتوري قدره (20 مترًا) بين المقاطع المتتالية، وذلك بهدف تسليط الضوء على أبرز الأشكال والزوايا لانحدار جانبي المجرى ومراحل تطوره، إلى جانب الحصول على قياسات دقيقة تساهم في توسيع قاعدة البيانات الجيومورفولوجية بمنطقة الدراسة، واعتمدت الدراسة الأسلوب الكمي من خلال قياس الخصائص المورفولوجية للمقاطع وتطبيق معادلة حساب ظل زاوية الانحدار، بالإضافة إلى استخدام المنهج الوصفي التحليلي في وصف وتحليل القطاعات المدروسة. فمن أبرز النتائج التي توصلتْ إليها هذه الدراسة مُلاحظة أن المقاطع العرضية المدروسة تتسم بالتناسق من حيث الشكل، وذلك لتجانس التكوينات الجيولوجية للحوض، حيث بلغ متوسط عرض الفتحة في الجانب الأيمن (319.2 مترًا) وفي الجانب الأيسر (315.7 مترًا)، كما يسود في المجرى الرئيسي نشاط عمليات النحت الرأسي حيث بلغ عمق المجرى أقصى حد له عند اجتيازه الحافة الأولى الشديدة الانحدار, وبلغ المتوسط العام لزوايا انحدار الجانبين الأيمن والأيسر نحو (13°)، وهو ما يصنف ضمن فئة الانحدارات فوق المتوسطة مما يشير إلى أن الحوض لا يزال في مرحلة مبكرة من دورته التحاتية وأنه في مرحلة الشباب.

الكلمات المفتاحية—التحليل المورفولوجي؛ حساب المثلثات؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ زاوية الانحدار

Abstract—This study aimed to measure the slopes of both sides of the main channel in the Bou Masfer watershed, using the Pythagorean theorem to calculate the tangent of the slope angle in a right triangle. This quantitative approach derives key morphological characteristics of both channel flanks via geographic information system (GIS) analysis of a digital elevation model (DEM). Twenty-one cross-sectional profiles were extracted along the main channel from a contour map derived from the DEM, with a vertical contour interval of 20 m and a 20 m spacing between consecutive sections. The objective was to highlight prominent slope forms, angles, and evolutionary stages, while generating precise measurements to expand the geomorphological database for the study area, A quantitative methodology was applied, involving morphological measurements of cross-sections and calculation of the tangent of the slope angle, complemented by descriptive-analytical methods to describe and analyze the studied cross sections. Key findings reveal symmetrical cross-sectional shapes due to homogeneous geological formations, with average opening widths converging at 319.2 m (right flank) and 315.7 m (left flank). Vertical incision dominates the main channel, reaching maximum depth as it traverses the steeply sloping initial

edge. Average slope angles for both flanks approximate 13°, classifying them as moderately steep, indicative of an early youthful stage in the basin's geomorphic cycle.

Keywords—Morphological analysis; Trigonometry; Geographic information systems; Angle of slope

1. المقدمة

تلعب المقاطع التضاريسية دوراً أساسيًا في الدراسات الجيومورفولوجية التي تهدف إلى توضيح طبيعة انحدارات جوانب الأودية، ويُعرَّف القاطع التضاريسي بأنه خط نظري لا يمكن رؤيته على الطبيعة، ويتم رسمه من خريطة كنتورية ويُطلق عليه اسم القطاع فيعمل على إعطاء صورة جانبية لمنطقة على طول هذا الخط المحدد [1]، حيث يوجد نوعان رئيسيان من القطاعات التضاريسية هما: المقاطع الطولية والمقاطع العرضية، حيث ترتكز هذه الدراسة على النوع الثاني من القطاعات التضاريسية، حيث تساهم المقاطع العرضية للمجرى الرئيسي في توضيح الشكل العام للحوض، بما في ذلك عمقه، واتساع فتحته و درجة انحدار جوانبه، فضلاً عن دوره في تحديد المراحل الجيومورفولوجية التي يمر بها الحوض، كما يجدر بالإشارة إلى التباين الذي يمكن أن يحدث في بعض السّمات للمقاطع العرضية على طول المجرى الرئيسي، فقد نجد أن بعض المقاطع متشابهة ومنتظمة الانحدار، والبعض الآخر قد تكون غير منتظمة الانحدار؛ ولعل هذا يرجع إلى عدة أسباب: أهمها مدى تباين التكوينات الجيولوجية بين جانبي الوادي، حيث يكون الانحدار شديدًا على الجانب المكون من صخور صلبة مُقاومة لعمليات التعرية والنحت، بينما يكون الانحدار الخفيف على الجانب المكون من صخور هشة التي يسهل نحتُها وتعريتُها [2]، كما أهتمت العديد من الدراسات الجيومورفولوجية بدراسة المقاطع التضاريسية واستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) منها دراسة لين وأوغوتشي [3] التي تتمحور حول تحليل نموذج الارتفاع الرقمي على المقاطع الطولية والعرضية لأحواض تصريف المياه الجبلية شديدة الانحدار، ومن أبرز نتائجها أن التباين المكاني لخصائص المقاطع العرضية يرجع إلى طبيعة تضرس السطح، وتأثره بعمليات التعرية، كما ناقشت دراسة بيلوتي [4] كيفية استخراج المقاطع العرضية من نموذج الارتفاعات الرقمية لظاهرة انتشار موجة الانهيار أحادية البعد في الوديان الجبلية، وأظهرت نتائج هذه الدراسة فرصة استخراج القطاعات العرضية آليا من نموذج الارتفاع الرقمي بدقة عالية والتحكم في توزيعها وابعادها، بينما في دراسة بيتكاس وآخرون [5] تم تطوير طريقة جديدة للاستخراج التلقائي لمقاطع عرضية نهرية غير مستوية من نماذج الارتفاعات الرقمية، حيث مكنت هذه الطريقة من استخراج قطاعات عرضية غير مستوية ومتعامدة مع اتجاه الجريان المائي مما ساهمت في تحسين دقة نتائج نموذج الفيضانات والتحليل الهيدرولوجي، كما طرحت دراسة عوض ومختار [6] كيفية توظيف التقنيات الجيومكانية في دراسة الخصائص المورفولوجية لمنحدرات أودية حوض وادي الكوف، ومن أبرز نتائجها تتسم القطاعات التضاريسية المدروسة بتناسق من حيث الشكل بسبب طبيعة التكوينات الجيولوجية وحدوث عمليات أسر نهري في حوض وادي الكوف الفرعي، كما تناولت دراسة دسوقي [7] التحليل المورفومتري لمنحدرات الحافة الشرقية لنهر النيل من وادي الرشراش جنوباً ووادي الجبو شمالاً باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي وقياسات ميدانية، حيث توصلت هذه الدراسة إلى سيادة المنحدرات الجرفية والشديدة على سطح منطقة الدراسة.

يتبين من خلال الدراسات السابق ذكرها أنها ركزت على استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية ونظم المعلومات الجغرافية في استخراج وتحليل القطاعات التضاريسية وابراز أهمية هذه التقنيات في الدراسات المورفولوجية. وتتفق هذه الدراسة مع تلك الدراسات السابقة في اعتمادها على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، ونموذج الارتفاعات الرقمية في استخراج القطاعات التضاريسية وتحليلها، إلا أن هذه الدراسة تتميز عمّا سبق ذكرها في اعتمادها على استخدام قانون فيثاغورس في حساب ظل زاوية الانحدار لجانبي المجرى الرئيسي لمنطقة الدراسة، بهدف استخلاص خصائصهما المورفولوجية بدقة أكبر.

تتمثل مشكلة الدراسة في محدودية الأبحاث التي تناولت تحليل المقاطع التضاريسية العرضية لمنحدرات جانبي المجرى الرئيس لحوض وادي بو مسافر، على الرغم من الأهمية المكانية التي يتمتع بها هذا الحوض داخل مدينة درنة. ومع التوسع العمراني، أصبح الحوض يجاور مشروعات سكنية قائمة مثل مشروع حي السلام (2000 وحدة سكنية) ومشروع الساحل الغربي (إمبخ القروض)، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى دراسة خصائصه المورفولوجية للكشف عن طبيعة المنحدرات والعوامل المؤثرة فيها. وتأتي هذه الدراسة لتوظيف نموذج تحليلي يجمع بين تقنيات الجيومكانية والعلاقات الهندسية المعتمدة على قانون فيثاغورس وحساب ظل زاوية الانحدار، بهدف تحليل انحدارات جانبي المجرى الرئيس لحوض وادي بو مسافر وتوضيح دور هذا النموذج في تفسير خصائصه المورفولوجية.

وبناء على ما سبق تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن عدد من التساؤلات من أهمها:

- هل القطاعات المدروسة متناسقة من حيث الشكل؟

- ما متوسط درجات الانحدار في القطاعات المدروسة؟
- هل منحدرات الجانب الأيمن أكثر انحداراً من الجانب الأيسر بالمجرى الرئيسي؟
- ما مراحل تطور النحت الرأسي في حوض وادي بو مسافر؟

2. طرق البحث

1.2. منطقة الدراسة

يمتد حوض وادي بو مسافر بين دائرتي ´´53´37 °32 و´´2´47 °32 شمالاً، وخطي طول ´´27´25 °22 و´´51 ´35 °22 شرقاً, حيث تصل مساحته إلى (79.1كم^2) بمحيط (78.9كم) وأقصى طوله يصل إلى (25.2كم) ومتوسط عرضه فقد بلغ (3.1كم), أما جغرافياً فيقع حوض وادي بو مسافر في المدخل الغربي لمدينة درنة الساحلية الواقعة في شمال شرق الأراضي الليبية حيث يحده من الشرق حي الساحل الشرقي (امبخ القروض) ومن الغرب حي السلام ، ويُصنف حوض وادي بو مسافر من ضمن الأحواض ذات التصريف الخارجي المنتشرة في إقليم الجبل الأخضر، وهو وادٍ مستقل أي أنه حوض المستقل وتحده خطوط تقسيم المياه، ويصب مجراه الرئيس بصورة مباشرة في البحر المتوسط، ويتجه في احباسه العليا نحو الجنوب الشرقي على ارتفاع (431 متر) فوق مستوى سطح البحر؛ بحيث تفرض ميل الطبقات والبنية الجيولوجية هذا الاتجاه، ثم ينعطف شمالاً عند عبوره الحافة الأولى للجبل الأخضر ليصب في البحر المتوسط, شكل (1).

شكل 1. موقع حوض وادي بو مسافر من إقليم الجبل الأخضر [8]

2.2. منهجية الدراسة

اتبعت هذه الدراسة الأسلوب الكمي من خلال قياس الخصائص المورفولوجية للمقاطع وتطبيق معادلة حساب ظل الزاوية للمثلث القائم، بالإضافة إلى استخدام المنهج الوصفي التحليلي في وصف وتحليل القطاعات العرضية المدروسة، كما تمر هذه الدراسة بثلاث مراحل رئيسية توضح فيما يلي:

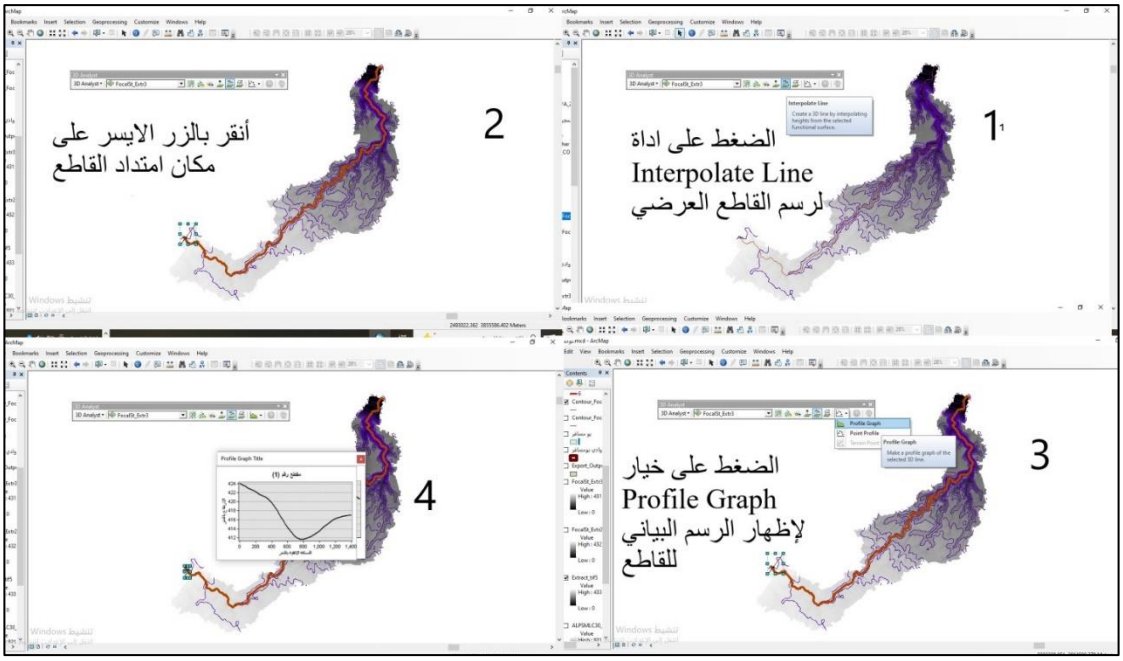
1.2.2. المرحلة الأولى: اعداد البيانات وتحليلها

- تحميل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بدقة مكانية تبلغ 30 مترا، تم الحصول عليها مم منصة Open Topography (https://portal.opentopography.org) [8].
- استخراج حوض وادي بو مسافر، وشبكة تصريفه من خلال تحليل نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بواسطة برنامج (Arcmap10.7) وأدوات (Hydrology) الموجودة في قائمة (Arc Toolbox).

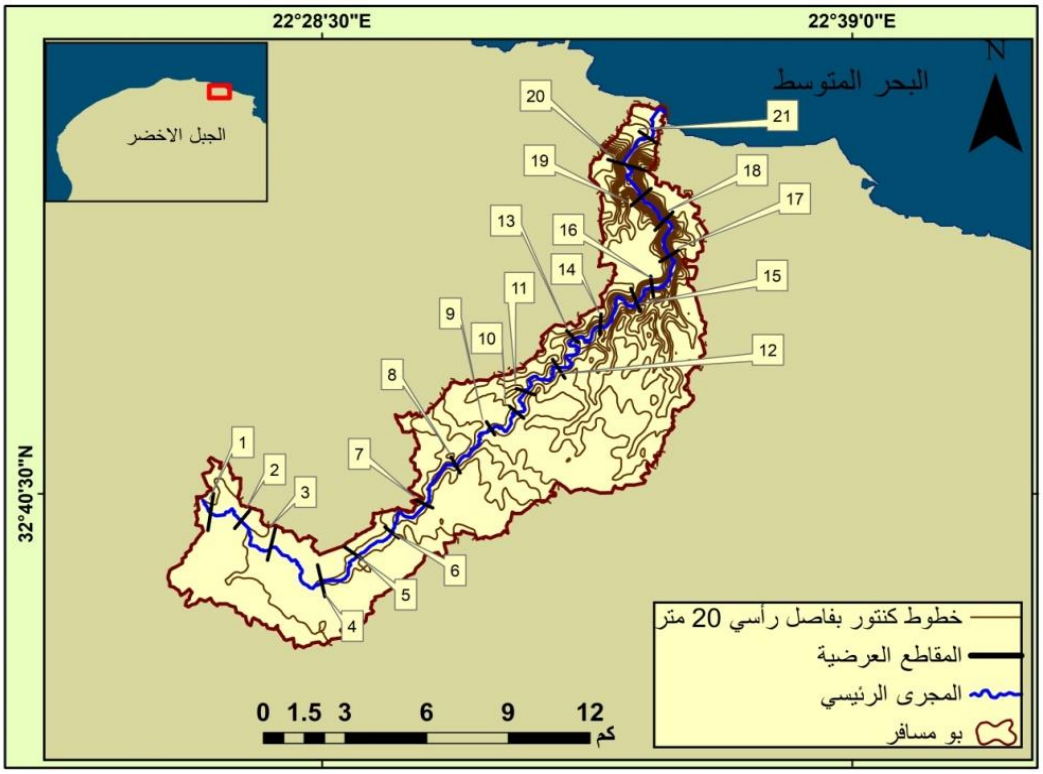
- استخراج خطوط الارتفاعات المتساوية بفاصل رأسي 20 متر بواسطة أداة (Contour) الموجودة في قائمة (Arc Toolbox).

2.2.2. المرحلة الثانية: إعداد المقاطع العرضية

تم أخذ القطاعات العرضية لمنحدرات جانبي الوادي على امتداد المجرى الرئيسي للحوض بالاعتماد على الخريطة الكنتورية ذات فاصل رأسي (20متر) المستخرجة من نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) بفاصل كنتوري بين كل مقطع ومقطع الآخر (20متر) بواسطة قائمة (3D Analyst) شكل (2) ، حيث يبلغ عدد هذه المقاطع (21 مقطع عرضي) الموضحة في شكل (3).



شكل 2. صورة توضيحية لكيفية أخذ القطاعات التضاريسية العرضية بواسطة قائمة (3D Analyst) في برنامج **ArcMap 10.7**



شكل3. موقع المقاطع العرضية لمنطقة الدراسة [8]

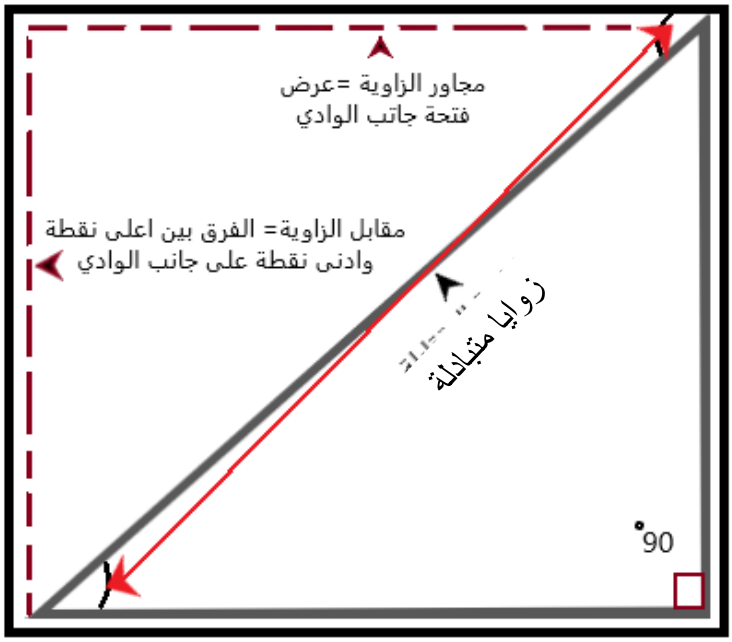
3.2.2. المرحلة الثالثة: حساب درجات الانحدار

استخراج زاوية الانحدار للجانبين الأيمن و الأيسر لكل مقطع عرضي، وذلك من خلال تمثيل كل جانب من جانبي المجرى في صورة مثلث قائم الزاوية كما هو موضح في الشكل (4)، حيث إن ظل زاوية الانحدار = طول المقابل \ طول الضلع المجاور، وإن الزوايا المتبادلة متساوية في قيمة الانحدار، وبناءً على ذلك، تم تمثيل كل جانب من جانبي الوادي في صورة مثلث قائم الزاوية، بحيث تمثل المسافة الأفقية بين أعلى نقطة وأدنى نقطة الضلع المجاور للزاوية و فرق الارتفاع بين أعلى نقطة وأدنى نقطة في الوادي هو الضلع المقابل للزاوية كما في شكل (5)، وبالتالي يمكن حساب زاوية انحدار جانب الوادي بالمعادلة التالية [6]:

$$\theta = \tan^{-1}\frac{\Delta H}{\Delta x}$$

حيث:

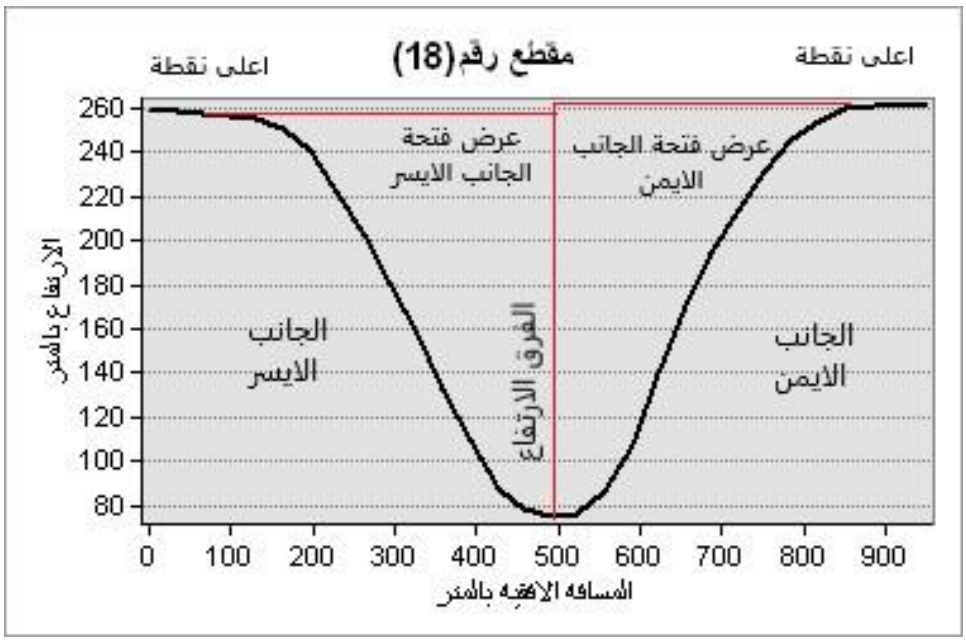
θ: زاوية ميل الانحدار.
ΔH: الفرق بين أعلى نقطة وأدنى نقطة على جانبي الوادي بالمتر.
Δx: عرض فتحة جانب الوادي بالمتر.



شكل 4. طريقة حساب ظل زاوية انحدار المجرى باستخدام مثلث قائم الزاوية

بعد تطبيق معادلة زاوية انحدار جانبي الوادي للمقاطع المدروسة تم الاعتماد على تصنيف يونج لدرجات وأنواع الانحدار وذلك على نحو الآتي [9]:

- الانحدارات الخفيفة، وتتراوح ما بين (0° – 5°).
- الانحدارات المتوسطة، وتتراوح ما بين (5° – 10°).
- الانحدارات فوق المتوسطة، وتتراوح ما بين (10° – 18°).
- الانحدارات الشديدة، وتتراوح ما بين (18° – 30°).
- الانحدارات الشديدة جداً، وتتراوح ما بين (30° - 40°).
- الانحدارات جرفية، وتتراوح ما بين (45° - 90°).

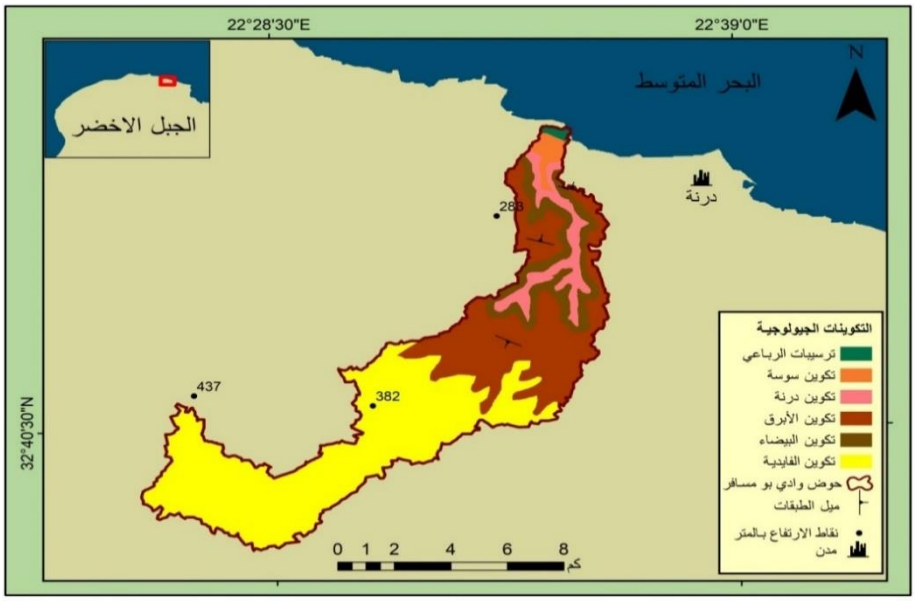


شكل (5). كيفية استخراج البيانات المطلوبة لحساب ظل زاوية الانحدار

3. الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة

1.3. التكوينات الجيولوجية

اعتمد وصف الطبيعة الجيولوجية لمنطقة الدراسة على الخرائط الجيولوجية ذات الصلة بالمنطقة منها لوحة البيضاء ولوحة درنة بمقياس رسم 1:250000 [10]، فضلاً عن نتائج الدراسة الميدانية، حيث يُلاحظ من خلال شكل (6) أن التكوينات الجيولوجية في حوض وادي بو مسافر تعود إلى الزمن الجيولوجي الثالث وبعض رسوبيات العصر الرباعي، فتكوين الفايدية (أوليجوسين علوي- ميوسين أوسط) هو أكثر التكوينات انتشاراً في منطقة الدراسة بنسبة (53.6%) من إجمالي مساحة الحوض، حيث يتألف تكوين الفايدية في جزئه السفلي بطبقة من الطين أو المارل يميل للأخضرار، بينما جزئه العلوي يتألف من حجر جيري كلكارنيتي خشن الحبيبات ودقيق التبلور وضعيف الصلابة، كما يُغطي تكوين الأبرق (أوليجوسين أوسط -علوي) نسبة (28.6%) من مساحة الحوض وهو يتألف من حجر جيري كالكرنيتي يغلب عليه اللون البني، وحجر جيري دولوميتي وبه بعض الأحافير الشاطئية التي تعكس بيئة ترسيبه، أما نسبة (17.8%) من مساحة حوض وادي بو مسافر فهي متوزعة بين تكوين البيضاء (أوليجوسين سفلي) وتكوين درنة (إيوسين علوي) وتكوين سوسة (إيوسيني) وترسيبات الرباعي Quaternaryالمتمثلة في رواسب الأنهار و البحار.



شكل6. التكوينات الجيولوجية لحوض بو مسافر [10].

2.3. المناخ

تقع منطقة الدراسة ضمن نطاق أقليم الشبة الجاف حسب تصنيف ثورنثويت لمناخ الجبل الأخضر [11]، حيث يتميز بصيفه الحار والجاف، وشتائه المعتدل والممطر، فمن خلال تتبع عناصر المناخ في محطات الارصاد الجوية القريبة من منطقة الدراسة جدول (1)، يتضح أن المتوسط السنوي لدرجة الحرارة في محطتي الدراسة تتباين تبعاً لفصول السنة، وبشكل أدق ترتفع درجات الحرارة في محطة الفتائح مقارنةً بمحطة درنة، حيث يعكس هذا التباين طبيعة المناخ في حوض وادي بو مسافر وتأثره بالموقع الجغرافي ومدى قربه وبعده عن مؤثرات البحرية.

جدول 1. المتوسط الشهري لدرجات الحرارة في محطتي درنة الساحلية والفتائح خلال فترة (1980 – 2010 م) [12]

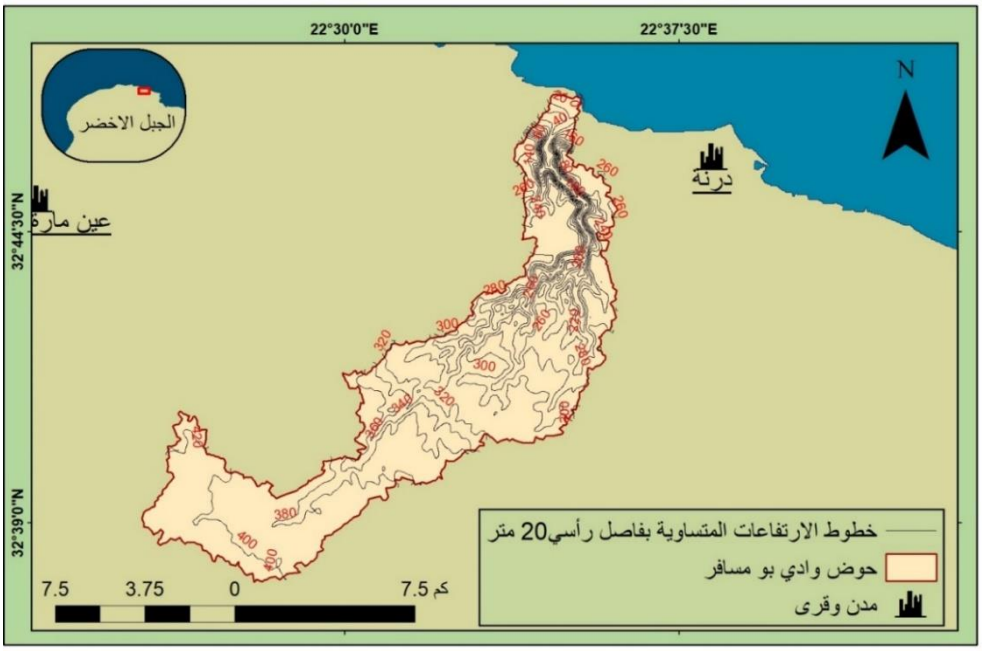
المحطات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المتوسط السنوي
درنة الساحلية	14.3	14.2	15.6	17.9	20.7	23.8	25.9	26.7	25.5	23.1	19.4	15.9	20.25
الفتائح	12	11	12.3	16.2	19.4	23.3	25	25.5	23.6	21	17	13	18.275

جدول 2. معدلات الأمطار في محطتي درنة الساحلية والفتائح خلال فترة (1980 – 2010 م) [12]

المحطات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل السنوي
درنة الساحلية	61.6	39.7	22.5	9.8	4.5	3.2	0.0	0.03	4.4	23	27	55.5	262
الفتائح	85.2	43	34.2	10.4	6.9	0.49	0.12	0.07	4.1	24.3	31.8	85.4	326

3.3. التضاريس

من خلال الاطلاع على خريطة خطوط الارتفاعات المتساوية شكل (9)، يتضح أن المنابع العليا لحوض وادي بو مسافر تصل ارتفاعها إلى (433 م) فوق مستوى سطح البحر، حيث ينحدر بمنابعه من الشمال الغربي إلى الجنوب الغربي على هيئة منعطف كبير، ثم يتجه إلى الشمال الشرقي حيث أراضي وسط الحوض ثم يتجه شمالاً نحو مصبه في البحر، بينما يدل التقارب الشديد لخطوط الكنتور ما بين ارتفاعات (80-280 م) على شدة انحدار سطح الارض في تلك المنطقة، كما يدل تباعد خطوط الكنتور في منابع العليا على انبساط الأراضي وسهولة تضريسها.



شكل9. خريطة خطوط الارتفاعات المتساوية لحوض وادي بو مسافر [8]

4.3. التربة والغطاء النباتي

تتغطى المنابع العليا وأراضي وسط الحوض بالتربة الطينية الحمراء التي يطلق عليها اسم تربة التيراروسا Terra Rossa وهي تربة حمراء اللون لكثرة أكاسيد الحديد فيها، بالإضافة إلى التكوينات الصخرية العارية التي تفتقر إلى الغطاء الترابي حيث تغطي منحدرات المجرى الرئيسي في منطقة الدراسة وتكون في بعض الاماكن مختلطة ببعض الاتربة، وتتميز التكوينات الصخرية العارية بنفاذية منخفضة وارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم [13]. ويتميز الغطاء النباتي في منطقة الدراسة بكونه طبيعي أي بدون تدخل الإنسان ويتكون من مجموعة متنوعة من النباتات العطرية، وبعض الأشجار والشجيرات والأعشاب الحولية أو الموسمية.

4. مناقشة النتائج

يتبين من خلال تطبيق معادلة حساب ظل زاوية انحدار جانبي المجرى (الأيمن والأيسر) للمقاطع العرضية المدروسة، كما هو موضح في الشكل (10)، ما يلي:

أولاً: تحليل المقاطع التضاريسية العرضية

يبلغ متوسط عرض فتحة الوادي في المقاطع العرضية المأخوذة على طول المجرى الرئيسي نحو (635 م)، وتتراوح قيم عرض الفتحة ما بين (325 م) بمقطع رقم (6) و(1375 م) بمقطع رقم (1)، كما تتقارب قيم متوسط عرض الفتحة بين الجانبين الأيمن والأيسر في القطاعات المدروسة؛ إذ بلغ متوسطها نحو (319.2 م) في الجانب الأيمن، مقابل (315.7 م) في الجانب الأيسر (جدول 3). ويشير هذا التقارب في قيم متوسط عرض الفتحة بين الجانبين إلى درجة من التناسق في الشكل العام لغالبية القطاعات المدروسة، وقد يعكس ذلك تقاربًا نسبيًا في تأثير عمليات النحت والتطور الجيومورفولوجي على جانبي المجرى الرئيسي ضمن المقاطع المدروسة؛ ويرجع ذلك إلى تشابه التكوينات الجيولوجية للحوض الذي تتألف صخوره أساساً من الحجر الجيري بنسبة (90 %)، أما الباقي فعبارة عن مارل ودولوميت [10].

وإلى جانب التباين في عرض فتحة الوادي، يتبين من خلال تتبع مراحل تطور النحت الرأسي الذي يدل عليه أعماق المجرى الرئيسي في المقاطع المدروسة كما هو موضح في جدول (3)، نشاط عمليات النحت الرأسي للمجرى الرئيسي عند اجتيازه الحافة الأولى؛ إذ تراوحت أعماق المجرى بين (225 م) في المقطع رقم (20) و(60 م) في المقطع رقم (17)؛ ولعل ذلك يرجع إلى زيادة معدل انحدار سطح الحوض أثناء اجتيازه للحافة الأولى في الجبل الأخضر مقارنة بانخفاض درجة انحدار السطح على المصطبة الأولى.، وبالتالي قلة وضوح مظاهر النحت الرأسي في المقاطع الواقعة ضمنها. وعليه، يمكن القول إن مظهر السطح وطبيعة الانحدار يلعبان دوراً مهماً وبارزاً في عمليات التطور الجيومورفولوجي للمجرى الرئيسي بحوض وادي بو مسافر.

ثانياً: تحليل قياس الانحدارات

يتضح من جدول (4) أن المتوسط العام لدرجات الانحدار في المقاطع المدروسة يميل إلى فئة الانحدارات فوق المتوسطة، وقد بلغ متوسط زاوية انحدار الجانب الأيمن من القطاعات المدروسة نحو (13.9°)، في حين بلغ متوسط زاوية انحدار الجانب الأيسر نحو (13°)، مما يشير إلى تقارب متوسطات درجات الانحدار بين جانبي المجرى الرئيسي. وتقع هاتان القيمتان ضمن فئة الانحدارات فوق المتوسطة وفقًا لتصنيف درجات الانحدار المعتمد في الدراسة.؛ وهذا ربما يرجع إلى امتداد الحوض على طول الحافة الأولى ومَصطبتها وتجانس التكوينات الجيولوجية، وبالتالي تجانس عملية النحت الجانبي والرأسي على جانبي المجرى الرئيسي.

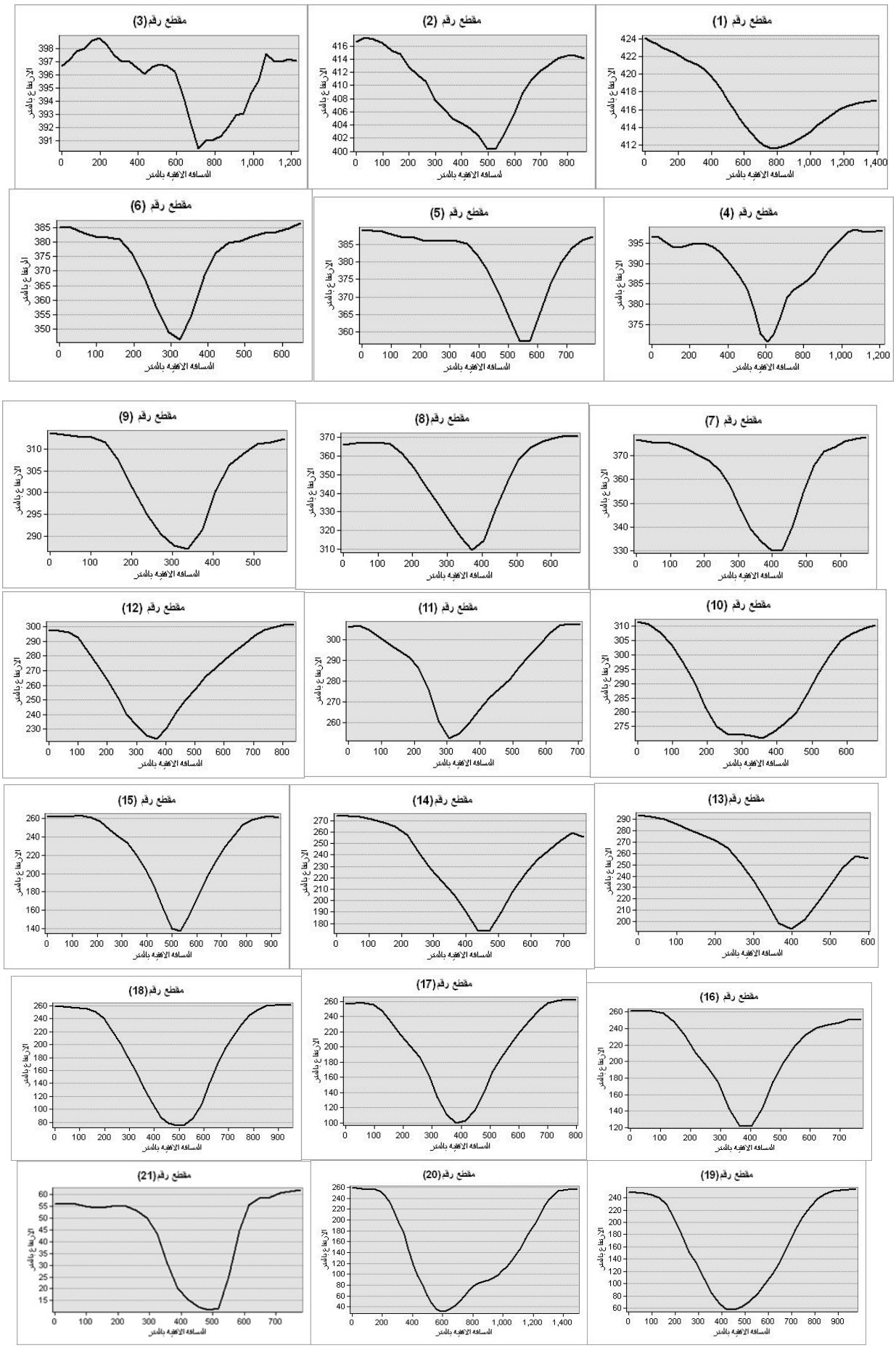
وعلى الرغم من هذا التقارب في متوسطات درجات الانحدار بين جانبي المجرى الرئيسي، فقد سجلت أعلى قيم لزوايا الانحدار في القطاعات الواقعة على الحافة الأولى وهي تتسم بالانحدارات الشديدة وشديدة جداً، كما هو الحال في المقطع رقم (13)، مما يشير إلى شدة النشاط الجيومورفولوجي في هذه القطاعات مقارنة ببقية القطاعات المدروسة كما سجلت هذه القطاعات أكبر أعماق للمجرى، بما يشير إلى بلوغ النحت الرأسي فيها أعلى مستوياته، وفقًا للبيانات الواردة في جدول (4).

وعلى مستوى التباين بين جانبي المجرى الرئيسي، يتضح من تحليل قيم زوايا الانحدار في المقاطع المدروسة أن المنحدرات الواقعة على الجانب الأيمن أكثر انحداراً نسبياً من نظيرتها على الجانب الأيسر، إذ بلغت نسبة القطاعات ذات الانحدارات الشديدة والشديدة جدًا نحو (33.3%) من إجمالي قطاعات الجانب الأيمن للمجرى الرئيسي، في حين بلغت نسبة القطاعات ذات الانحدارات المتوسطة وفوق متوسطة نسبة (47.6%)، أما في الجانب الأيسر من المجرى الرئيسي، فقد بلغت نسبة القطاعات ذات الانحدارات الشديدة والشديدة جدًا (23.8%) من إجمالي قطاعات الجانب الأيسر، في حين بلغت نسبة القطاعات ذات الانحدارات المتوسطة وفوق المتوسطة نسبة (57.1%)، جدول (5).

وبالنظر إلى التوزيع العام لفئات الانحدار على جانبي المجرى الرئيسي (جدول 3) يتضح أن جوانب المجرى الرئيسي للحوض تتسم بصفة عامة بسيادة الانحدارات المتوسطة، وفوق المتوسطة بنسبة (52.3%)، من إجمالي فئات الانحدارات بالمقاطع المدروسة، ثم يليها الشديدة والشديدة جداً بنسبة (28.5%)، ومن بعدها تأتي الانحدارات الخفيفة بنسبة (19%)، والتي تتركز بصورة أكبر في المقاطع الواقعة بالقرب من منبع الحوض.

جدول 3. الخصائص الشكلية لمنحدرات جوانب المجرى الرئيسي لحوض وادي بو مسافر

رقم القطاع	عرض فتحة الوادي بالمتر	عرض فتحة الجانب الأيمن بالمتر	ارتفاع الجانب الأيمن بالمتر	عرض فتحة الجانب الأيسر بالمتر	ارتفاع الجانب الأيسر بالمتر	ارتفاع القاع بالمتر	العمق بالمتر
مقطع رقم (1)	1375	600	417	775	424	411	13
مقطع رقم (2)	600	275	415	325	417	400	17
مقطع رقم (3)	600	400	398	200	397	390	8
مقطع رقم (4)	700	400	398	300	395	372	26
مقطع رقم (5)	500	300	387	200	386	355	32
مقطع رقم (6)	325	150	380	175	382	346	36
مقطع رقم (7)	550	250	378	300	375	330	48
مقطع رقم (8)	500	225	370	275	365	310	60
مقطع رقم (9)	400	150	312	250	314	287	27
مقطع رقم (10)	600	300	309	300	310	271	39
مقطع رقم (11)	550	300	309	250	306	252	57
مقطع رقم (12)	675	400	300	275	295	225	77
مقطع رقم (13)	550	150	257	400	295	145	112
مقطع رقم (14)	575	250	260	325	270	170	100
مقطع رقم (15)	650	300	260	350	260	136	124
مقطع رقم (16)	610	330	250	280	260	120	140
مقطع رقم (17)	625	325	260	300	256	100	60
مقطع رقم (18)	675	325	260	350	255	75	185
مقطع رقم (19)	725	375	250	350	245	55	195
مقطع رقم (20)	1150	750	254	400	255	30	225
مقطع رقم (21)	400	150	59	250	55	5	54
المتوسط	635	319.2	308.7	315.7	310.3	227.8	77.8



شكل 10. المقاطع العرضية للمجرى الرئيسي لحوض وادي بو مسافر

جدول 4. الخصائص المورفولوجية لمنحدرات جوانب المجرى الرئيسي لحوض بو مسافر.

رقم القطاع	زاوية انحدار الجانب الأيمن	نوع الانحدار على الجانب الأيمن	زاوية انحدار الجانب الأيسر	نوع الانحدار على الجانب الأيسر
مقطع رقم (1)	0.4	خفيف	0.96	خفيف
مقطع رقم (2)	3.12	خفيف	2.99	خفيف
مقطع رقم (3)	1.14	خفيف	2	خفيف
مقطع رقم (4)	3.7	خفيف	4.3	خفيف
مقطع رقم (5)	6.08	متوسط	8.8	متوسط
مقطع رقم (6)	12.7	فوق المتوسط	11.6	فوق المتوسط
مقطع رقم (7)	10.8	فوق المتوسط	8.5	متوسط
مقطع رقم (8)	14.9	فوق المتوسط	11.3	فوق المتوسط
مقطع رقم (9)	9.4	متوسط	6.16	متوسط
مقطع رقم (10)	7.2	متوسط	7.4	متوسط
مقطع رقم (11)	10.8	فوق المتوسط	14.2	فوق المتوسط
مقطع رقم (12)	10.7	فوق المتوسط	12.1	فوق المتوسط
مقطع رقم (13)	36.7	شديد جداً	14.03	فوق المتوسط
مقطع رقم (14)	19.7	شديد	17.1	فوق المتوسط
مقطع رقم (15)	22.4	شديد	19.5	شديد
مقطع رقم (16)	21.5	شديد	26.5	شديد
مقطع رقم (17)	10.4	فوق المتوسط	10.5	فوق المتوسط
مقطع رقم (18)	27.8	شديد	27.2	شديد
مقطع رقم (19)	27.4	شديد	28.4	شديد
مقطع رقم (20)	16.6	فوق المتوسط	29.5	شديد
مقطع رقم (21)	19.7	شديد	11.3	فوق المتوسط
المتوسط	13.9	فوق المتوسط	13.06	فوق المتوسط

جدول 5. أنواع الانحدارات ونسبتها من القطاعات المدروسة.

نوع الانحدار	نسبة للجانب الأيمن	نسبة للجانب الأيسر	نسبة المئوية لأنواع الانحدارات للوادي
متوسطة وفوق المتوسطة	47.61	57.14	52.3
شديدة وشديدة جداً	33.3	23.8	28.5
خفيفة	19.04	19.04	19.04
المجموع	100	100	100

5. الاستنتاجات والتوصيات

تناولت هذه الدراسة أسلوبًا حديثًا في التحليل المورفولوجي لمنحدرات المجرى الرئيسي في حوض وادي بو مسافر من خلال توظيف خصائص المثلث القائم لحساب ظل زاوية الانحدار، ودمج ذلك مع تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد للحصول على قياسات دقيقة يمكن من خلالها الكشف عن المراحل العمرية للحوض والكشف عن الخصائص الرئيسة لمنحدرات المجاري النهرية. ومن أبرز النتائج التي توصلتْ إليها هذه الدراسة مُلاحظة أن المقاطع العرضية المدروسة تتسم بالتناسق من حيث الشكل، كما أظهرت النتائج نشاطًا ملحوظًا لعمليات النحت الرأسي في المجرى الرئيسي، مما يشير إلى أن الحوض لا يزال في مرحلة مبكرة من دورته التحاتية وأنه في مرحلة الشباب، ومن خلال هذه النتائج توصي الدراسة بتوظيف طريقة حساب ظل زاوية الانحدار باستخدام المثلث القائم فى دراسة الخصائص المورفولوجية للمجاري الرئيسية في احواض التصريف النهرية؛ لما توفره من قاعدة بيانات رقمية شاسعة وتطبيق أساليب كمية في تحليل الخصائص المورفولوجية للمجاري، بما يسهم في تحسين فهم خصائص سطح الأحواض وتباين درجات الانحدار، والاستدلال على أنماط تطورها الجيومورفولوجي.

المراجع

[1] A.A. Mustafa, “Contour map: their interpretation and section,” Alexandria: University Knowledge House, 1987.

[2] M.M. Turab, “Land forms,” Alexandria: Knowledge Establishment, 2005.

[3] Z. Lin, T. Oyuchi “DEM Analysis on longitudinal and transverse profiles of steep mountainous watersheds,” Geomorphology, Vol. 78, 1-2, 2006.

[4] M. Pilotti, “Extraction of cross section from digital elevation model for one-dimensional dom-break wave propagation in mountain volleys,” Ago Publications, Vol. 52, 52-68, 2015.

[5] I. Petikas, E. Keramaris, V. Kanakoudis, “A novel method for the automatic extraction of quality non-planar river cross-sections from digital elevation model,” Water, Vol .12, 1-12, 2020.

[6] A. Awad, A. Mukhtar, “Employing geomatics techniques in studying the morphological characteristics of slopes and valley sides in the wadi Al-kuf basin,” Journal of the University of Benghazi, Vol. 15, 95-112, 2021.

[7] H. Desouki, “Geomorphometric analysis of the slopes of the eastern edge of the Nile river from Wadi Rashrash in the south to Wadi El-gabbo in the north using a digital elevation model and field measurements,” Journal of the Faculty of Arts in Qena, Vol. 31, On57, 433-490, 2022.

[8] NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), “Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global,” Distributed by Open Topography, 2013. https://doi.org/10.5069/G9445JDF

[9] A. Young, “Slopes,” Edinburgh, U.K: Oliver and Boyd, 1972.

[10] Industrial Research Center, “Geological map of Libya,” 1:250,000, Tripoli, Libya, 1974.

[11] S. Noah, “Climate classification of Jabal Akhdar according to Thornthwaite's method,” Omar Al-Mukhtar Journal of Humanities, Vol. 7(1), 125-140, 2008.

[12] National Meteorological Center, “Annual climate data for Derna meteorological station for the period 1980-2010,” Unpublished data, Libya, 2010.

[13] Omar Al-Mukhtar University, “Study and analysis of the natural vegetation cover of the Green Mountain Project: Final Report,” Publications of the Gaddafi International Foundation for Charitable Associations, Libya, 2005.