

## استخلاص المعلومات الجيومورفولوجية باستخدام المعالجة الآلية لبيانات صور الأقمار الصناعية SRTM (وادي الكفرة دراسة حالة)

د. حافظ عيسى خيرالله

قسم الجغرافيا/ كلية الآداب/ جامعة سرت

الملخص:

لقد شهدت الخرائط الموضوعية تقدماً كبيراً مع بداية القرن الحادي والعشرين بحكم التطور الكبير في مجال انجاز البرمجيات الرقمية وبخاصة في مجال الـ GIS مما حقق إنجازات كبيرة في مجال رسم وإنشاء الخرائط الموضوعية، وذلك بالاعتماد على البيانات الرقمية وسهولة التعامل معها، مما أدى إلى إنتاج خرائط اتصفت بالدقة العالية سواءً في الرسم أو الألوان أو التعبير عن الظاهرة المرسومة. وتعد البيانات الرادارية من نوع (SRTM) إحدى المصادر المهمة المستخدمة في أنظمة المعلومات الجغرافية GIS والتي تتميز بالدقة والكفاءة العالية فضلاً عن إمكانية اشتقاق بيانات مختلفة (جيومورفولوجية - جيولوجية - جغرافية)، يمكن التعامل معها في مختلف أنظمة المعلومات الجغرافية، ويعد نموذج الارتفاع الرقمي DEM ( Digital Elevation Model ) - الذي يمكن اشتقاقه من البيانات الرادارية - المحور الأساسي الذي تدور حوله معظم الدراسات الجيومورفولوجية والجغرافية، فهو يشكل القاعدة التي يُعتمد عليها لاستخراج المعلومات المتعلقة بالخواص الجيومورفولوجية (مثل حساب الانحدار والميل والاتجاه وتحليل الظلال وغيرها)<sup>(1)</sup>.

ولقد أوضحت الدراسة أن استخدام نظم المعلومات الجغرافية تعد من أفضل التقنيات الحديثة لرصد التغيرات المورفولوجية وأشكال سطح الأرض ومعرفة الظواهر الجيومورفولوجية وتحديد أبعادها وانحداراتها، وتعد بيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM المعتمدة على المعادلات الرياضية الأساسية قاعدة مهمة للتطبيقات في نظم المعلومات الجغرافية والتي تعتمد على البيانات والحاسب الآلي والبرامج وتشمل عملية تسجيل وإدخال وإدارة واسترجاع وتحليل ومعالجة وتمثيل البيانات، ومن خلال هذه الدراسات يمكن اكتشاف معلومات جديدة في مجالات الجيومورفولوجيا التطبيقية<sup>(2)</sup>.

#### المقدمة:

يقدم التحليل الطبوغرافي أو التحليل ثلاثي الأبعاد معلومات غاية في الأهمية عن ذلك الجزء من الأرض ويكون تحليلاً حيويًا في العديد من التطبيقات الجغرافية والهندسية والبيئية، تمثل طبوغرافية وتضاريس سطح الأرض من خلال عدة صور في نظم المعلومات الجغرافية: الملفات الشبكية Raster والملفات المثلية غير المنتظمة TIN وملفات نماذج الارتفاعات الرقمية DEM<sup>(3)</sup>.

وتعد بيانات نموذج الارتفاع الرقمي المتحصل عليها بواسطة الرادارات من أهم مصادر المعلومات عن طبيعة التضاريس الموجودة في مناطق شاسعة من العالم وإحدى المكونات الأساسية لنظم المعلومات الجغرافية والقاعدة التي يعتمد عليها لاستنتاج خصائص السطح التضاريسي، والتي تفيد في العديد من المجالات العلمية والتطبيقية، كالدراسات البيئية والدراسات الهيدرولوجية ودراسة والغطاءات الأرضية وغيرها، كما أنه يعد وسيلة متقدمة للتعامل مع البيانات لأنها توفر أساليب آلية دقيقة في تحليل البيانات المكانية وربطها بالبيانات الوصفية، وذلك

لاحتوائه على قاعدة بيانات بشكل  $(X, Y, Z)$ <sup>(4)</sup>، كما يمكن استنتاج وحساب المنحنيات والميل واتجاه الميل لنقاط النموذج باستخدام طريقة التحليل الخلوي على معطيات النموذج إضافة إلى تحليل الظلال والدراسات المعتمدة على الرؤية مثل الأمن والحراسة وتحديد مناطق الردم والهدم<sup>(5)</sup>.

### حدود منطقة الدراسة:

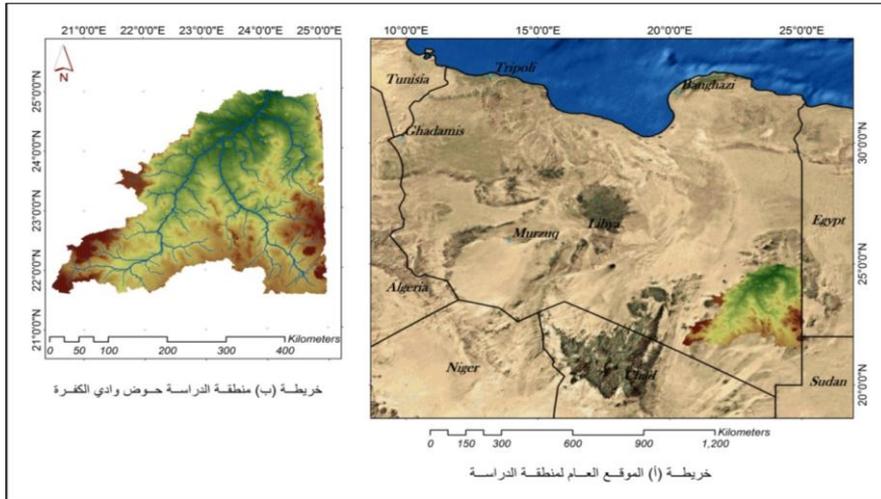
تمثل منطقة الدراسة في حوض وادي الكفرة الذي ينبع من مرتفعات جبال العوينات في الجنوب الشرقي من ليبيا ومن مرتفعات جبال اندي في جنوب غرب الكفرة ويتجه شمالاً حتى يصل إلى مصبه عند منطقة التقاء الفرعين في منطقة مشروع الكفرة الإنتاجي بواحة الكفرة، وفضلياً تنحصر منطقة الدراسة بين دائرتي عرض  $(21^{\circ} 36' 07''$  و  $24^{\circ} 58' 25''$ ) شمالاً وخطي طول  $(1428'$  و  $20^{\circ}$  و  $24^{\circ} 58' 25''$ ) شرقاً، وتبلغ مساحته  $(110486.79$  كم مربع)<sup>(6)</sup>، وتمتد منطقة الدراسة باتجاه الشمالي الشرقي ماراً بمدينة الكفرة. شكل (1).

**وتهدف** الدراسة إلى توظيف نموذج الارتفاعات الرقمية DEM المشتق من البيانات الرادارية لوادي الكفرة لبناء قاعدة معلوماتية دقيقة للارتفاعات الرقمية لاستخلاص الخرائط الطبوغرافية والتضاريسية واشتقاق البيانات الجيومورفولوجية للمنطقة، إذ أنه باستخدام هذه التقنية أمكن الحصول على الدقة التي يكون فيها النموذج الأرضي الرقمي أكثر واقعية.

كما **يهدف** البحث إلى توضيح للمفاهيم والأساليب المستخدمة في اشتقاق البيانات من نموذج الارتفاعات الرقمية للتعبير عن النمذجة الجيومورفولوجية، وإبراز أهمية منهج التحليل في نظم المعلومات الجغرافية وضرورتها لمتطلبات البحث الجيومورفولوجي.

ويعد نموذج الارتفاع الرقمي - المأخوذة من البيانات الرادارية من مكوك الفضاء التابع لوكالة الفضاء الأمريكية NASA - الركيزة الأساس لتحليل السطوح الطبوغرافية، إذ يمكن تعريف هذا النموذج بأنه صورة نقطية تحتوي كل خلية (Pixel) فيه على قيمة رقمية تمثل متوسط ارتفاع سطح الأرض في مساحة تلك الخلية<sup>(7)</sup>، ويعطي هذا النموذج أهمية كبيرة في عملية الإدراك البصري والتحليل المكاني للخرائط الطبوغرافية، حيث تتميز هذه الطريقة الجديدة بالسرعة العالية والوقت القصير والكلفة القليلة في إنتاج نموذج الارتفاع الرقمي. وقد خلص البحث إلى جملة استنتاجات:

- دقة المخرجات الناتجة بواسطة برمجيات نظم المعلومات الجغرافية لحساب الانحدار والميل والاتجاه وتحليل الظلال.
  - إمكانية نظم المعلومات الجغرافية بإجراء العمليات الحسابية على الخرائط وتمثيل نتائج هذه الحسابات على شكل خرائط
- شكل (1) خارطة حدود منطقة الدراسة



### أهمية البحث:

ترتبط أهمية هذا البحث بعدة نواحي لعل من أبرزها توضيح أهمية النموذج الرقمي للارتفاع DEM في تمثيل الظواهر التضاريسية للأرض وذلك بالاستفادة من البيانات الرقمية التي يحتويها هذا النموذج ومن ثم إنشاء خرائط رقمية ثلاثية الأبعاد 3D للتضاريس المختارة إضافة إلى الخطوط الكنتورية، وبذلك سيكون هذا البحث بمثابة إسهام لبناء قاعدة معلومات للظواهر التضاريسية من خلال التعامل مع الحاسوب وبرمجيات GIS يستفاد منها في الحصول على خرائط رقمية بالاعتماد على المرئيات من نوع SRTM .

### مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في السؤالين الآتين: هل يمكن إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية لوادي الكفرة من خلال بيانات الارتفاع الرقمية DEM المتوفرة على الانترنت؟ وما مدى الدقة لتلك الخريطة بالنسبة للبحوث وبخاصة بحوث نظم المعلومات الجغرافية؟

### فرضية البحث:

- 1- اعتمد البحث فرضية ايجابية مفادها : إمكانية إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية لأي موقع أو موضع من خلال بيانات الارتفاعات الرقمية DEM.
- 2- إن استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية تسهم في التخلص من الطرق التقليدية في الدراسات الجيومورفولوجية وبناء قاعدة بيانات لحوض وادي الكفرة.

- 3- تعد بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية أكثر دقة كمصدر للمعلومات

الجيومورفولوجية، مما ينعكس على دقة تفسير الخصائص الجيومورفولوجية إضافةً إلى سرعة الحصول على النتائج مما يوفر الوقت والجهد.

### مفهوم النموذج الرقمي للارتفاع DEM :

تعدد استخدام النماذج أو الأشكال ذات الأبعاد الثلاثية ( $X, Y, Z$ ) في نظم المعلومات الجغرافية، غير أن أهم تلك النماذج خاصةً بالنسبة للجغرافي تلك النماذج التي تمثل سطح الأرض بطريقة رقمية أو ما يعرف باسم DTM (Digital Terrain Modeling) ويمكن فهم النموذج هنا على أنه تمثيل رقمي لجزء محدد من سطح الأرض<sup>(8)</sup>، ويعد نموذج الارتفاعات الرقمية حجر الأساس الذي يبنى فوقه تحليل السطوح الطبوغرافية، ويمكن تعريفه "بأنه صورة نقطية كل بكسل فيها يحتوي على قيمة رقمية تمثل متوسط ارتفاع سطح الأرض في مساحة هذا البكسل"<sup>(9)</sup>، بمعنى آخر عبارة عن "ملف رقمي يحتوي بيانات الارتفاع (المنسوب) لنقطة جغرافية محددة، قد يكون نموذج الارتفاعات الرقمية في صورة خطية Vector (مجموعة من السطور يتكون كل سطر من الإحداثيات الثلاثة  $X, Y, Z$  لنقطة) أو قد يكون في صورة شبكية Raster لتمثيل تضاريس أو طبوغرافية سطح الأرض في المنطقة"<sup>(10)</sup>، وعادةً تكون وفق شبكة ذات فواصل ثابتة توضع على سطح الأرض، وهذه الفواصل ما بين نقاط الشبكة دائماً تكون وفق نظام إحداثيات جغرافي، والتي عادةً تكون وفق خطوط الطول ودوائر العرض - وخاصةً في حالة هناك بيانات تتغير وتنفصل بسبب انحناء الأرض - أو وفق نظام إحداثيات مركب المستعرض - شبكة UTM في حالة وجود مجموعة بيانات مشتركة<sup>(11)</sup>، فإذا كان مقياس DEM صغيراً فإنه يستخدم الإحداثيات الجغرافية، أما إذا كان كبيراً فإنه بالإمكان أن يستخدم

أي نوع منهما.

ويتيح نموذج الارتفاع الرقمي DEM تمثيل التضاريس على هيئة مجسمة ثلاثية الأبعاد 3D بالتعبير عن البعد الثالث بقيم  $(X, Y, Z)$  مما يساعد في إمكانية الرؤية الحقيقية لسطح الأرض كما هي في الطبيعة، وهذه الخاصية لها أهمية كبيرة وفاعلة في كثير من التطبيقات العلمية والهندسية المختلفة، ففي مجال التحليل الجيومورفولوجي يمكن اشتقاق كم هائل من العديد من البيانات والمعلومات واستنتاج واستنباط الكثير من الحقائق العلمية عن سطح الأرض، كإنشاء خطوط الارتفاع المتساوية وتصنيف المنحدرات وتحديد اتجاهاتها المختلفة وتحديد ظلال المرتفعات والسطوح الثلاثية الأبعاد وتحديد مدى الرؤية وإمكانية رسم المقاطع التضاريسية وغيرها من الأشكال الأرضية المختلفة وبكل سهولة وهذا ما يميزها عن طرق القياس والأساليب التقليدية الأخرى التي تتطلب جهداً ووقتاً وكلفةً أكثر<sup>(12)</sup>.

### الحصول على بيانات الارتفاع الرقمية:

تتوفر على الانترنت عدة نماذج لملفات الارتفاعات الرقمية (DEM) وهي بيانات مجانية يمكن استخدامها بشكل كفو للدراسات الإقليمية وعلى هذا فهي جيدة على المستوى الإقليمي، ويمكن الحصول مجاناً على هذه البيانات من موقع الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) ومن الوكالة الوطنية للمعلومات الجيوفضائية (NGA) الأمريكيتين<sup>(13)</sup>، ففي شهر شباط 2000 تم إطلاق مكوك الفضاء في مهمة مشتركة بين وكالة الفضاء الأمريكية NASA وهيئة المساحة العسكرية الأمريكية شملت تركيب جهاز رادار خاص على المكوك واستمرت هذه المهمة 11 يوماً لإنجازها، وسميت هذه المهمة باسم الرادار

Shuttle Radar Topography Mission وعرفت اختصاراً بالأحرف الأولى من هذه الكلمات SRM DEM وكانت أهم نتائج هذه المهمة الحصول على نموذج الارتفاعات الرقمي DEM ومنذ عام 2005 تم إتاحة هذا النموذج مجاناً للجميع على شبكة الانترنت<sup>(14)</sup>. إضافة إلى هذا النموذج توجد نماذج ارتفاعات رقمية عالمية أخرى متاحة مجاناً منها على سبيل المثال (نموذج GLOBE - نموذج ETOPO2 - نموذج ASTER)، ويعد نموذج الارتفاعات SRM و Aster من أكثر النماذج استخداماً حول العالم وخاصةً من حيث قدرة التمييز المكاني Spatial Resolution ويوجد من نموذج SRM ثلاثة مستويات من الوضوح المكاني (أو القدرة التمييزية المكانية):

- SRM30 حيث طول الخلية الواحدة Pixel يبلغ 30 ثانية من خطوط الطول ودوائر العرض (أي حوالي 900 متر).
- SRM3 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ 3 ثانية (أي حوالي 90 متر).
- SRM1 حيث طول الخلية الواحدة pixel يبلغ 1 ثانية (أي حوالي 30 متر).

ويعد كلا النموذجين SRM30 و SRM3 متاحين مجاناً على الانترنت، بينما النموذج الثالث SRM1 متاح فقط لمنطقة شمال أمريكا (الولايات المتحدة الأمريكية وكندا فقط)<sup>(15)</sup>، وعليه فإنه كلما كانت دقة الخلية عالية كان الملف أكثر دقة في إنتاج خرائط الارتفاع، وقد تم في هذه الدراسة استخدام نموذج SRM3 وهو نموذج يحتوي على بيانات Z, X, Y ويبلغ

حجم الخلية 90×90 Pixel متراً .

### مصادر البيانات:

- الاعتماد على البيانات الأساسية والمتمثلة في الصور الرادارية من نوع SRTM وتحويلها إلى بيانات رقمية.
- الخرائط الطبوغرافية بمقياس رسم 250000 والتي أعدت سنة 2004م بترقيم من الخرائط الروسية بمقياس 200000 والتي أنتجت سنة 1980م ويعد هذا النوع من الخرائط مهماً في التحليلات السطوح الأرضية وتفسيرها.

### أسلوب الدراسة أو البيانات المستخدمة في الدراسة:

- 1- استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية بدقة تمييزية 90\*90 متراً.
- 2- استخدام برنامج Arc GIS 9.3 لاشتقاق الخرائط الجيومورفولوجية، ويعد هذا البرنامج من البرامج - التي أصدرته شركة (ESRI) الأمريكية - التطبيقية والمتخصصة في مجال إنتاج الخرائط وتحليلها وربطها بأنظمة المعلومات الجغرافية.
- 3- استخدام برنامج Global Mapper V17 وذلك لرسم القطاعات التضاريسية حيث يعد البرنامج من أفضل البرامج لذلك.

### المناقشة والاستنتاجات:

من خلال التعامل مع برنامج Arc Map 9.3 وملف الارتفاعات الرقمية DEM يمكن اشتقاق عدة خرائط تعنى بموضوع الشكل الحقيقي لمنطقة الدراسة، وذلك لإعطاء صورة واقعية ودقيقة وفعالة لاستقراء نموذج التضرس الرقمي للإسهام في إنشاء قاعدة بيانات مكانية تتعلق بطبوغرافية منطقة الدراسة

التي يمكن الاستفادة منها بشكل كبير في المجالات العلمية والتطبيقية، وكانت الخرائط المنتجة على النحو التالي:

## 1- اشتقاق خارطة الارتفاعات Raster Elevation أو خارطة التدرج التضاريسية:

يشكل هذا النمط من الخرائط الأهم في الدراسات الجغرافية الطبيعية، وبخاصة الدراسات الجيومورفولوجية، لفاعليتها في التعبير عن الواقع التضاريسي وإبراز الوحدات الأرضية وسهولة استيعابها وسيما باستخدام الألوان للدلالة على التدرج اللوني<sup>(16)</sup>، ومن خلال برنامج Arc GIS 9.3 وباستخدام بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية، تم عمل خارطة مجسمة لمنطقة الدراسة توضح جيومورفولوجية المنطقة، شكل (2).

ومن خلال التحليل البصري للخارطة يلاحظ وجود تدرج في الارتفاعات من الجنوب الشرقي والجنوب الغربي باتجاه الشمال والشمال الشرقي، ويظهر ذلك جلياً من خلال ملاحظة مفتاح الخريطة إذ تنخفض في الجزء الشمالي الشرقي من المنطقة (المجرى النهائي للوادي) لتصل ما بين (300 - 350 متراً) فوق مستوى سطح البحر، ثم تبدأ المنطقة في الارتفاع التدريجي تجاه حواف الوادي (جانبي الوادي ما بين 500 - 510 متراً) ثم توصل الارتفاع عند أقصى الجنوب الشرقي والغربي لتصل (أكثر من 700 متراً) فوق مستوى سطح البحر، كما تبين هذه الخارطة وبكفاءة عالية إحصاءات الارتفاعات، كما يوضحها الملخص الإحصائي لطبوغرافية الوادي في الجدول رقم (1):



- ولقد تم تقسيم منطقة الدراسة إلى ثمانية فئات للارتفاعات، ومن خلال دراسة الجدول (2) والشكل (3) يتضح الآتي:
- يصل المدى التضاريسي العام بمنطقة الدراسة إلى 1587 متراً، وهو الفارق بين منسوب أعلى نقطة سجلت بقمة جبال العوينات بالقرب من الحافة الجنوبية الشرقية للحوض وبلغت 1887 متراً فوق مستوى سطح البحر والتي تعد منطقة تقسيم المياه، ومنسوب أدنى نقطة سجلت بمنطقة المجرى النهائي للوادي ويبلغ منسوبها 300 متراً.
  - الأراضي السهلية وهي تمثل المستوى الأول من الحوض (سهل الوادي والسهول التحتاتية) التي تتميز باستواء السطح وقلة التضرس وتتمثل في الفئتين (أقل من 350 متراً و الفئة من 351 - 400 متراً)، وهي تمثل مجتمعة مساحة 6932.56 كيلومتر مربع أي ما نسبته 6.28% من إجمالي مساحة المنطقة وتمثل هذه المجموعة في مجرى الوادي ما بعد منطقة عين إجديد شمال شرق واحة الكفرة إضافة إلى السبخات المنتشرة بالوادي مثل سبخ الجوف (بومة وبومة والتوبات) وسبخ واحة الهواري شمال الجوف وبعض التلال كتلال بومة وتلال بئر العوادل شمال شرق الهويوي، كما تنتشر به الواحات مثل واحة الجوف والهواري والهويوي والطلاب والطليليب، هذا إضافة إلى المشاريع الزراعية كمشروع الكفرة الإنتاجي والمشروع الاستيطاني.
  - المستوى الثاني والتي تمثلها فئة الارتفاعات ما بين 401 - 500 متراً وتمثل في التلال المنتشرة بمجرى الوادي مثل تلال جبل الزرق والطلاب وتلال قارة الباصور وقارة الخمسين والفريق غرب واحة الكفرة وجبال الديتو شمال الواحة وقارة الهوارية وتلال ثديان الخادم، وتمثل 37.76% من إجمالي مساحة

المنطقة.

- المستوى الثالث وهو يمثل الفئة التي يتراوح فيها الارتفاع ما بين 501 – 600 متراً وهي تمثل ما نسبته 45.77% من إجمالي مساحة الوادي (50569.67 كم مربع)، وهي تمثل الحواف للمجرى الرئيس للوادي وبعض التلال المنتشرة بالمجرى مثل مرتفعات جبل الترهوني وجبل بوسنبيل وجبل الشريف والبويب وتلال قارة كودي وجبل الركن والحواف الشرقية للوادي ومرتفعات قارة السدر والشعلة في الغرب.
- تمثل الفئة التي يتراوح ارتفاعها بين 601 – 700 متراً المستوى الرابع للتضاريس وهي تمثل ما نسبته 8.47% من إجمالي مساحة الوادي، وتمثل هذه الفئة الحافات المطوقة للمنخفض والتلال المرتفعة المرصعة لقاع المنخفض مثل مرتفعات جبل اسبو وجبل البحري في الجنوب الشرقي والحافات الشرقية لمرتفعات جبل اندي في الجنوب الغربي.
- المستوى الخامس وهو يتمثل في مرتفعات جبل اندي في أقصى الجنوب الغربي من المنطقة وتتراوح ارتفاعاتها ما بين (701 – 800 متراً) وهي تمل ما نسبته 1.33% من إجمالي مساحة المنطقة.
- المستوى السادس والأخير وهو يمثل الفئتين (801 – 900 والفئة أكثر من 900 متراً) وتمثل هذه الفئات مجتمعة (430.25 كم مربع) أي ما نسبته (0.39%) من إجمالي مساحة الحوض وهي تمثل الحافات الجنوبية الشرقية للحوض المتمثلة في مرتفعات جبل العينات المثلث المشترك ما بين ليبيا ومصر والسودان وجبل وأركنو.



## 2- اشتقاق الخارطة الكنتورية : Contour map

تعد الخريطة الكنتورية من أهم الخرائط التضاريسية لكونها تسمح باشتقاق الكثير من المعلومات والبيانات الخاصة عن شكل الانحدار ودرجته وذلك من خلال التحليل البصري لاتجاهات وأشكال الخطوط الكنتورية المرسومة من حيث تقاربها أو تباعدها على الخارطة<sup>(17)</sup>.

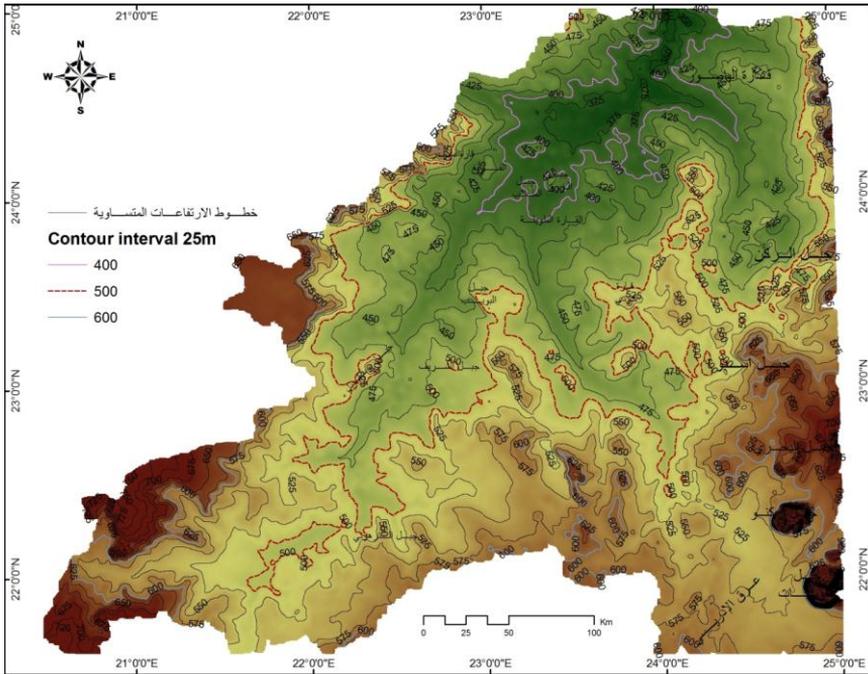
ومن مميزات الرسم وفق الخطوات السابقة سهولة التحكم بالفواصل الكنتوري (بمعنى زيادة عدد الخطوط أو نقصانها) وفق حاجة الباحث، ويتوقف اختيار الفاصل الكنتوري على الهدف من إنشاء الخارطة، إذ ينبغي اختيار فاصل صغير إذا كان الغرض هو إنشاء خارطة دقيقة للاستخدامات الأكاديمية أو للاستعمالات الحضرية الهندسية أو الإنشائية، أما الخرائط العامة التي لا يتطلب دقة عالية فمن المناسب أن يكون لها الفاصل كبيراً<sup>(18)</sup>، وقد تم اشتقاق خطوط الكنتور من خلال نموذج الارتفاعات الرقمية DEM وبصيغه خطية على شكل ملف Shape file وبفترة كنتورية Contour interval مقدارها 25 متراً كما هو موضح بالشكل (4).

ومن خلال التحليل البصري للخارطة المنتجة اتضح وجود كثافة وتقارب لخطوط الكنتور وتضييق المسافة الأفقية بينها لتمثل ظاهرة الحافات الراسية (الجروف) كما هو في الجزء الجنوبي الشرقي (جبل العوينات وأركنو) والجنوب الغربي (مرتفعات اندي) من منطقة الدراسة مما يدل على شدة الانحدار.

بينما تقل هذه الكثافة والتقارب كلما توجهنا نحو الشمال والشمال الشرقي، مما يدل على الانحدارات البسيطة لتمثل معظم الأراضي السهلية ويستدل على ذلك من خلال تباعد خطوط الكنتور، كما يلاحظ أن تلك

السهول تتوسطها مجموعة من التلال المتباعدة على شكل تلال مستديرة منعزلة مما يضفي على السهل صفة التجزؤ إلى وحدات منفصلة، ويميل سطح السهل عند أقدام تلك المرتفعات إلى الانحدار الخفيف الذي يكسوه الحصى والحصباء كما يشير إلى تراجع تلك المرتفعات بفعل عوامل التعرية، كما تتراكم الرمال على شكل فرشاة رملية أو عروق خطية صغيرة متوازية أو كتبان هلالية مختلفة الشكل والحجم والارتفاع.

شكل (4) خطوط الارتفاعات المتساوية (الكنتور) لوادي الكفرة



اعتماداً على DEM ومخرجات برنامج Arc GIS

كما يلاحظ من الخريطة الكنتورية وجود ظاهرة البيدمونت Piedmont (سهول أقدام الجبال أو نطاقات حضيض الجبال Mountain Foot Zones) حيث تأخذ هذه السهول شكلا خاصا يتميز بالمنحدر المقعر

التدرجي الخفيف من حضيض المرتفعات الجبلية إلى وسط السهل، ويلاحظ أن خطوط الكنتور تكون مقوسة إلى الأمام قليلاً وعلى شكل زوايا منفرجة نحو أسافل السهل. وتتلاقى تلك الأقواس في هيئة رؤوس تتجه وتشير إلى المنطقة الجبلية<sup>(19)</sup>.

كما تكمن أهمية هذه الخرائط كذلك في معرفة اتجاهات الجريان الرئيسة للأودية، ويمكن أيضاً بمساعدة الخارطة الكنتورية إيجاد طريقة للتعبير عن درجة انحدار سطح الأرض رياضياً (حسابياً) وذلك عن طريق معرفة معدل الانحدار أو معرفة زاوية الانحدار أو إيجاد النسبة المئوية للانحدار، فضلاً عن رسم المقاطع الطولية والعرضية.

### 3- خرائط الانحدار واتجاهاتها:

تعد الانحدارات ذات أهمية كبيرة في الدراسات الجغرافية عامةً والدراسات الجيومورفولوجية والهيدرولوجية بصورة خاصة، لأنها تسهم في تحليل مظاهر سطح الأرض وعلاقتها بالنشاط البشري بأشكاله المختلفة كالعمران والطرق والزراعة إذ يعتمد استغلال السفوح على طبيعة انحدارها وتكويناتها السطحية<sup>(20)</sup>، ونعني بالانحدار أو المنحدر هو ميل سطح الأرض عن خط الأفق أو الميلان الذي يربط بين نقطتين مختلفتي المنسوب، وفي بعض الأحيان بنفس المنسوب كما هو الحال بالنسبة للسطح المستوي، ويعبر عنه بالدرجة أو بالنسبة المئوية<sup>(21)</sup>. وسيتم دراسة الانحدار بالمنطقة على النحو التالي:

أ. قياس معدل الانحدار: يمثل معدل انحدار سطح الحوض العلاقة بين التكوينات الجيولوجية والظروف التكتونية، كما أنه يعبر عن العلاقة بين العوامل والعمليات التي تعرضت لها التكوينات الجيولوجية، ويتم الحصول عليه عن طريق

المعادلة الآتية:

معدل الانحدار = الفاصل الرأسى \ المسافة الأفقية مقياس رسم الخارطة  
وعليه ومن خلال التحليل لنموذج الارتفاع الرقمي نجد أن الفاصل الرأسى  
للحوض عامة بلغ (1470 متراً) وهو ناتج أكبر قيمة لخط الكنتور إذ بلغت  
1800 متراً عند قمة مرتفعات جبل العوينات، وأدنى خط كنتور بلغ 330 متراً  
في الجزء الشمالي من وادي الكفرة، في حين نجد أن المسافة الأفقية الحقيقية بلغت  
(356800 متر) وبذلك يكون معدل الانحدار بالمنطقة عامة بلغ 242.7،  
هذا يعني أن هناك ارتفاعاً رأسياً بنسبة 1 متر لكل 242.7 متراً مقاسة بشكل  
أفقي على الأرض في منطقة الدراسة.

أما معدل الانحدار من مستوى القاعدة لجبل العوينات (خط كنتور 650  
متراً) إلى نفس النقطة السابقة 330 متراً بمسافة أفقية بلغت 340700 متراً  
فلقد بلغ 1 متراً لكل 1064.7.

في حين لو أخذنا القسم الجنوبي الشرقي لوحده نجد أن أعلى ارتفاع هو  
1800 متراً قمة مرتفعات جبل العوينات، بينما اقل ارتفاع بلغ 440 متراً فوق  
مستوى سطح البحر في وسط الحوض والواقع في منطقة جبل البويب، وبلغت  
المسافة الأفقية بينهما حوالي (277800 متر) وبذلك يكون معدل الانحدار لهذا  
القسم هو 204.3 متراً، أما معدل الانحدار من مستوى القاعدة عند جبل  
العوينات 650 متراً إلى نفس النقطة السابقة 440 متراً بمسافة أفقية  
256280 متراً، فإن معدل الانحدار بلغ 1220.4.

أما القسم الغربي من منطقة الدراسة، فنجد أن أعلى ارتفاع كان 810  
متراً فوق مستوى سطح البحر وذلك في أقصى الجنوب الغربي من القسم الغربي

من منطقة الدراسة (مرتفعات اندي)، في حين نجد أن اقل ارتفاع كان 440 متراً وهو يقع بين منطقة جبل البويب وبوسنبل والشريف، وقد قيست المسافة الأفقية بينهما فكانت حوالي 215800 متر وبذلك يكون معدل الانحدار 583.2 متراً بمعنى أن هناك ارتفاعاً رأسياً بنسبة 1 متر لكل 583.2 متراً مقاسة أفقياً على الأرض.

**ب- درجة زاوية الانحدار:** يمكن التعبير عن انحدار سطح الأرض بقياس زاوية الانحدار ومعرفة قيمتها بالدرجات، ودرجة زاوية الانحدار عبارة عن الزاوية المحصورة بين المستوى الأفقي وخط انحدار سطح الأرض الحقيقي، ويعبر عنها من خلال ضرب كسر معدل الانحدار  $\times$  ظل زاوية الانحدار.

ومن معرفة درجة ظل زاوية الانحدار في الجداول الرياضية، سيكون مقدار

زوايا الانحدار كما يلي جدول (3):

جدول (3) معدل الانحدار وزاوية الانحدار لبعض القطاعات

زاوية الانحدار	معدل الانحدار	المنطقة
0.24	242.7	من قمة جبل العوينات 1800 م إلى أدنى خط كنتور بالوادي 330 م بمسافة 356800 متراً
0.05	1064.7	من مستوى القاعدة بجبل العوينات 650 م إلى أدنى خط كنتور بالوادي 330 م بمسافة 340700 متراً
0.28	204.3	من قمة جبل العوينات 1800 م إلى أدنى خط كنتور بوسط المنطقة عند جبل البويب 440 م بمسافة 277800 متراً
0.05	1220.4	من مستوى القاعدة بجبل العوينات 650 م إلى أدنى خط كنتور بوسط المنطقة عند جبل البويب 440 م بمسافة 256280 متراً
0.10	583.2	من قمة جبل اندي 810 م إلى أدنى خط كنتور بوسط المنطقة بين جبل بوسنبل والبويب والشريف 440 م بمسافة 215800 متراً

ج- اشتقاق خارطة الانحدار **Slope map** : يعرف الانحدار حسب نظم المعلومات الجغرافية على أنه مقدار التغيير الحاصل بالارتفاع بين كل خلية (في الهيئة الخلوية) والخلية المجاورة لها، إذ تكون كل خلية محاطة بثمان خلايا مجاورة (22)، ويتم حساب الميل في كل نقطة من نقاط النموذج لتطبيق طرق التحليل الخلوي Raster على معطيات نموذج الارتفاع الرقمي وبالألوان المختلفة حيث تتخذ كل شريحة قيم الميول العظمى والتي تعبر عن مقدار التغيير الحاصل بالارتفاع بين كل خلية والخلية المجاورة لها، وكلما كان الميل كبيراً زاد الارتفاع في المنطقة، وكلما قل الميل اقتربت المنطقة من الشكل المستوي Flat<sup>(23)</sup>.

ويمكن أن تمثل قيم الميل في برنامج Arc GIS 9.3 بطريقتين:

– الدرجات Degrees – النسبة المئوية Percentage

ويمكن تمثيل كيفية حساب الميل بالشكل التالي<sup>(24)</sup>:

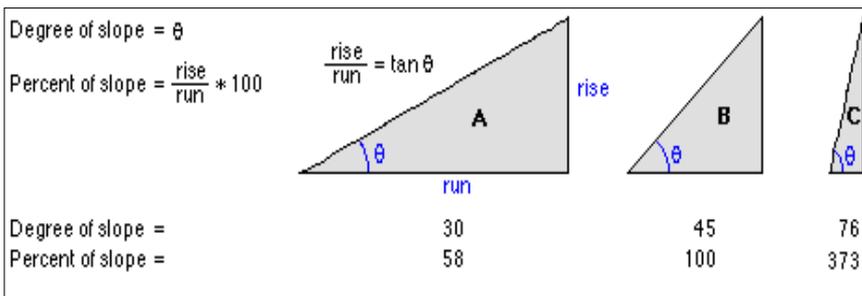
قيمة الانحدار بالدرجات = ظل  $\theta$  = المقابل / المجاور  $\tan \theta = \text{rise} \setminus \text{run}$

قيمة الانحدار بالنسبة المئوية = المقابل (Rise) \ المجاور (Run)  $100 \times$

فإذا كانت قيم الانحدار بالدرجات تساوي (10,23,54) فإن قيم الانحدار

بالنسبة المئوية لها تكون على التوالي (58,100,375)<sup>(25)</sup>، شكل (5).

شكل (5) كيفية حساب الميل



(ESRI , 2008 , Manual of ARC GIS , version 9.3 , USA)<sup>(26)</sup>

### كيفية حساب الانحدار بالدرجات:

وهنا تقوم الخوارزمية المسؤولة عن حساب الانحدار بقسمة الفارق في الارتفاع بين كل خلية وما يجاورها على طول الخط الواصل بين مركز الخلية، ويتم اختزان قيمة الانحدار في الخلية المناظرة في المحل في شفافة الانحدار<sup>(27)</sup>.

ويشير المقياس الرمادي للخريطة في شكل (6) درجة الانحدار التي تم استخراجها اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية DEM إلى أعلى قيمة انحدار والتي تمثل (55 درجة) وأدنى قيمة والتي تمثل (صفر)، وعموماً ينحدر سطح المنطقة من الجنوب نحو الشمال، ومن الغرب نحو الشرق، وقد بلغ المتوسط العام لدرجة انحدار المنطقة (1.27 درجة) ومن هنا تعد المنطقة تبعاً لتصنيف Zink ضمن فئة الأراضي هينة الانحدار، المستوية السطح.

ومن الملخص الإحصائي المبين في الجدول رقم (4) نلاحظ ما يلي:

جدول (4) ملخص المعلومات الإحصائية لنموذج الارتفاعات الرقمية

في منطقة الدراسة

المعلومات الإحصائية	
13586909	عدد البيانات في النموذج (الخلايا) Count
0	أقل قيمة للانحدارات Minimum
56.57091904	أعلى قيمة للانحدارات Maximum
17299584.39	مجموع الانحدارات Sum
1.273253864	متوسط الانحدارات Mean
1.967414336	الانحراف المعياري Standard deviation



الجدول (5) تصنيف الأشكال الأرضية حسب (تصنيف ZINK)<sup>(29)</sup>

النسبة (%)	المساحة كم <sup>2</sup>	الشكل	التصنيف	درجة الانحدار	الصف
87.15	96294.90	سهل وادي	مسطح - مستوي	1.9 - 0	1
11.59	12799.90	سهول تحتية نهرية سفوح أقدام جبال	تموج خفيف	7.9 - 2	2
0.84	928.90	تلال منخفضة	متموج	15.9 - 8	3
0.37	410.84	تلال مرتفعة	مقطعة (مجزأة)	29.9 - 16	4
0.05	52.25	جبال	مقطعة بدرجة عالية	30 فأكثر	5
<b>100</b>	<b>110486.79</b>			المساحة الكلية	

التائج من عمل الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاع الرقمي باستخدام برنامج Arc GIS9.3

1- نطاق الأراضي المسطحة أو مناطق هيئة الانحدار إلى مستوية (0 - 1.9 درجة): وتشغل هذه الفئة (0 - 1.9) مساحة 96294.90 كم مربع بنسبة 87.15 % من إجمالي المساحة جدول (5) والشكل (7) وهي تتوزع في غالبية أرض الوادي وتسود في وسط وأسفل الحوض بمناطق الزراعات والسبخات والتكوينات الرملية والكدوات ولا يقطعه سوى التلال المنعزلة المنتشرة في قاعه، كما يظهر هذا النطاق بشكل واسع على جانبي وادي الكفرة ومساحات صغيرة فوق بعض المرتفعات هيئة الارتفاع.

وتتصف هذه المنطقة عموماً بتباعد خطوط الكنتور بفعل استواء السطح وقلة الانحدار، ولذلك يصلح لمعظم الأنشطة البشرية، وتشير الانحدارات الخفيفة بالمنطقة إلى اتساع مدى دورة التعرية ووصولها إلى مرحلة متأخرة.

2- نطاق الأراضي ذات التموج الخفيف أو مناطق هيئة الانحدار (2 - 7.9

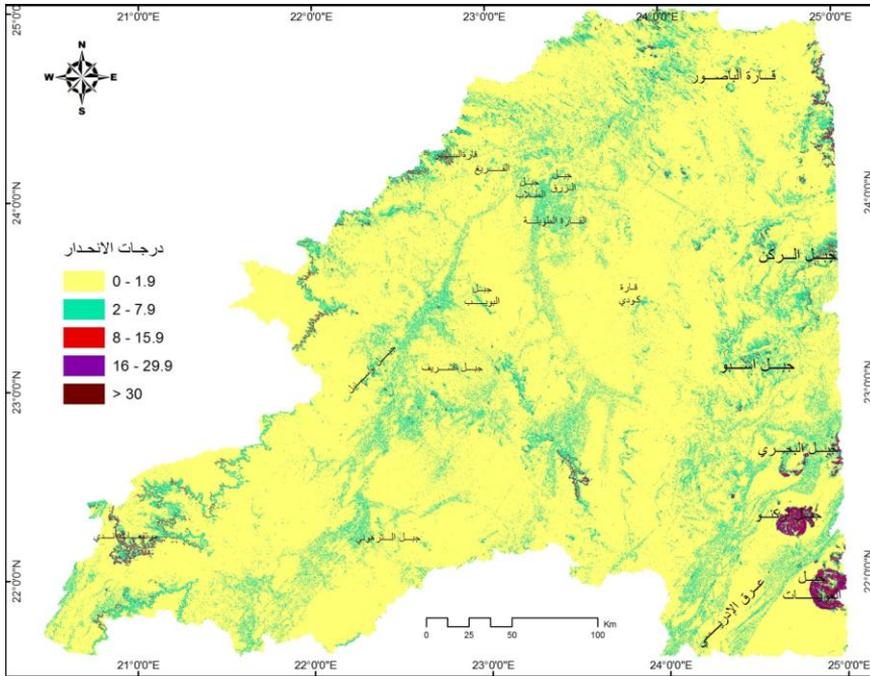
درجة): تشمل الأراضي ذات التموج الخفيف الذي يكون متوسط انحدارها بين (2 - 7.9 درجة) وتمثل بالسهول النهرية وقد بلغت مساحتها 12799.90 كم مربع مكونة ما نسبته (11.59%) ويظهر هذا النطاق بشكل واسع في مجرى الوادي ومناطق حضيض المرتفعات المنتشرة بوسط الوادي وعلى جانبية مثل تلال الزرق والطلاب وقارة كودي والفريق والباصور وغيرها.

3- نطاق الأراضي المتموجة أو مناطق متوسط الانحدار (8 - 15.9 درجة): تشغل هذه الفئة مساحة 928.90 كم مربع بمساحة 0.84% من إجمالي مساحة المنطقة، وتسود المناطق شديدة الانحدار عند أقدم السفح الغربي لجبل العوينات وأركنو وجبل البحري واسبو، وفي بعض مناطق الحافات مثل جبال الركن وقارة السدر ومرتفعات اندي الحافة الجنوبية الغربية للوادي والأجزاء المرتفعة من تلال الزرق وقمة قارة الطويلة، ويتصف هذا النطاق بالتموج الخفيف، يعزى تموج أشكال هذا النطاق إلى العامل والعمليات الجيومورفولوجية السائدة في المنطقة، ويقطع هذا النطاق بشبكة من الأودية ذات النمط المتوازي.

4- نطاق الأراضي مقطعة مجزأة أو مناطق شديد الانحدار نسبياً (16 - 29.9 درجة): وهو الانحدار الذي تكون فيه المسافات الأفقية بين الخطوط الكنتورية متساوية ومعتدلة وقل مما في النوع السابق، هي عبارة عن تلال مرتفعة وعالية قطعت بفعل التعرية المائية إلى شبكة متشعبة من الأودية والمرتفعات ويتراوح انحدارها بين (16 - 29.9 درجة) ومساحتها (410.84 كم<sup>2</sup>) مكونة ما نسبته (0.37%) من مساحة المنطقة، وهي أكثر صعوبة من النوع السابق من حيث استغلالها في مجالات عدة.

5- نطاق الأراضي مقطعة بدرجة عالية أو مناطق شديدة الانحدار (أكثر من 30 درجة): تكون هذا النطاق بفعل شدة الحركات التكتونية فضلاً عن نتاج عمليتي التجوية والتعرية، وتظهر على هيئة جزر يرتبط ظهورها بقمم جبلي العوينات وأركنو وهي تشغل نحو (52.25 كم<sup>2</sup>) مكونة ما نسبته (0.05 %) من مساحة المنطقة وتمثل ذلك بمناطق الجروف الصخرية ومناطق التغير في الانحدار، ومناطق حط تقسيم المياه بين الأحواض المائية، فضلاً عن الجروف الصخرية المشرفة على مضائق المنطقة، ويشمل الانحدارات التي تكون فيها الخطوط الكنتورية متقاربة جداً لصغر المسافة الأفقية بينها، وقد يواجه استغلالها مثل تلك السفوح مشاكل عدة<sup>(30)</sup>.

شكل (7) خريطة فئات الانحدارات لسطح الوادي وفق تصنيف زنك Zink



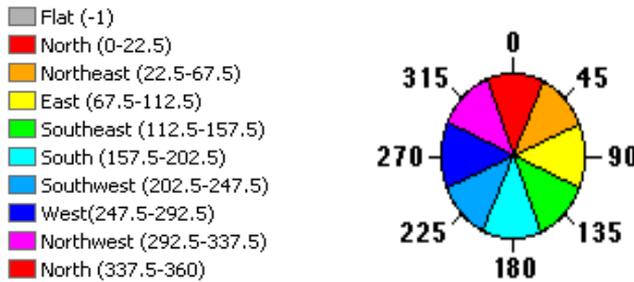
اعتماداً على DEM ومخرجات برنامج Arc GIS

## 4- خارطة اتجاه الميل Aspect:

تعد خريطة اتجاه الميل إحدى الطرق الكارتوغرافية لتمثيل تضاريس سطح الأرض، يحدد الوجه أو الواجهة الاتجاه - من أعلى إلى أسفل - لكل خلية PIXEL في الهيئة الخلية Raster بالنسبة للخلايا المجاورة لها ينتج عنه المظهر Aspect ، ويقاس هذا الاتجاه من اتجاه الشمال ومع دوران عقرب الساعة، والتي تتراوح قيم الخلايا الرقمية فيها بين (0 - 360 درجة)<sup>(31)</sup>، بحيث يأخذ الوجه الشمال قيمة صفر والوجه ناحية اتجاه الشمال الشرقي قيمة 45 والوجه ناحية اتجاه الشرق 90 .... وهكذا ، وفي هذه الخرائط يعبر اللون عن كل جهة من الجهات الأربعة الأصلية (N - E - S - W) والجهات الأربعة الفرعية (NE - SE - NW - SW) كما في الشكل التوضيحي شكل(8).

ولهذه الخرائط أهمية في الدراسات الجغرافية والجيومورفولوجية، حيث يعتمد عليها في الكثير من المظاهر والأنشطة البشرية، وترتبط اتجاهات سطح الأرض بالطبيعة الصخرية وميل الطبقات، فضلاً عن دور عمليات التعرية والترسيب في تغير اتجاهات الانحدار على نحو ما وخاصة الثانوية منها، وتعد دراسة اتجاه الانحدار من المعايير الأساسية للدلالة على اتجاه انحدار الأرض<sup>(32)</sup>.

شكل (8) اتجاهات ميل الانحدارات ESRI , 2008<sup>(33)</sup>

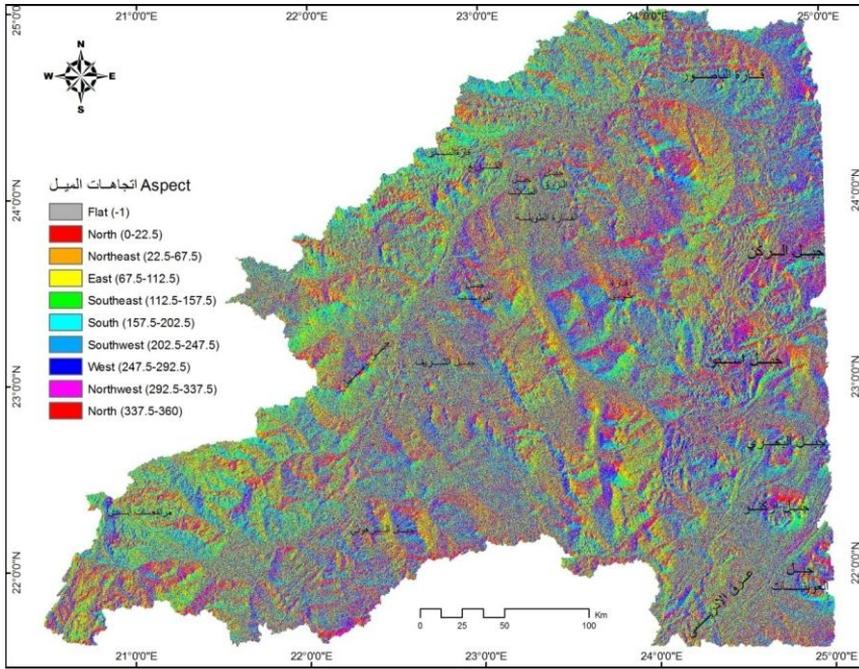


ويوضح لنا الجدول (6) والشكل (9) أنه لا يوجد اتجاه سائد بالمنطقة، وهو ما يعكس الاستواء العام للمنطقة وقلة التضرس بها، ويمثل الاتجاهين الشمال والشمال الشرقي ما نسبته (25.2%) وهي تمثل الاتجاه العام للشبكة التصريفية في المنطقة، يليها الاتجاه الشمال الغربي والجنوب الغربي والغرب بنسبة (12.64% - 12.37% - 12.35%) على التوالي، وهي بذلك تمثل اتجاه المراتب العليا للأودية، وتعكس ذلك ميل الطبقات الصخرية، والتضرس الشديد نوعاً ما لهذه المرتفعات، فيما يشكل الاتجاهين الجنوب والجنوب الشرقي ما نسبته (11.97% - 11.87%) على التوالي.

جدول (6) الاتجاهات الانحدارية لسطح منطقة الدراسة وفق تصنيف زنك

الاتجاه	درجات اتجاه الانحدار	المساحة كم <sup>2</sup>	النسبة %
Flat مستوي	مستوي	627.51	0.57
الشمال North	22.5 - 0	8412.47	7.61
الشمال الشرقي Northeast	67.5 - 22.5	14305.99	12.95
الشرق East	112.5 - 67.5	13529.24	12.25
الجنوب الشرقي Southeast	157.5 - 112.5	13120.50	11.87
الجنوب South	202.5 - 157.5	13225.85	11.97
الجنوب الغربي Southwest	247.5 - 202.5	13672.30	12.37
الغرب West	292.5 - 247.5	13646.35	12.35
الشمال الغربي Northwest	337.5 - 292.5	13961.71	12.64
الشمال North	360 - 337.5	5984.87	5.42
<b>المجموع</b>		<b>110486.79</b>	<b>100</b>

## شكل (9) خريطة اتجاهات ميل الانحدارات لسطح الوادي



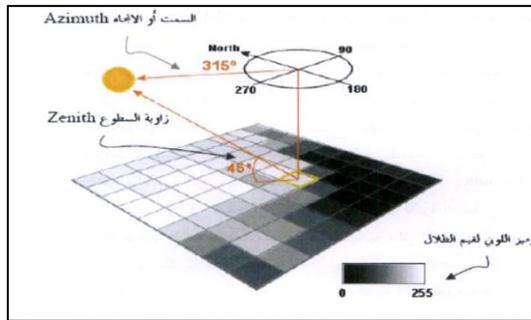
اعتمادا على DEM ومخرجات برنامج Arc GIS

## 5- اشتقاق خارطة ظلال التلال Hill Shade:

تعطي هذه الميزة إنارة افتراضية للسطح surface بتحديد قيم أو كمية الإضاءة لكل خلية من خلايا الهيئة الخلوية Raster، وتتم عملية تحليل الظلال من خلال تسليط ضوء أو أي مصدر إنارة على كل خلية موجودة في الهيئة الخلوية وحساب تأثير تلك الإنارة على الخلايا المجاورة، وتكون تدرجات اللون الرمادي افتراضية في برنامج Arc GIS 9.3، والمقصود بالإنارة هو ضوء الشمس وتكون زوايا الإنارة لضوء الشمس تبدأ من (0 - 180 درجة) من لحظات الشروق حتى الغروب حتى تعطي أفضل النتائج ويكون القياس باتجاه عقارب الساعة<sup>(34)</sup>، والغاية من استخدام هذا الشكل هو حساب الظل لكل

خلية في الهيئة الخلوية وحيث أن كل خلية تمثل موقعاً ما في المنطقة وتحديد الخلايا الواقعة تحت تأثير ظل خلايا أخرى في نفس الوقت من اليوم<sup>(35)</sup>، وتنتج العملية شبكة خلوية ثنائية تتراوح فيها القيم بين الواحد (1) لعدم وجود ظلال وصفر (0) في وجود الظلال، وذلك عند كل خلية في هذه الشبكة، وتحدد القيم عند كل خلية من خلال العلاقة بين زاوية ارتفاع مصدر الضوء أو الشمس الافتراضية وتسمى بزاوية السطوح Zenith ، وزاوية الاتجاه أو السمث Azimuth لمصدر الضوء عند كل خلية، وهذه الطريقة هي الأشهر في معظم نظم المعلومات الجغرافية، ويمكن ربط العلاقة بين زاوية الضوء واتجاه ودرجة انحدار السطح عند كل خلية، وفي النتيجة المعطاة عادةً في النظم يكون الظل Shadow والضوء Light عبارة عن طيف أو مدى ظلال رمادي يرمز بقيم لونية صحيحة تتدرج من (0) للون الأبيض فاتح تماماً أعلى حده لوجود ضوء، ويتبع معظم المستخدمين تقليدياً يستند إلى ما اقترحتته هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، بأن درجة 45 درجة وزاوية الارتفاع 315 الأفضل من الناحية الخرائطية أن تكون زاوية الاتجاه هي الشمال الغربي<sup>(36)</sup> شكل (10) و (11).

شكل (10) طريقة عمل تحليل الظلال (\*) (Hill shading Analysis)



(\*) تحسب إنارة السطح كقيم تتدرج من الصفر (0) إلى (255) تحسب على أساس اتجاه مصدر الضوء الافتراضي (الشمس) وحسب ارتفاع مصدر الضوء<sup>(37)</sup>.



دليل على تقوس السطح ووجود الوحدات المحدبة أو المقعرة فوق المنحدرات<sup>(39)</sup>، ويلقي تقوس القطاعات الضوء على تأثير عوامل التعرية المختلفة ودورها التي أسهمت به فيتحدد أشكال هذه المنحدرات ومن ثم الشكل الجيومورفولوجي العام لحوض التصريف وعملية شيوخ نمط معين من المنحدرات يوضح إذا كان الحوض في مراحل متقدمة أو مرحلة أولية من دورته التحاتية، فمع زيادة العناصر المقعرة دل ذلك على تقدم واضح للمرحلة التي يمر بها الحوض والعكس صحيح بالنسبة للمنحدرات المحدبة فمع زيادتها دل على أن الحوض مازال في بداية دورته التحاتية.

ويتم اشتقاق التقوس من نموذج الارتفاعات الرقمية DEM حيث يعبر التقوس عن مدى تحبب Convexity أو تقعر Concavity لمنطقة ما على سطح الأرض ويتم استخلاص هذا النوع من الخرائط عن طريق إدخال الخارطة التي تكون بالهيئة الخلوية Raster والتي تكون ناتجة أصلاً من نموذج الارتفاع الرقمي DEM إذ يتم حساب مقدار التقوس في المنطقة لكل خلية من خلايا الشكل الخلوي كما هو موضح بالشكل (12)، أما المدلولات الرقمية التي تستخرج من هذه الخارطة هي كالتالي<sup>(40)</sup>:

- إذا كانت قيمة التقوس موجبة فذلك دلالة على أن المنطقة محدبة  
Convex
- إذا كانت التقوس بالسالب ذلك يدل على أن المنطقة مقعرة  
Concave
- كانت قيمة التقوس تساوي صفر أو قريبة من ذلك يدل على أن المنطقة منبسطة Flat<sup>(41)</sup>.



أعلى من 1 من جملة الأراضي المحدبة بالمنطقة وهي تمثل 0.026% من جملة الأراضي بالمنطقة عامة، بينما مثلت الأراضي المقعرة Concave (درجة تقوسها أقل من 1) ما نسبته 9.83% منها 0.13% فقط بلغ معدلها اقل من 1 من جملة الأراضي المقعرة بالمنطقة وهي تمثل 0.013% من جملة الأراضي بالمنطقة عامة، وهي تتمثل في المناطق الجبلية .

في حين بلغت فئة الأراضي المستوية السطح Flat (درجة تقوسها ما بين 0.1- إلى 0.1+) 80.67% ، منها (8077 كيلومتر مربع) من إجمالي مساحة المنطقة أي ما نسبته 7.31% كانت مستوية تماماً (درجة تقوسها تساوي صفر) وهي تمثل المناطق السهلية.

وعموماً تعد المنطقة في معظمها مستوية السطح باستثناء بعض التموجات المحدبة والمقعرة.

جدول (7) تصنيف الأشكال الأرضية حسب تقوس الفئات

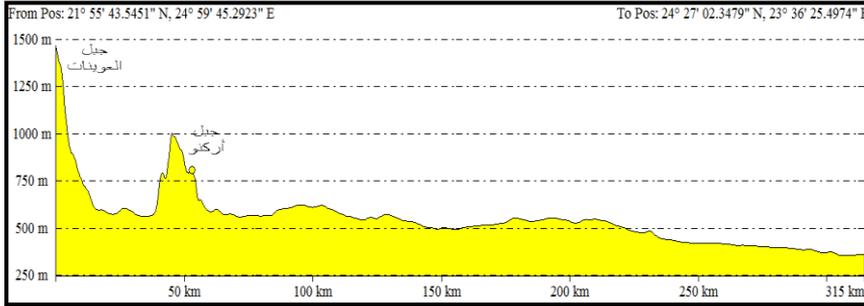
التصنيف	النسبة %	المساحة كم <sup>2</sup>	درجة التقوس	الشكل	الفئات
سهول تحتية نهرية وديان	9.83	10854.87	اقل من 0.1	مقعر Concave	الفئة الأولى
سهول	80.67	89133.01	ما بين (0.1 -) إلى (0.1 +)	مستوي مسطح Flat	الفئة الثانية
تلال وجبال	9.50	10498.91	أكبر من 1	محدب Convex	الفئة الثالثة
	<b>100</b>	<b>110486.79</b>			المجموع





- القطاع الممتد جنوب شرق - شمال غرب ماراً بجبل أركنو انتهاءً بمنطقة عين إجديد بطول 314.73 كم يبدأ من الحافة الجنوبية الشرقية لوادي الكفرة بارتفاع 1467 متر تقريباً ثم تبدأ المنطقة بالانخفاض لتصل إلى 600 متراً وبعدها ترتفع مرة أخرى عند جبل أركنو لتصل إلى 1000 متر، ثم تبدأ بالانخفاض التدريجي إلى أن تصل إلى 365 متراً عند منطقة عين إجديد.
- القطاع الممتد جنوب غرب - شمال شرق بطول 336 كم يبدأ من مرتفعات اندي بارتفاع 650 متراً ماراً بمرتفعات بوسنبل 550 متراً ثم يبدأ السطح بالانخفاض التدريجي إلى أن يصل إلى مرتفعات الطلاب والزرق 430 متراً تقريباً ثم تأخذ في الانخفاض لتصل إلى اقل مستوى بالقرب من عين إجديد 360 متراً.

### شكل (15) القطاع الطولي الأول



اعتماداً على DEM وبرنامج Global Mapper v17

Start Position: 21° 55' 43.5451" N, 24° 59' 45.2923" E Start Height: 1467.162 m

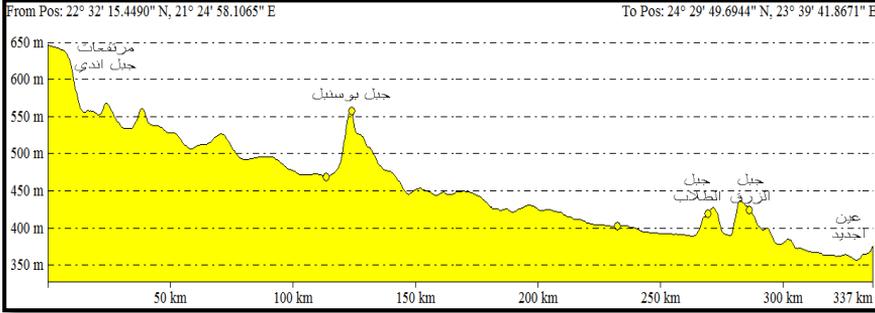
End Position: 24° 27' 02.3479" N, 23° 36' 25.4974" E End Height: 360.96 m

Minimum Elevation on Path: 358.166m Maximum Elevation on Path: 1467.162m

Path Length: 314.73 km Azimuth: 333° 17' 23.8"

Slope/Tilt: -0.20° Max Path Slope: 10.06° [3.692 km along path]

## شكل (16) القطاع الطولي الثاني



اعتماداً على DEM وبرنامج v17 Global Mapper

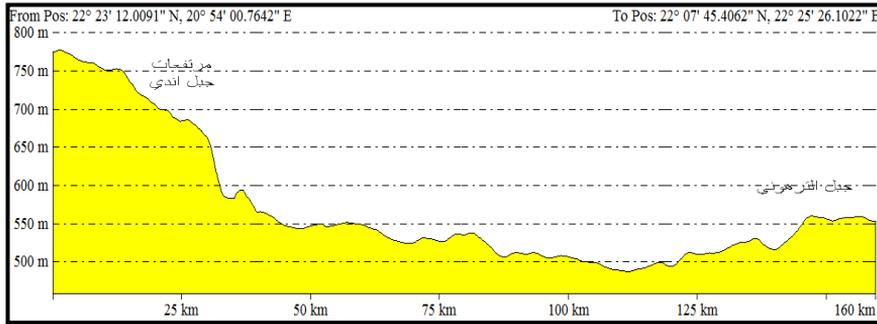
Start Position: 22° 32' 15.4490" N, 21° 24' 58.1065" E Start Height: 646.827 m  
End Position: 24° 29' 49.6944" N, 23° 39' 41.8671" E End Height: 375.766 m  
Minimum Elevation on Path: 356.535 m Maximum Elevation on Path: 646.827 m  
Path Length: 336.53 km Azimuth: 46° 08' 11.2"  
Slope/Tilt: -0.05° Max Path Slope: 1.36° [121.06 km along path]

ثانياً: القطاعات العرضية للوادي: (الأشكال 17 و18 و19 و20):

- القطاع الأول الممتد من مرتفعات اندي 775 متراً غرباً باتجاه جبل التزهوني 553 متراً شرقاً بطول 160 كم وتعد المنطقتين المنابع العليا للوادي بهذا الاتجاه.
- ويمتد القطاع الثاني من بوسنبيل غرباً بارتفاع 579 متراً باتجاه الشرق بطول 250 كم ماراً بجبل الشريف والمرتفعات الوسطى للوادي التي تفصل ما بين الفرعين الرئيسيين المكونين لوادي الكفرة، إلى جبل البحري شرقاً بارتفاع 660 متراً وهنا نلاحظ أن المرتفعات الشرقية والجنوبية الشرقية أعلى من المرتفعات الغربية والجنوبية الغربية للوادي.

- أما القطاع الثالث فهو يبدأ بارتفاع 605 متراً عند مرتفعات قارة السدر في الشمال الغربي للوادي باتجاه مرتفعات جبل الركن 540 متراً باتجاه الشرق بطول 230 كم .
- قطاع قارة الشعلة في الشمال الغربي 561 متراً ثم يبدأ بالانخفاض تجاه منطقة واحة الكفرة حيث تسجل ارتفاع 380 متراً وهي عبارة عن منطقة سهلية محصورة ما بين الشعلة وجبل الديتو 434 متراً شمال الجوف ثم تبدأ المنطقة مرة أخرى بالانخفاض لتسجل أدنى انخفاض ليصل إلى 375 متراً وهو يمثل منسوب السبخات بالمنطقة ثم يعود الارتفاع التدريجي صوب الجنوب الشرقي ليصل إلى 450 متراً جبال الزرق جنوب مشروع الكفرة الزراعي .

شكل (17) القطاع العرضي الأول



اعتماداً على DEM وبرنامج Global Mapper v17

Start Position: 22° 23' 12.0091" N, 20° 54' 00.7642" E Start Height: 775.009 m

End Position: 22° 07' 45.4062" N, 22° 25' 26.1022" E End Height: 553.098 m

Minimum Elevation on Path: 487.571 m Maximum Elevation on Path:

777.248 m

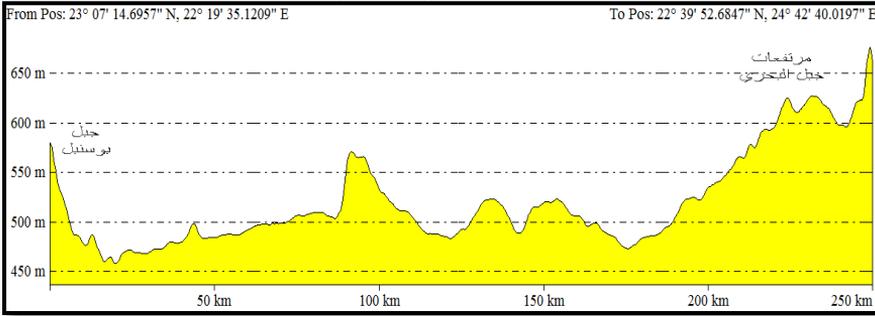
Path Length: 159.62 km

Azimuth: 99° 59' 48.1"

Slope/Tilt: 0.08°

Max Path Slope: 2.04° [31.518 km along path]

### شكل (18) القطاع العرضي الثاني

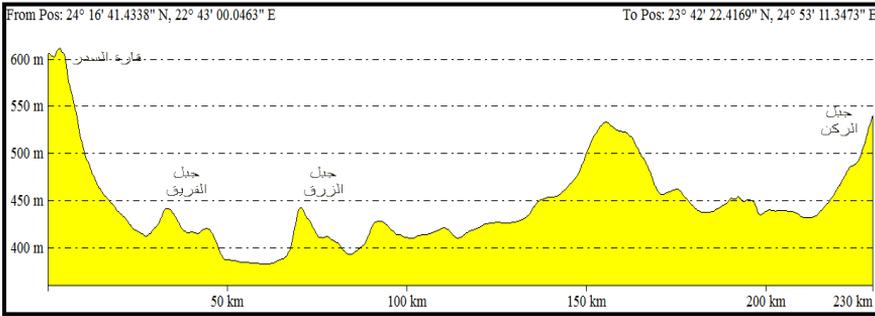


اعتماداً على DEM وبرنامج Global Mapper v17

Start Position: 23° 07' 14.6957" N, 22° 19' 35.1209" E Start Height: 579.679 m  
End Position: 22° 39' 52.6847" N, 24° 42' 40.0197" E End Height: 660.996 m  
Minimum Elevation on Path: 458.692 m Maximum Elevation on Path: 676.214 m

Path Length: 249.83 km Azimuth: 101° 11' 55.3"  
Slope/Tilt: 0.02° Max Path Slope: 2.28° [247.64 km along path]

### شكل (19) القطاع العرضي الثالث

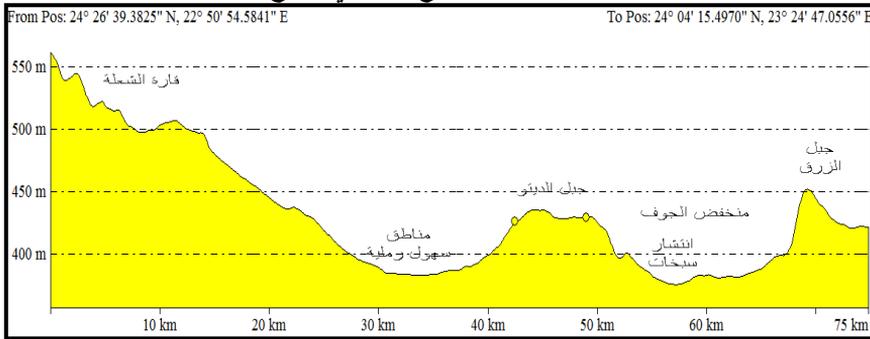


اعتماداً على DEM وبرنامج Global Mapper v17

Start Position: 24° 16' 41.4338" N, 22° 43' 00.0463" E Start Height: 605.315 m  
End Position: 23° 42' 22.4169" N, 24° 53' 11.3473" E End Height: 540.259 m  
Minimum Elevation on Path: 383.023 m Maximum Elevation on Path: 611.748 m

Path Length: 229.7 km Azimuth: 105° 33' 56.1"  
Slope/Tilt: 0.02° Max Path Slope: 1.72° [5.164 km along path]

## شكل (20) القطاع العرضي الرابع



اعتماداً على DEM وبرنامج Global Mapper v17

Start Position: 24° 26' 39.3825" N, 22° 50' 54.5841" E Start Height: 561.711 m  
 End Position: 24° 04' 15.4970" N, 23° 24' 47.0556" E End Height: 421.857 m  
 Minimum Elevation on Path: 375.788 m Maximum Elevation on Path: 561.711 m  
 Path Length: 74.828 km Azimuth: 125° 40' 58.5"  
 Slope/Tilt: 0.11° Max Path Slope: 2.63° [68.391 km along path]

## الخلاصة والاستنتاجات:

- 1- يعد برنامج Arc Map 9.3 من أفضل وأسهل البرامج التي تتعامل مع الملفات الرقمية والمرئيات الفضائية، وهو الأنسب في تقطيع وتصدير وتمثيل تلك الملفات وعرض الخرائط المجسمة.
- 2- أصبح استخدام بيانات الارتفاعات الرقمية يمثل حجر الأساس لأنظمة المعلومات الجغرافية واحد أهم التطبيقات في مجال التكنولوجيا وعلم المعلوماتية.
- 3- أوضحت الدراسات الجيومورفولوجية باستخدام التقنيات الحديثة لنظم المعلومات الجغرافية أهمية كبيرة في الحصول على بيانات ومعلومات دقيقة يصعب الوصول إليها بوسائل الدراسة التقليدية الجدولية والخرائط.

- 4- أهمية نموذج الارتفاع الرقمي DEM في تمثيل التضاريس المختلفة وإبرازها بهيئة مجسمة ثلاثية الأبعاد بحيث يمكن تحليل التضاريس منها بسهولة ويسر.
- 5- أثبت البرنامج المستخدم الكفاءة والدقة والسرعة العالية في رسم خرائط الكنتور من خلال اعتماد ملفات الارتفاعات الرقمية DEM التي مثلت قيم الارتفاع المتساوي على مستوى منطقة الدراسة، وذلك لما تتمتع به البيانات الرادارية التي يوفرها مكوك الفضاء الأمريكي من دقة عالية تقارب الواقع.
- 6- الدقة في استخراج البيانات كالمساحات ونسبها من الخرائط المرسومة وسرعة إنجازها.
- 7- استخدمت بيانات الارتفاعات الرقمية DEM ونظم المعلومات الجغرافية لدراسة وقياس وحساب الانحدار واتجاهه وعمل خارطة مجسمة للمنطقة، كذلك تم تحديد مناطق التقوس والتعرر باشتقاق خارطة التقوس إضافة إلى خارطة ظلال التلال.
- 8- أتاح البرنامج إمكانية إظهار المنطقة نمذجة تفصيلياً من خلال خرائط الارتفاع والانحدار واتجاه الميل، فضلاً عن الإخراج الإحصائي الذي يساعد على التوضيح الدقيق للنتائج على شكل خرائط مرسومة بنظم المعلومات الجغرافية، بما يفيد صناع القرار.

## الهوامش والتعليقات:

- 1- العزاوي، علي عبد عباس و العبيدي، أحمد حامد علي، (2007): اشتقاق المعلومات الجيومورفولوجية من البيانات الرادارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية - الموصل دراسة حالة، مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية، المجلد 14 العدد 10. ص208.
- 2- حسن، أحمد عباس وآخرون، (2015): استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة جيومورفولوجية لطية بيخير شمال العراق، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 23، العدد 1. ص1.
- 3- داود، جمعة حسن، (2012): أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية GIS، الطبعة الأولى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية. ص174.
- 4- جواد، علي محمد و محمد، يوسف سامر، (2012): استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية في استخراج شبكات التصريف المائية وقياساتها الهيدرولوجية لحوض العظيم، المجلة العراقية للعلوم، المجلد 53، العدد 4. ص1129.
- 5- العزاوي، علي عبد عباس، (بدون تاريخ): استقراء المعلومات من نموذج التضرس الرقمي لدعم النمذجة الهيدرولوجية لحوض آشور شمال العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. ص209.
- 6- خيرالله، حافظ عيسى، (2014): توظيف نظم المعلومات الجغرافية GIS في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية للأودية في البيئات الجافة "دراسة حالة وادي الكفرة في جنوب شرق ليبيا"، ص11.
- 7- علي، طارق جمعة، (2010): استخدام أتمودج الارتفاع الرقمي في إنتاج خرائط الارتفاعات لمحافظلة البصرة باعتماد برنامج نظم المعلومات الجغرافية، مجلة دراسات البصرة، العدد 9. ص139.
- 8- خيرالله، حافظ عيسى، (2013): استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل الارتفاع الرقمي لمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا، مجلة كلية الآداب جامعة بنغازي، العدد 38. ص88.
- 9- مجيد، هالة محمد سعيد، (2014): استخراج الخصائص الجيومورفولوجية من بيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM لحوض وادي كوي شمال العراق، مجلة الأستاذ المجلد الأول العدد 209. ص638.
- 10- داود، جمعة حسن، (2012) مرجع سابق ص103.
- 11- أحمد، وسن شهاب، (2013): دور نظم المعلومات الجغرافية في إنتاج خرائط الارتفاع المتساوي (قضاء خانقين)، مجلة الأستاذ، المجلد الأول، العدد 206. ص258.
- 12- مجيد، هالة محمد سعيد، (2014) مرجع سابق ص639.

- 13- الشباني، إبراهيم ناجي، (2007): استخدام نماذج الارتفاع الرقمية لإنتاج خريطة الارتفاعات المتساوية لمدينة الديوانية بواسطة برنامج Global Mapper7 ، مجلة القادسية في الآداب والعلوم التربوية، المجلد 6 العددان (3 - 4). ص168.
- 14- داود، جمعة حسن، (2009): مقدمة في التحليل الإحصائي والمكاني في برنامج Arc GIS الإصدار 9.2 ، جامعة أم القرى مكة المكرمة المملكة العربية السعودية. ص58.
- 15- داود، جمعة حسن، (2012) مرجع سابق ص104.
- 16- الببواقي، أحمد علي حسن ، (2014): جيومورفولوجية حوض وادي استبلان شمال غرب زاخو دراسة في التنمية المستدامة، مجلة جامعة دهوك، المجلد 17، العدد 2. ص469.
- 17- سطحية، محمد سطحية، (1977): الجغرافيا العملية وقراءة الخرائط، دار النهضة العربية، القاهرة، ط 2. ص189.
- 18- مصطفى، أحمد أحمد، (1987): الخرائط الكنتورية تفسيرها وقطاعاتها، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية. ص66.
- 19- المرجع السابق ص122
- 20- الغيلان، حنان بنت عبد اللطيف بن حسن، (2008): دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي لبن، ماجستير منشورة، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية. ص203
- 21- علاجي، أمينة بنت أحمد بن محمد، (2010): تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص الهيدرولوجية في حوض وادي يلملم، ماجستير منشورة، جامعة أم القرى، المملكة العربية السعودية. ص85
- 22- الببواقي، أحمد علي حسن ، (2014) مرجع سابق ص474
- 23- حسن، أحمد عباس وآخرون، (2015) مرجع سابق ص11
- 24- جرجيس، أسماء خالد، (2011): تأثير عامل الانحدار على الخصائص الشكلية لأحواض وديان مختارة شرق محافظة نينوى باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، مجلة التربية والعلم، المجلد 18، العدد 4. ص341
- 25- العزاوي، علي عبد عباس و العبيدي، أحمد حامد علي، (2007) مرجع سابق ص219
- 26- ESRI , 2008 , Manual of ARC GIS , version 9.3 , USA.
- 27- وسام الدين، محمد، (2008): أساسيات نظم المعلومات الجغرافية مجموعة محاضرات مقررة على طلبة الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا، ص63 .

- 28- البيواقي، أحمد علي حسن ، (2014) مرجع سابق ص190
- 29-Stam Marin Ed, GIS Solution in Natural Resource Management  
Tenewable Natural Resourc Foundation and Natural of Sciences-  
Natural Research Council, Washington, 1999, p88.
- 30- الدليمي، خلف حسين، (2000): الجيومورفولوجيا التطبيقية، علم شكل الأرض التطبيقي، ص  
101.
- 31- علي، طارق جمعة، (2010) مرجع سابق ص 159.
- 32- البيواقي، أحمد علي حسن ، (2014) مرجع سابق ص 477.
- 33-ESRI , 2008 , Manual of ARC GIS , version 9.3 , USA
- 34-Lillisand, T.M. and kiefer, R.W., 2008, Remote sensing and  
Image Interpretation, John wiley and sons Inc., 6th Ed., Canada  
756p.
- 35- حسن، أحمد عباس وآخرون، (2015) مرجع سابق ص 14.
- 36-الغامدي، علي بن معاضة، (2007): استعراض أشكال سطح الأرض بطريقة شمالية الاتجاه طريقة  
تجريبية مقترحة، رسائل جغرافية 326، قسم الجغرافيا جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية،  
الكويت. ص 7.
- 37- المرجع السابق ص8.
- 38- علي، متولي عبد الصمد عبد العزيز، (2001):حوض وادي وتير شرق سيناء دراسة جيومورفولوجية،  
رسالة دكتوراه منشورة، قسم الجغرافيا جامعة القاهرة، ص306.
- 39- سليمان، محمد فؤاد عبد العزيز، (بدون تاريخ): حوض وادي الأسيوطي دراسة جيومورفولوجية، قسم  
الجغرافيا جامعة طنطا، ص157.
- 40- جرجيس، أسماء خالد، (2010): تأثير عامل تقوس التضاريس على التوزيع المكاني للنبات الطبيعي  
في منطقة أتروش باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة التربية والعلم، المجلد17، العدد 4. ص320.
- 41-ArcGIS, Help of the program.
- 42- حسن، أحمد عباس وآخرون، (2015) مرجع سابق ص 15.
- 43-Hugget ,Richard John , 2007,Fundemerals of Geomorphology ,  
Routledge ,2nd , NewYork , P458.

## المصادر والمراجع:

### أولاً: المراجع العربية:

- 1- أحمد، وسن شهاب، (2013): دور نظم المعلومات الجغرافية في إنتاج خرائط الارتفاع المتساوي (قضاء خانقين)، مجلة الأستاذ، المجلد الأول، العدد 206.
- 2- البواتي، أحمد علي حسن ، (2014): جيومورفولوجية حوض وادي استبلان شمال غرب زاخو دراسة في التنمية المستدامة، مجلة جامعة دهوك، المجلد 17، العدد 2.
- 3- البواتي، أحمد علي حسن و محمد، دلفين جعفر، (2014): استخدام إمكانات نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء خرائط جيومورفولوجية وانحدارية لسطح حوض وادي روكوم، مجلة جامعة دهوك، المجلد 17، العدد 2.
- 4- جرجيس، أسماء خالد، (2010): تأثير عامل تقوس التضاريس على التوزيع المكاني للنبات الطبيعي في منطقة أتروش باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة التربية والعلم، المجلد 17، العدد 4.
- 5- جرجيس، أسماء خالد، (2011): تأثير عامل الانحدار على الخصائص الشكلية لأحواض وديان مختارة شرق محافظة نينوى باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، مجلة التربية والعلم، المجلد 18، العدد 4.
- 6- جواد، علي محمد و محمد، يوسف سامر، (2012): استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية في استخلاص شبكة التصريف المائية وقياساتها الهيدرومورفومترية لحوض العظيم، المجلة العراقية للعلوم، المجلد 53، العدد 4.
- 7- حسن، أحمد عباس وآخرون، (2015): استخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة جيومورفولوجية لطية بيخير شمال العراق، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، المجلد 23 ، العدد 1.

- 8- خيرالله، حافظ عيسى، (2013): استخدام نظم المعلومات الجغرافية في إنشاء وتمثيل الارتفاع الرقمي لمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا ، مجلة كلية الآداب جامعة بنغازي، العدد 38.
- 9- خيرالله، حافظ عيسى، (2014): توظيف نظم المعلومات الجغرافية GIS في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية للأودية في البيئات الجافة "دراسة حالة وادي الكفرة في جنوب شرق ليبيا"
- 10- داود، جمعة حسن، (2009): مقدمة في التحليل الإحصائي والمكاني في برنامج Arc GIS الإصدار 9.2 ، جامعة أم القرى مكة المكرمة المملكة العربية السعودية.
- 11- داود، جمعة حسن، (2012): أسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية GIS ، النسخة الأولى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.
- 12- الدليمي، خلف حسين، (2000): الجيومورفولوجيا التطبيقية، علم شكل الأرض التطبيقي،
- 13- سطيحة، محمد سطيحة، (1977): الجغرافيا العملية وقراءة الخرائط، دار النهضة العربية، القاهرة، ط 2.
- 14- سليمان، محمد فؤاد عبد العزيز، (بدون تاريخ): حوض وادي الأسيوطي دراسة جيومورفولوجية، قسم الجغرافيا جامعة طنطا.
- 15- الشباني، إبراهيم ناجي، (2007): استخدام نماذج الارتفاع الرقمية لإنتاج خريطة الارتفاعات المتساوية لمدينة الديوانية بواسطة برنامج Global Mapper7 ، مجلة القادسية في الآداب والعلوم التربوية، المجلد 6 العددان (3 - 4).
- 16- العزاوي، علي عبد عباس و العبيدي، أحمد حامد علي، (2007): اشتقاق المعلومات الجيومورفولوجية من البيانات الرادارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية - الموصل دراسة حالة، مجلة جامعة تكريت للعلوم الإنسانية، المجلد 14 العدد 10.

- 17- العزاوي، علي عبد عباس، (بدون تاريخ): استقراء المعلومات من نموذج التضرس الرقمي لدعم النمذجة الهيدرولوجية لحوض آشور شمال العراق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- 18- علاجي، آمنة بنت أحمد بن محمد، (2010): تطبيق نظم المعلومات الجغرافية في بناء قاعدة بيانات للخصائص الهيدرولوجية في حوض وادي يلملم، ماجستير منشورة، جامعة أم القرى، المملكة العربية السعودية.
- 19- علي، طارق جمعة، (2010): استخدام نموذج الارتفاع الرقمي في إنتاج خرائط الارتفاعات لمحافظة البصرة باعتماد برنامج نظم المعلومات الجغرافية، مجلة دراسات البصرة، العدد 9.
- 20- علي، متولي عبد الصمد عبد العزيز، (2001): حوض وادي وتير شرق سيناء دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه منشورة، قسم الجغرافيا جامعة القاهرة.
- 21- الغامدي، علي بن معاضة، (2007): استعراض أشكال سطح الأرض بطريقة شمالية الاتجاه طريقة تجريبية مقترحة، رسائل جغرافية 326، قسم الجغرافيا جامعة الكويت والجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.
- 22- الغيلان، حنان بنت عبد اللطيف بن حسن، (2008): دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة الخصائص المورفومترية لحوض وادي لبن، ماجستير منشورة، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.
- 23- مجيد، هالة محمد سعيد، (2014): استخلاص الخصائص الجيومورفولوجية من بيانات نموذج الارتفاع الرقمي DEM لحوض وادي كوي شمال العراق، مجلة الأستاذ المجلد الأول العدد 209.
- 24- مصطفى، أحمد أحمد، (1987): الخرائط الكنتورية تفسيرها وقطاعاتها، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- 25- وسام الدين، محمد، (2008): أساسيات نظم المعلومات الجغرافية مجموعة محاضرات مقررة على طلبة الأكاديمية العربية للعلوم والتكنولوجيا.

ثانياً: المراجع الاجنبية:

- 1- ESRI , 2008 , Manual of ARC GIS, version 9.3 , USA.
- 2-Lillisand, T.M. and kiefer, R.W., 2008, Remote sensing and Image Interpretation, John wiley and sons Inc., 6th Ed., Canada .
- 3- Hugget, Richard John, 2007,Fundemetals of Geomorphology , Routledge ,2nd , NewYork .
- 4- ArcGIS, Help of the program.
- 5- Stam Marin Ed, GIS Solution in Natural Resource Management Tenewable Natural Resourc Foundation and Natural of Sciences-Natural Research Council, Washington,1999 .