

الخصائص الجيومورفولوجية لحوض وادي العقيق بمنطقة المدينة المنورة

د. محمد فضيل بوروية

قسم الجغرافيا - كلية اللغة العربية والدراسات الاجتماعية

جامعة القصيم

ملخص البحث. يشكل غياب المحطات الهيدرومترية لقياس الجريان السطحي للأودية في المملكة العربية السعودية مشكلة تحول دون التعرف الدقيق على الخصائص الهيدرولوجية لنظم التصريف السطحي بالأحواض المائية الصحراوية . ولذا فإن هذا البحث يسعى إلى التعرف على الخصائص التضاريسية والمورفومترية التي تتحكم في الخصائص الهيدرولوجية لسبول حوض وادي العقيق باستخدام بيانات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) بوضوح مكاني قدره ٣٠ م و مخرجات التحليل المكاني Spatial Analysis في ملحق ArcHydro من برنامج ArcGIS بالإضافة إلى برنامج نمذجة نظم الأحواض المائية Watershed (WMS) Modeling System وكذلك بيانات الأمطار المتوفرة بمحطات الفقير و أم البرك والمسجيد والمدينة المنورة و بئر المشي خلال ٣١ سنة ممتدة من ١٩٧٤ إلى ٢٠٠٤ م. ولقد تم اختيار هذا الحوض المائي نظرا لأهميته من الناحية الهيدرولوجية كونه يصرف مساحة تقدر بـ ٥١٣٠,٨ كلم^٢ يشرف مصب حوضها على المنطقة العمرانية للمدينة المنورة والحرم النبوي . ويعتمد هذا البحث في تقدير كمية تدفق الذروة لسبول أربعة أحواض مائية تغذي وادي العقيق بمياه الجريان السطحي وهي أحواض وادي ريم ووادي البتمة ووادي العش وشعيب السليم على نموذج المعادلة التجريبية للهيئة الأمريكية لحماية الأراضي Soil Conservation Service (SCS) في غياب وجود قياسات للجريان السطحي بهذه الأحواض . ولتحقيق أهداف الدراسة فقد تم استخدام مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية بوضوح مكاني قدره ٣٠ متر لحساب المتغيرات التضاريسية والمورفومترية التي تعتمد عليها المعادلات التجريبية للنموذج الهيدرولوجي المطبق في هذه الدراسة .

المقدمة

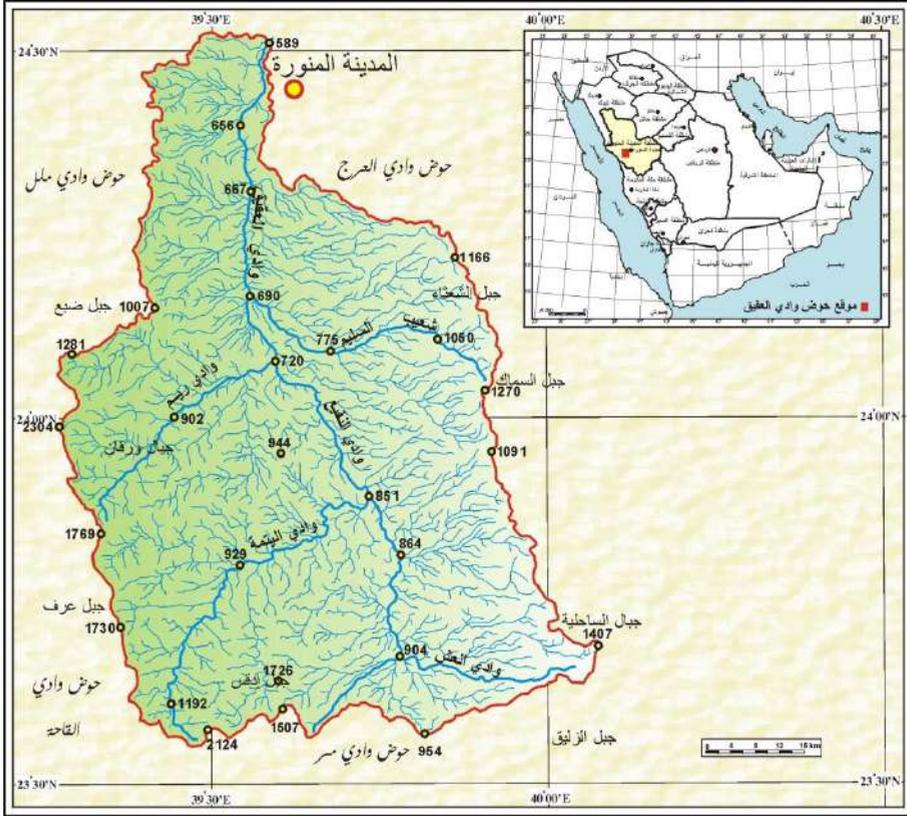
يتزايد الاهتمام حالياً بدراسة ظاهرة السيول وتأثيراتها البيئية والاقتصادية على المراكز العمرانية الواقعة داخل مساحات التصريف لمختلف الأودية بالمملكة العربية السعودية خاصة بعد الخسائر التي حصلت في المملكة العربية السعودية جراء السيول التي اجتاحت مدينة جدة في يوم ٢٥/١١/٢٠٠٩ حيث وصل عدد الوفيات إلى ١١٨ شخصاً وعدد المفقودين إلى ٤٨ شخصاً (جريدة الرياض، العدد ١٥١٤٤) وعدد المنازل المتضررة إلى ٨٠٩٢ منزلاً وعدد السيارات التالفة إلى ٧١٤٣ سيارة (جريدة الاقتصادية، العدد ٥٩٠٠). كما أدى سيل مكة المكرمة الذي حدث يوم ٢٥/١١/٢٠٠٩ م إلى وفاة ١١٦ شخصاً وإنقاذ حوالي ٩٠٠ شخص (Skynewsarabia, 17/11/2014) وسيل يوم ١/٥/٢٠١٣ م في جازان والذي أدى إلى وفاة ١٩ شخصاً (العربية، ٢/٥/٢٠١٣ م). وتواجه دراسة نظم التصريف السطحي بالمناطق الجافة مشكلة كبيرة تتمثل في غياب المحطات الهيدرومترية على مجاري الأودية ومن ثم عدم توفر القياسات الفعلية للتدفق السيلي والجريان السطحي للأودية. إن غياب مثل هذه البيانات الهيدرولوجية يشكل عقبة كبيرة في فهم وتحليل نظام التصريف السطحي للأودية ومن ثم يجعل من تطبيق النماذج الهيدرولوجية لتقدير التدفق أحد البدائل الممكنة المساعدة على دراسة وفهم الخصائص الهيدرولوجية للجريان السطحي بأحواض التصريف في المناطق الجافة على غرار حوض وادي العقيق بمنطقة المدينة المنورة. وهناك العديد من الدراسات التي حاولت تحليل خصائص نظام التصريف السطحي لبعض الأودية للمملكة العربية السعودية نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر دراسات (الجراش، ١٩٨٢) و (البليهد، ١٩٩٢) و (Surman, 1993a ; 1993b ; 1994) و (Bukhari, 1993) و (بوروية و الجعدي، ٢٠٠٧) و (بوروية، ٢٠٠٧) و (الجعدي، ٢٠٠٨) و (مرزا والبارودي، ٢٠٠٤ و ٢٠٠٦).

وستحاول هذه الدراسة تحديد الخصائص الهيدرولوجية لنظام التصريف السطحي لحوض وادي العقيق باستخدام بعض المعادلات التجريبية التي تعتمد على الخصائص التضاريسية والمورفومترية لأحواض التصريف في غياب المحطات الهيدرومترية والتي تم تطبيقها في العديد من الأحواض المائية بمناطق مختلفة من العالم.

١ - منطقة الدراسة

يقع حوض وادي العقيق من الناحية الجيولوجية على الدرع العربي ومن الناحية الجغرافية في الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية بالمنطقة الإدارية للمدينة المنورة. وتقع مساحة التصريف لحوض وادي العقيق بين خطي الطول "39°16'13.2" و "40°05'8.5" شرقاً وبين دائرتي العرض "23°32'50.4" و "24°31'41.1" شمالاً (الشكل ١). ويحد حوض وادي العقيق حوض وادي العرج من الشرق وحوض وادي الحمض الأدنى من الشمال وحوض وادي ملل من الشمال الغربي وحوض وادي القاحة من الجنوب الغربي وحوض وادي مر من الجنوب. وتبلغ مساحة التصريف لحوض وادي العقيق ٥١٣٠,٨ كلم^٢ تمتد من الجنوب إلى الشمال بمحيط يبلغ ٥٣٤ كلم وبطول يبلغ ١٠٨,٥ كلم على ارتفاعات تتراوح بين ٢٣٩٣ م عند جبال ورقان و ٥٨١ م عند المصب. وينحدر وادي العقيق بمجرى رئيس يبلغ طوله ١٦٣,٢ كلم من جبال أقدس و جبال ورقان الواقعة بحرة الحجاز التي تبعد عن المدينة المنورة بحوالي ٨٢ كلم جنوباً. ولوادي العقيق مسميات كثيرة على طول مجراه إذ يسمى أعلاه النقيب ويسمى بين جبل عير وحمراء بالأسد الحسي و العقيق بعد ذو الحليفة (الدوعان، ١٩٩٩). وتصب فيه أودية الشعبين وظلامة والعش واليتمة وضاف والملحة وريم والنقيب والخنقة وحضة والسديرة وعدة شعبان منها شعيب اللحيان والعرار ونخال ملحة والسليم مسعيد وغيرها.

ويعتبر وادي العقيق من أشهر أودية المدينة المنورة وقد سماه الرسول صلى الله عليه وسلم باسم الوادي المبارك وهو يلتقي مع بقية أودية المدينة المنورة (بطحان وقناة) عند مجمع الأسيال وهي تصب جميعها في وادي الحمض الذي يصب في البحر الأحمر. ويتسم حوض



الشكل رقم (١). الموقع الجغرافي لحوض وادي العقيق.

وادي العقيق بنظام تصريف داخلي لأنه يصب في مجرى وادي الحمض غرب المدينة المنورة . ويتسم حوض وادي العقيق بنمط تصريف شجري . وتنبأين نسبة الانحدار الطبوغرافي لحوض وادي العقيق بين السفوح العليا بالجنوب الغربي حيث تفوق ٣٠ % والحوض الأدنى والسفوح الشرقية حيث لا تتعدى ٣ % على طول المجرى الرئيس وحتى المصب عند وادي الحمض.

٢- الخصائص المناخية

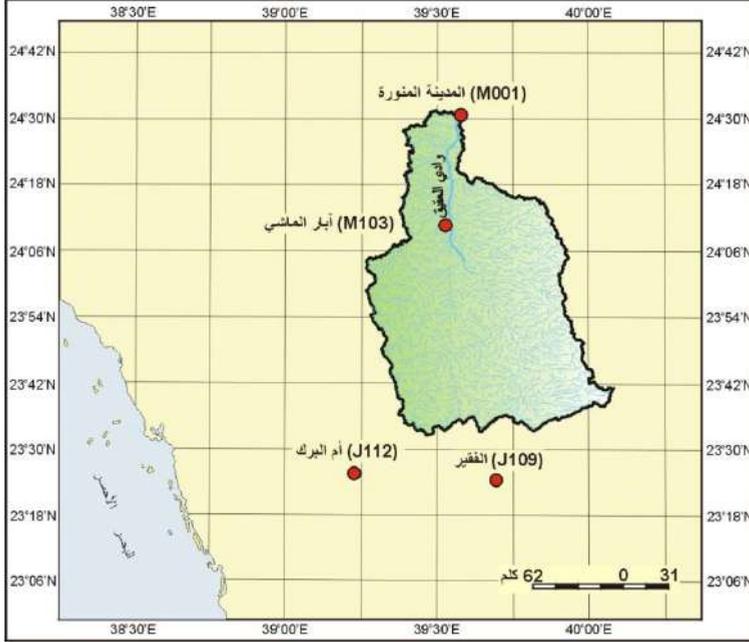
ترتبط الخصائص الهيدرولوجية لنظام التصريف السطحي بالحوض المائي بالخصائص المناخية السائدة به لأن كمية التدفق السطحي تمثل الفائض المائي الناتج من الفارق بين كميات الأمطار المتساقطة خلال فترة زمنية معينة من جهة وكميات المياه المتسربة في التربة والمتبخرة على السطح من جهة أخرى . وتساعد دراسة الخصائص المناخية في تحديد الفترات الزمنية من السنة التي تتميز بجريان سطحي يساهم في تغذية نظام التصريف السطحي للشبكة المائية أو المياه الجوفية . ولذا تعتبر الأمطار أهم عنصر في نظام التصريف السطحي للأحواض المائية لأنها المورد الأساس في عملية التغذية بالمياه الجارية في مختلف الأودية التي تصرف تضاريس الحوض المائي .

٢-١- نظام تساقط الأمطار

نظراً لوقوع منطقة المدينة المنورة ضمن نطاق الضغط المرتفع الدائم الذي يسيطر على المملكة فهي تتعرض بانتظام إلى تأثيرات المنخفضات الجوية التي تتسبب في هطول الأمطار وحدوث العواصف الرعدية خلال الفترة الممتدة من نوفمبر إلى أبريل. ويقع حوض وادي العقيق في الجزء الغربي الشمالي من المملكة العربية السعودية على مسافة حوالي ٢٤٠ كلم عن خط ساحل البحر الأحمر. ولهذا الموقع الفلكي والجغرافي تأثيراته في تحديد الملامح العامة لنظام تساقط الأمطار بحوض وادي العقيق. ولقد تم الاعتماد على بيانات أربع محطات لقياس الأمطار في تحديد نظام تساقط الأمطار بحوض وادي العقيق وهي :
(الجدول ١ والشكل ٢)

الجدول رقم (١). محطات قياس الأمطار لحوض وادي العقيق.

اسم المحطة	رقم المحطة	المنطقة الجغرافية	فترة التسجيل
أم البرك	00228/J112	٠٠٢٠٢٠٠٠ - محافظة جدة	١٩٦٤ - ٢٠٠٦
الفقير	00225/J109	٠٠٣٠٠٠٠٠ - إمارة المدينة المنورة	١٩٦٦ - ٢٠١١
آبار المشي	00371/M103	٠٠٣٠٠٠٠٠ - إمارة المدينة المنورة	١٩٦٨ - ٢٠١١
المدينة المنورة	00366/M001	٠٠٣٠٠٠٠٠ - إمارة المدينة المنورة	١٩٧٢ - ٢٠١١



الشكل رقم (٢). الموقع الجغرافي لمحطات قياس الأمطار لحوض وادي العقيق.

ويتمد موسم الأمطار لمنطقة الدراسة من أواخر الخريف ويستمر حتى أواخر الربيع من السنة التالية. وتخضع منطقة حوض وادي العقيق لنوعين من الأمطار :

- النوع الأول منها هي ما تسمى بالأمطار الإعصارية وهي أمطار الجبهات الهوائية أو أمطار المنخفضات الجوية التي تسقط بسبب المنخفضات الجوية (Cyclonical precipitations). وتسقط هذه الأمطار فوق منطقة الدراسة في الفترة الممتدة من نوفمبر إلى أبريل، بمعدل يتراوح بين ٧١,٤ ملم بمحطة الفقير بالحوض الأعلى و ٣٥,٨ ملم بمحطة أبار الماشي بالحوض الأدنى لوادي العقيق. وتشكل أمطار هذه الفترة من السنة أكثر من ٧٠ % من أمطار حوض وادي العقيق . وتتباين كمية المطر تبايناً كبيراً من منخفض لآخر وأيضاً من سنة إلى أخرى .

ولا يمكن التنبؤ بمواقع سقوطها لأنها ترتبط بخط سير كل منخفض على حده . و تختلف كذلك غزارتها من مكان لآخر (الجدول ٢).

- أما النوع الثاني فهي أمطار العواصف الرعدية التي تسمى أحياناً بأمطار التصعيد (Convectonal precipitations) وهي أمطار ترتبط بحالات عدم الاستقرار التي تنشأ نتيجة لتسخين الهواء عند سطح الأرض وارتفاعه إلى أعلى مما يؤدي إلى تشكيل سحب ركامية أو ركامية مزنية . وتسقط الأمطار الرعدية على منطقة المدينة المنورة خلال الفترة الممتدة من مايو إلى أكتوبر، بمعدل يتراوح بين ١٦,٢ ملم بمحطة الفقير بالحوض الأعلى و ١١,٦ ملم بمحطة المدينة المنورة بالحوض الأدنى لوادي العقيق (الجدول ٢).

الجدول رقم (٢). المتوسطات الشهرية للأمطار بالمحطات المدروسة.

الشهر	الفقير J109	أم البرك J112	المدينة المنورة M001	آبار الماشي M103
يناير	18.7	7.7	5.0	6.8
فبراير	3.5	1.9	2.5	2.8
مارس	10.4	4.2	10.0	6.9
أبريل	10.3	6.2	9.4	6.8
مايو	3.6	1.6	4.0	5.3
يونيو	1.4	0.0	0.6	0.0
يوليو	0.6	0.0	0.9	2.4
أغسطس	3.3	2.3	2.2	3.8
سبتمبر	5.2	1.9	1.1	0.9
أكتوبر	2.1	3.5	2.8	1.9
نوفمبر	19.2	8.8	8.2	4.8
ديسمبر	9.3	9.5	4.7	7.7
السنة	87.6	47.6	51.4	50.1
عدد السنوات	46	41	39	44
المتوسط	7.3	4.0	4.3	4.2
الانحراف المعياري	6.4	3.3	3.3	2.6
معامل الاختلاف	0.88	0.84	0.77	0.62

وتشكل أمطار هذه الفترة من السنة نسبة تتراوح بين ١٨,٥ % و ٢٨,٥ % من معدل الأمطار السنوي بمحطتي الفقير و آبار الماشي

على التوالي . ولا ترتبط بمكان ثابت وهي من الظواهر الهامة لمناخ المناطق الجافة وشبه الجافة . وتتميز هذه الأمطار بعدم الانتظام، حيث أنها تتباين تبايناً كبيراً في كميتها، وقد تمضي سنوات متعاقبة دون مطر في حين قد تسقط خلال سنة واحدة بمقدار كبير يبلغ أضعاف متوسط المجموع السنوي . ولا يقتصر التباين في كمية المطر من سنة لأخرى بل أيضاً من شهر لآخر في نفس المكان.

وكلا النوعين من الأمطار غير منتظم في المكان والزمان وفي الكمية وهي من صفات المناخ الصحراوي. كما يتميز نظام تساقط الأمطار في المدينة المنورة بظاهرة التركيز الشديد، حيث يتركز المطر في عدد قليل من الأيام خلال السنة وفي زخات قوية ومركزة بحيث قد يسقط مطر الشهر كله خلال يوم واحد أو أضعاف ما يسقط في بضعة أعوام. كما تتصف أيضاً أمطار المدينة المنورة والجهات الجافة عموماً بالطابع الفجائي للمطر، الأمر الذي ينتج عنه جريان السيول التي تكون خطراً على الأرواح والممتلكات (طلبه، ٢٠٠٢).

٢-٢- السمات العامة لعناصر المناخ الأخرى

لإبراز السمات المناخية الأخرى لحوض وادي العقيق تم تحليل عناصر المناخ المسجلة خلال الفترة الممتدة من ١٩٨٥ إلى ٢٠٠٨ بالمحطة المناخية للمدينة المنورة التابعة للرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة (الجدول ٣).

الجدول رقم (٣). المتوسطات الشهرية للعناصر المناخية خلال الفترة ١٩٨٥ - ٢٠٠٨ م بمحطة المدينة المنورة.

الشهر	درجات الحرارة (C°)			الرطوبة الجوية (%)			سرعة الرياح (عقدة)		الضغط الجوي (مليبار)
	المتوسط	القصى	الدنيا	المتوسط	القصى	الدنيا	المتوسط	الأقصى	
يناير	١٧,٨	٢٤,٠	١١,٦	٣٨,٩	٥٧,٥	٢٤,٠	٥,٥	١٤,٩	٩٤٣,٢
فبراير	٢٠,٠	٢٦,٤	١٣,٣	٣١,٥	٤٩,٦	١٨,١	٥,٩	١٥,٨	٩٤١,٧
مارس	٢٣,٦	٣٠,٢	١٦,٧	٢٦,٢	٤٢,٦	١٤,١	٦,٥	١٧,٢	٩٣٩,٨
أبريل	٢٨,٣	٣٥,٢	٢١,١	٢٢,٧	٣٨,٢	١١,٤	٦,١	١٧,٦	٩٣٨,٢
مايو	٣٢,٩	٣٩,٦	٢٥,٥	١٧,٣	٣٠,١	٩,٢	٦,٠	١٧,٢	٩٣٧,٠
يونيو	٣٦,٢	٤٢,٨	٢٨,٣	١١,٧	٢٠,٠	٦,٠	٦,٠	١٦,٤	٩٣٤,٣
يوليو	٣٦,٥	٤٢,٩	٢٩,٠	١٣,٥	٢٢,٥	٧,١	٦,٥	١٧,١	٩٣٣,٣
أغسطس	٣٧,٠	٤٣,٧	٢٩,٨	١٥,٥	٢٦,٤	٧,٥	٦,١	١٨,٠	٩٣٣,٥
سبتمبر	٣٥,٥	٤٢,٣	٢٧,٨	١٣,٧	٢٢,٨	٧,٣	٥,٠	١٦,٤	٩٣٦,٣
أكتوبر	٣٠,٤	٣٧,٣	٢٢,٩	١٩,٦	٣١,٨	١١,٠	٤,٧	١٥,٧	٩٤٠,١
نوفمبر	٢٤,٢	٣٠,٦	١٧,٧	٣٣,٠	٤٩,٨	٢٠,٣	٤,٩	١٥,٠	٩٤٢,٠
ديسمبر	١٩,٧	٢٥,٩	١٣,٦	٣٩,٢	٥٦,٨	٢٤,٩	٥,٢	١٤,٥	٩٤٣,٤

٢-٢-١- التغيرات الفصلية لدرجات الحرارة

يمكن تحديد التغيرات الفصلية لدرجات الحرارة من خلال بيانات الجدول ٤ الذي يمثل المتوسطات الحرارية الشهرية للفترة المدروسة . فمن خلال هذا الجدول يتسم مناخ منطقة المدينة المنورة بمعدل شهري لدرجة الحرارة يبلغ ٢٨,٥ م° وبمتوسط درجة حرارة يبلغ أقصاه خلال شهر يوليو بما يعادل ٣٧,٠ م° وأدناه خلال شهر يناير بما يعادل ١٧,٨ م°.

في حين ينخفض معدل درجات الحرارة الدنيا إلى ٢١,٤ م° وبدرجات حرارة تتراوح بين ١١,٦ م° خلال شهر يناير و ٢٩,٨ م° خلال شهر أغسطس، بينما يرتفع معدل درجات الحرارة القصوى إلى

٣٥,١ م° و بدرجات حرارة تتراوح بين ٢٤,٠ م° خلال شهر يناير و ٤٢,٩ م° خلال شهر يوليو . وعليه فإن شهر يناير يعتبر أبرد الشهور وشهر يوليو أحر الشهور بمدى حراري يبلغ ٣١,٣ م° . وتؤثر درجات الحرارة المرتفعة مباشرة على عملية الجريان السطحي للأودية بحوض وادي العقيق عن طريق عملية التبخر التي تؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من مياه الأمطار مما يعجل بجفاف المياه الجارية السطحية في الأودية .

٢-٢-٢- التغيرات الفصلية للرطوبة الجوية

نظراً لموقع حوض وادي العقيق بالمنطقة المدارية الجافة بعيداً نوعاً عن المسطحات المائية البحرية فإنه يتصف برطوبة نسبية منخفضة نوعاً ما بحيث لا يتعدى معدل الرطوبة الشهري ٢٣,٦ % ويتراوح بين ٣٩,٢ % خلال شهر ديسمبر و ١١,٧ % خلال شهر يونيو (٤) . ولا يتعدى معدل الرطوبة النسبية القصوى ٣٧,٣ % و يتراوح بين ٥٧,٥ % خلال شهر يناير و ٢٠,٠ % خلال شهر يونيو، بينما ينخفض معدل الرطوبة النسبية الدنيا إلى ١٣,٤ % و يتراوح بين ٢٤,٩ % خلال شهر ديسمبر و ٦,٠ % خلال شهر يونيو . وتتأثر الرطوبة النسبية كثيراً بجفاف الهواء في فصل الصيف عموماً واقتترانه بارتفاع درجة الحرارة أكثر من تأثرها بهطول الأمطار وبرودة الجو في فصل الشتاء .

٢-٢-٣- التغيرات الفصلية لسرعة الرياح السطحية

يتأثر حوض وادي العقيق على غرار باقي مناطق المملكة الأخرى خلال فصل الشتاء بالرياح التجارية الشمالية الشرقية التي تهب بسرعة تبلغ أقصاها خلال شهر فبراير بما يعادل ١٥,٨ عقدة. وتهب هذه الرياح على حوض وادي العقيق وهي باتجاهها من مناطق المرتفعات الجوية (الضغط المرتفع الآسيوي والضغط المرتفع فوق شمال إفريقيا الملتحم بالضغط المرتفع الأزوري فوق مياه البحر الأحمر) التي تتشكل فوق أراضي شبه الجزيرة العربية نحو منطقة

الضغط المنخفض الاستوائي الذي يتراجع جنوباً في هذا الفصل (أحمد، ١٩٩٣، ص ٤٩).

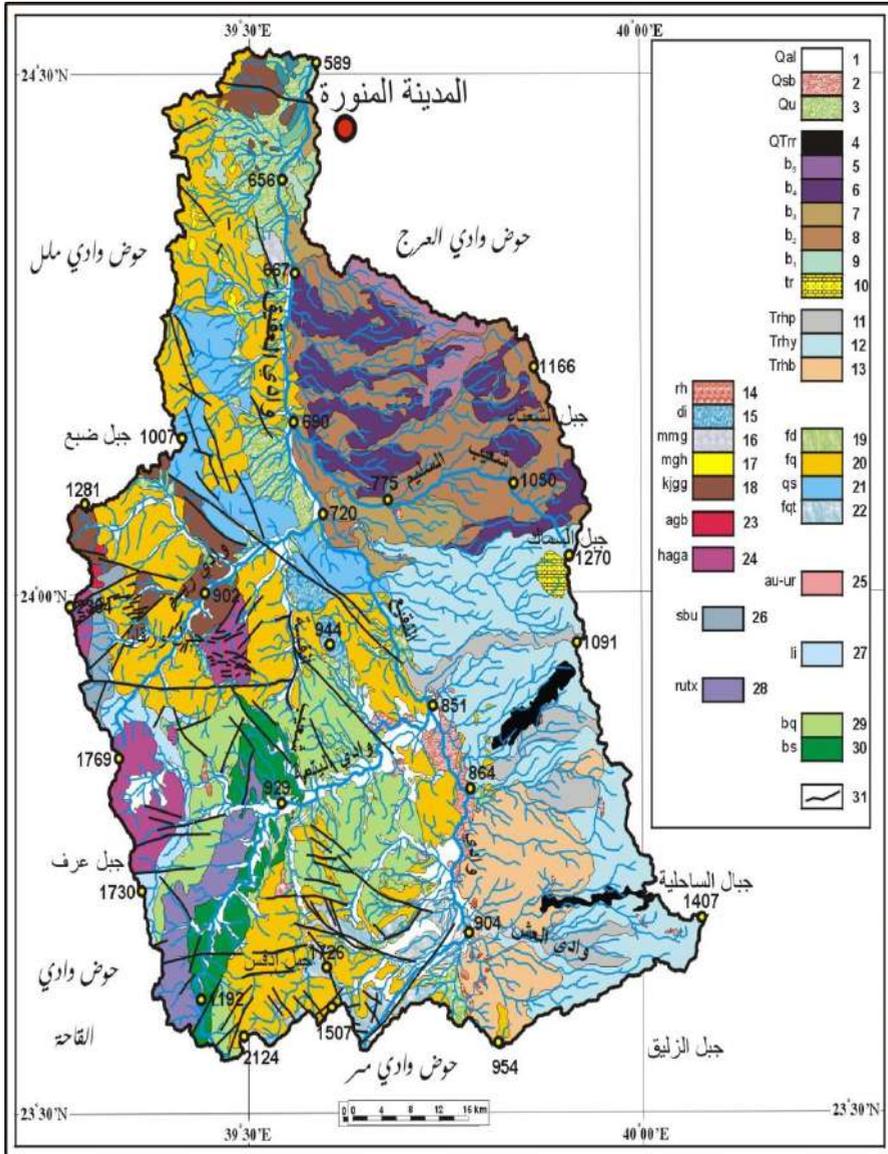
كما يتأثر حوض وادي العقيق خلال فصل الصيف بهبوب الرياح المحلية الحارة التي تتميز بارتفاع درجات الحرارة والتي تكون في كثير من الأحيان محملة بالغبار والرمال (شرف، ١٩٨٣). وتتعرض كذلك مساحة التصريف لحوض وادي العقيق إلى هبوب رياح حارة وجافة ومستقرة تتسرب من المرتفعات الجوية شبه المدارية وتتجه من الشمال نحو مركز الضغط المنخفض الذي يسيطر على وسط المملكة. وتهب الرياح الشمالية الشرقية على المنطقة معظم أيام الصيف بسرعة تتراوح بين ١٦,٤ عقدة خلال شهر يونيو و ١٨,٠ عقدة خلال شهر أغسطس بالإضافة إلى هبوب رياح السموم التي تتجه من صحراء الربع الخالي نحو الشمال الغربي من المملكة (Al Amri, 1990).

٣- جيولوجية حوض وادي العقيق

تعتبر مساحة التصريف لحوض وادي العقيق جزء من تضاريس الدرع العربي وهي تقع على مربعي الخرائط الجيولوجية بمقياس ١/٢٥٠٠٠٠٠ (المدينة المنورة، 1979، GM -52C, Sheet 24-D) و(أم البرك، 1983، GM -87 C, Sheet 23-D). وتغطي الحرات الجزء الأكبر من مساحة الحوض بينما تغطي صخور الأساس التابعة لفترة ما قبل الكامبري المساحة المتبقية. وتتكون الحرات أساساً من الحمم البركانية التي تعود إلى الزمنين الثالث والرابع التي تتشكل صخورها أساساً من البازلت والانديزيت. و يغطي البازلت أحيانا طبقات رسوبية من الطين والرمل تتخللها طبقات من الحصى بينما تتوضع الصخور البازلتية في بعض المواقع مباشرة فوق صخور القاعدة القديمة (صخور ما قبل الكامبري). و كانت الاندفاعات البركانية تحدث في المنطقة على مراحل متلاحقة تفصل بينها فترات انقطاع وهدوء بركاني. أما صخور الأساس فهي تشمل الصخور الرسوبية المتحولة والصخور البركانية المتحولة والصخور النارية والصخور الرملية لعصرى الكامبري والادروفيشي (Pellaton, 1981).

كما أنتجت عمليات الحت والتعرية للصخور خلال العصر الحديث كميات كبيرة من الرسوبيات الفتاتية السطحية والمكونة من الحجارة والحصى المتفاوتة في أحجامها والرمال الخشنة والناعمة والغرين السيلتي والطين الغضاري التي ترسبت في بطون الأودية و المنخفضات. ولقد تم نقل هذه الرسوبيات الحديثة جزئياً من المرتفعات والجبال في منطقة المدينة في حين أن معظمها قد نُقل من مناطق بعيدة بواسطة الأودية التي شكلت شبكة من المسيلات المائية الموسمية التي تصب باتجاه حوض المدينة قادمة من مختلف الاتجاهات (الشكل ٣).

ويغطي مجرى وادي العقيق رواسب من عصري البلايستوسين والهولوسين Pleistocene-Holocene تتمثل في الرواسب المفككة التي تتكون من الرمل والحصى والطيني ورواسب الأودية والسبخ التي تم ترميزها بالمصطلحات QuوQal و Qsb والنااتجة من عمليات الحت والتعرية للصخور خلال العصرين والتي أدت إلى تكوين كميات كبيرة من الرسوبيات الفتاتية من أهمها الحصى بأحجام مختلفة والرمال الخشنة والناعمة والغرين السيلتي والطين (Camp, 1986).



الشكل رقم (٣). التكوينات الجيولوجية لحوض وادي العقيق.

وتتوضع هذه الرواسب حسب طبيعة انحدار سطح الوادي واتجاه قوة سيوله بحيث نجد الحصباء والحصى عند القاعدة وتليها

حبيبات الرمل والطين. وتتواجد الرواسب النهرية وراسب المجاري المائية المتقاطعة في مناطق الوديان الرئيسية بالمنطقة. ويبدو أن عمليات الترسيب تمت على دورات زمنية متكررة بحيث يتكرر تتابع الحصى والرمل والطين في أكثر من مكان. ويتفاوت سمك رواسب الأودية بدرجة كبيرة من مكان لآخر ويرتبط بشكل صخور قاع الوادي وبشكل سطح الأرض. كما تمتد أيضاً صخور الحمم البركانية البازلتية والرماد البركاني التي تشكلت خلال العصرين والثالث والرابع وهي عبارة عن صخور قاعدية وصلت إلى سطح الأرض نتيجة الانفجاعات البركانية. وتتراوح أعمار هذه الصخور بين ٧٥٠ سنة و ٢٥ مليون سنة (Camp, 1986). وتتميز هذه الصخور بلونها الأسود الذي يميل إلى اللون الرمادي وهي دقيقة التبلور وتحتوي على معادن متنوعة. ويظهر أيضاً على جانبي الوادي صخور متكون حمه التي تم الترميز لها في الخريطة بالمصطلحات Trhb و Trhy و Trhb وهي تشكلت خلال عصري الأيوسين والبلايوسين ويتراوح عمرها بين ٢٢ و ٦٨ مليون سنة وهي عبارة عن تدفقات مجوأة يفصلها عن الصخور البركانية سطح من عدم التوافق. كما يظهر في حوض وادي العقيق صخور الحجر الرملي والجريواكي والكونجلوميرايت وحجرالغرين والرخام لمتكون دونك (fd) وكذلك صخور الاندسايت والبازلت والبريشيا البركانية والتف لمتكون قدره (fq) بالإضافة إلى الصخور الرسوبية الفتاتية (qs) التابعة كلها إلى لمجموعة فُريح. وتشكل صخور هذه المجموعة تلالاً قليلة الارتفاع محاطة برواسب العصر الرباعي وهي تتوضع في عدم توافق على متكون عريفي التابع لمجموعة العيس. ويتشكل هذا الأخير من صخور الكونجلوميرايت والحجر الرملي. ولا يبدو سطح عدم التوافق بين مجموعة فُريح ومجموعة العيس واضحاً في كل الأماكن.

وتظهر أيضاً في حوض وادي العقيق بعض الصخور المفككة التابعة لمجموعة العيس وهي عبارة عن تتابعات رسوبية بركانية سميكة وبعض البركانيات والبركانيات الفتاتية التي تتوضع بعدم توافق أسفل

مجموعة فريخ . وتقدر عمر مجموعة العيس بحوالي ٧٢٥ سنة إلى ١٢ مليون سنة.

ويمكن تقسيم صخور مجموعة العيس في بعض المواقع من ٣ إلى ٥ أجزاء متطبقة (الشنطي، ٢٠٠٣)، يوجد منها في حوض وادي العقيق متكون عريفي الذي يقع أسفل متكون فرشه وتتشكل صخوره في الجزء السفلي من الانديسايت غامق اللون أو بنفسجي وبازالت ولافا وفي الجزء الأعلى من لافا تحتوي على معادن ثانوية وتجويفات يملؤها المرو والكلورايت.

وتتكشف أيضا في بطن وادي العقيق صخور بعض المتداخلات والقواطع من الجابرو والجرانوديورايت والديورايت التي تنتمي زمنيا لمجموعة العيس (الشكل ٤). و تعتبر المحقونات النارية (صخور اندساسية) أحدث من مجموعة العيس .

أما صخور القاعدة وهي صخور الأساس فتتكشف في حوض وادي العقيق بعدة أماكن على شكل جبال . ولقد تعرضت صخور حوض وادي العقيق إلى عمليات اختراق بمحقونات

Geologic Period	Sedimentary, volcanic and metamorphic rocks	Intrusive rocks
Pleistocene Holocene	Qal Qsb Qu	
Quaternary and Tertiary	Discordance	
	QTrr b _e b _s tr b _o b ₂ b ₁ } Rashid Formation	Trhp Trhy Trhb } Hammah Formation
Precambrian	Discordance	rh di mmg mgh kigg } Jayyah complex
	Discordance	
	fd fq } Furayh group fq ₁	
	Discordance	agb } Gabbro
	Discordance	haga } Awf complex
	Discordance	
	au - ur } Urayfi formation	sbu } Shfayyah complex
	Discordance	
	li } Milah formation	
	Discordance	rutx } Bustan complex
Discordance		
bq } Qahah group bs } Suri formation } Birak group		

الشكل رقم (٤). السلم الستراتيغرافي لتكوينات حوض وادي العقيق.

الصخور الجوفية البلوتونية (Plutonic intrusive rocks) وهي حمم منصهرة ملأت الشقوق ثم تجمدت مكونة صخوراً نارية جوفية نتج عنها أنواع أخرى من الصخور مثل الجرانوديوريت والجرانيت (mg) والديورايت والجابرو (agb). ولقد فقدت هذه الصخور الكثير من صفاتها الأصلية بسبب الانصهار الشديد وعوامل الضغط والحرارة التي تعرضت لهما في باطن الأرض. ولقد تأثرت صخور المنطقة كذلك

بعمليات الطي والتشوه العنيف خلال مختلف الأزمنة الجيولوجية وفقدت معظم صفاتها الأصلية وتحول الكثير منها إلى سحنة الشست الأخضر. ولقد أدت عملية التحول أحيانا إلى مزجها مع بعضها البعض فتشوهت بدرجات متفاوتة وتغيرت معظم خصائصها وتراكيبها الأصلية. ولقد نجم عن هذا النشاط الجيولوجي العديد من الفواصل التي تظهر باتجاهات مختلفة أهمها الاتجاهات NW و NNW و NWW بالإضافة إلى اتجاهات فرعية أخرى هي مثل NNE و NE. و توازي هذه الفواصل الاتجاهات الإقليمية للفاصل والصدوع بمربع المدينة المنورة (Pellaton, 1981). وأبرز الاتجاهات الإقليمية للفاصل هي الاتجاه NE الذي يتراوح عمره بين ٥٩٠ و ١٠٠٠ مليون سنة واتجاه WNW وهو اتجاه صدوع نجد ويتراوح عمره بين ٥٣٠ و ٥٨٠ مليون سنة واتجاه EW الذي يسمى باتجاه بحر التيثس Tethys ويتراوح عمره بين ١٨٥ و ٢٥٠ مليون سنة واتجاه NW أو W وهو اتجاه البحر الأحمر الذي يعتبر أحدث الاتجاهات ويقدر عمره بحوالي ٢٦ مليون سنة.

٤- الخصائص التضاريسية

تتأثر الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف بالخصائص التضاريسية التي تتحكم بشكل كبير في اتجاه الجريان وكمية التدفق على السفوح والمنحدرات. وبالتالي يتأثر زمن التركيز وكذلك زمن الاستجابة للحوض المائي بالخصائص التضاريسية للسطح الذي يصرف مياه الأمطار عند تساقطها من المنبع حتى المصب. ولذا فإن هذه الخصائص تتحكم بشكل مباشر في قدرة الأحواض المائية على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي ومياه سيول غزيرة. ويرتبط بتباين كميات التصريف السطحي من حوض لآخر بتباين الخصائص التضاريسية. ومن هنا كانت الدراسات الجيومورفولوجية تركز على التحليل الكمي لهذه الخصائص من خلال وضع العديد من المعادلات التي تعبر عن دور المتغيرات التضاريسية التي تؤثر كثيراً في عملية الجريان السطحي بالأحواض المائية، بحيث يلعب الانحدار دوراً بارزاً في التأثير على كمية وطبيعة هذا الجريان. فالانحدار الشديد يساعد كثيراً على زيادة فرص تجمع مياه الأمطار وانسيابها باتجاه مجاري الأودية. وعليه فإن

فرض ضياع المياه بعملية التسرب والتبخر تبقى ضعيفة بالأحواض المتضرسة ذات الانحدارات الشديدة . ولذا يعتبر تضرس الحوض المائي المحصلة النهائية لنشاط التعرية وهو يعكس المرحلة الجيومورفولوجية التي يمر بها حوض التصريف لأن خصائص الشبكة المائية تنتج من التفاعل المتبادل بين العمليات الجيومورفولوجية والخصائص الليثولوجية والبنية الجيولوجية والخصائص المناخية . وقد أشار شوم إلى أن هناك علاقة بين انحدار سطح الأرض ومعدلات التعرية لأن تضرس السطح يؤثر على حركة المياه والرواسب داخل الحوض وبالتالي تؤدي قلة التضرس بمرور الزمن إلى تقليل كمية وحجم الرواسب (Schumm, 1977) .

ومن أهم المتغيرات الهيدرولوجية تآثراً بالخصائص التضاريسية لحوض التصريف زمن الاستجابة الذي يرتبط كثيراً بهذه الخصائص بحيث يتأخر ظهور الجريان السطحي بعد تساقط الأمطار بالأحواض ذات الانحدارات الضعيفة لأن كمية الفواقد بالتسرب والتبخر تتزايد بسبب ضعف سرعة الجريان السطحي في حين نجد أن الانحدارات الشديدة تؤدي إلى سرعة تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي وسيلي وزيادة سرعة التدفق بسبب انخفاض هذه الفواقد ومن ثم تقليل زمن الاستجابة وظهور الجريان السطحي بعد فترات وجيزة من بداية تساقط الأمطار على مساحة التصريف بالحوض المائي شديد التضرس .

وسوف نتناول في هذا البحث تحليل العديد من المتغيرات التضاريسية التي تسمح بمقارنة أحواض الروافد المغذية لوادي العقيق . وفي هذا الصدد فقد تم تحديد أربعة أحواض أساسية من إجمالي مساحة التصريف لحوض وادي العقيق هي : (الشكل ٥)

١- حوض وادي العث بمساحة تصريف تبلغ ١١٩٣,٠ كلم^٢ .

٢- حوض وادي ريم بمساحة تصريف تبلغ ٧٧٦,١ كلم^٢ .

٣- حوض وادي اليتمة بمساحة تصريف تبلغ ١٠٣٧,٥ كلم^٢ .

٤- حوض شعيب السليم بمساحة تصريف تبلغ ٥٢٧,٩ كلم^٢ .

وسوف نتناول بالتحليل المتغيرات التضاريسية ذات المدلول الجيومورفولوجي الذي يسمح بمقارنة هذه الأحواض من حيث قدرتها على سرعة تصريف مياه الأمطار . ويتم الحصول على قيم هذه

المتغيرات من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) باستخدام تطبيقات برنامج Watershed Modeling Systems (WMS) والتحليل المكاني Spatial Analysis.

وتتلخص المتغيرات التضاريسية في ما يلي : (الجدول ٤)



الشكل رقم (٥). أحواض الروافد المدروسة.

٤-١- الارتفاعات Elevations

تتباين الارتفاعات بين أحواض الروافد المدروسة بحيث يتراوح الارتفاع الأقصى وهو عبارة عن أعلى منسوب على خط تقسيم المياه بين ١٢٧٠ م بحوض شعيب السليم و ٢٣٠٤ م بحوض وادي ريم، بينما يتراوح الارتفاع الأدنى الذي يمثل عادة ارتفاع مصب الحوض المائي بين ٦٩٠ م بحوض شعيب السليم و ٨٥١٤ م بحوضي وادي العرش وادي

اليتمة (الجدول ٤). أما الارتفاع المتوسط للحوض المائي فهو عبارة عن الارتفاع الذي يمثل ٥٠ % من ارتفاعات الحوض المائي (Horton, 1932) وهو يتراوح بين ٩١٢,١ م بحوض شعيب السليم و ١١٣٩,٩ م بحوض وادي اليتمة.

الجدول رقم (٤). المتغيرات التضاريسية للأحواض الجزئية لوادي العقيق.

حوض وادي العش	حوض شعيب السليم	حوض وادي اليتمة	حوض وادي زيم	المصدر	الرمز	المتغير	
١٠١٢,١	٩١٢,١	١١٣٩,٩	١٠٤٤,٨	(Horton, 1932)	H' (m)	Mean elevation (m)	الارتفاع المتوسط (متر)
٨٥١	٦٩٠	٨٥١	٧٢٠	WMS output	h min (m)	Minimum elevation (m)	الارتفاع الأدنى (متر)
١٧٢٦	١٢٧٠	٢١٢٤	٢٣٠٤	WMS output	H max (m)	Maximum elevation (m)	الارتفاع الأقصى (متر)
٠,٠٤٩٦	٠,٠٣٢٦	٠,١٨٠٤	٠,١٦٧٧	(Horton, 1932)	I_b (m/m)	Mean basin slope (m/m)	متوسط انحدار الحوض (متر/متر)
٥,٠	٣,٣	١٨,٠	١٦,٨	---	I_b (%)	Mean basin slope (%)	متوسط انحدار الحوض (%)
٠,٠٠٧١	٠,٠٠٨٣	٠,٠٠٩٤	٠,٠٠٩٩	(Langbein, 1947)	I_s (m/m)	Main channel slope (m/m)	انحدار المجرى الرئيس (متر/متر)
٠,٧١	٠,٨٣	٠,٩٤	٠,٩٩	---	I_s (%)	Main channel slope (%)	انحدار المجرى الرئيس (%)
١٣,٧	١٦,٥	١٧,٦	٢٣,٨	(Appolov, 1963)	I_p (m/km)	Mean slope of water divide (m/km)	انحدار خط تقسيم المياه (متر/كلم)
٢٥١,٢	١٥٣,٦	٢٤٠,٩	١٩٣,٣	(Schumm, 1956)	P (km)	Basin perimeter (km)	طول محيط الحوض (كلم)
٦٥,٣	٤٩,٤	٧٣,٢	٤٥,٣	WMS output	L_b (km)	Main channel length (km)	طول المجرى المائي الرئيس (كلم)
٤١,٩	٣٨,٦	٤٨,٢	٣٧,١	WMS output	V₁ (km)	Valley length (km)	طول الوادي (كلم)
٣٤٨,٤	٣٧٧,٧	٥٢٨,٤	٨١٩,٣	(Melton, 1957)	R_{rp} (m/km)	Relative relief ratio (m/km)	نسبة التضاريس النسبية (م/كلم)
١٣,٤	١١,٧	١٧,٤	٣٥,٠	(Schumm, 1956)	R_b (m/km)	Relief ratio (m/km)	نسبة التضاريس (م/كلم)
٨٧٥	٥٨٠	١٢٧٣	١٥٨٤	(Strahler, 1952)	Z-z (m)	Total basin relief (m)	إجمالي تضاريس الحوض (متر)
٠,١٨	٠,٣٨	٠,٢٣	٠,٢١	(Pike et al., 1971)	Hi (m/m)	Hysometric Integral	التكامل الهيسومتري

						(m/km ³)	(كلم/٢ متر)
--	--	--	--	--	--	----------------------	-------------

٤-٢- طول محيط الحوض Basin perimeter

هو عبارة عن طول خط تقسيم المياه الذي يحيط بكل تعرجاته بالشبكة المائية الممتدة داخل الحوض المائي. ويدل المحيط على حجم وشكل الحوض المائي (Schumm, 1956). ويتراوح طول محيط الحوض بين ١٥٣,٦ كلم بحوض شعيب السليم و ٢٥١,٢ كلم بحوض وادي العث. ويرتبط طول محيط الحوض بمساحة التصريف بحيث نجد أن أكبر الأحواض هو حوض وادي العث بمساحة تصريف تبلغ ١١٩٣,٠ كلم^٢ وأصغر الأحواض هو حوض شعيب السليم بمساحة تصريف لا تتعدى ٥٢٧,٩ كلم^٢.

٤-٣- طول المجرى الرئيس وانحداره Length and slope of main channel

هو عبارة عن طول المجرى الذي تصب فيه جميع الروافد لنفس الشبكة المائية ويمتد من مصب الحوض إلى المنبع بالقرب من خط تقسيم المياه. ويبدو أن وادي اليتمة يتسم بأطول مجرى وبطول يبلغ ٧٣,٢ كلم وأن وادي ريم هو أقل الأودية طولاً وبطول لا يتعدى ٤٥,٢ كلم. أما بالنسبة لانحدار المجرى الرئيس فهو عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعي المنبع والمصب والمسافة الفاصلة بينهما. ويبدو أن هناك تجانساً كبيراً في انحدار المجاري الرئيسة بحيث يتراوح انحدارها بين ٠,٧ % بحوض وادي العث و ١ % بحوض وادي ريم.

٤-٤- متوسط انحدار الحوض المائي Mean basin slope

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعات السطح والمسافات الفاصلة بينها. وهناك العديد من الطرق التي تستخدم في حساب قيمة الانحدار. ويبدو أن تضاريس حوض شعيب السليم هي أقل التضاريس انحداراً بانحدار لا يتعدى ٣,٣ % وأن تضاريس حوض وادي اليتمة هي الأكثر انحداراً بانحدار يبلغ ١٨,٠ %.

٤-٥- متوسط انحدار خط تقسيم المياه Mean slope of water divide

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين الارتفاع الأقصى ومحيط الحوض المائي وتحسب هذه العلاقة بتطبيق المعادلة التالية : $I_p = \frac{2H}{P}$ (Appolov, 1963)

بحيث يمثل H الارتفاع الأقصى بالحوض المائي (متر) و P طول محيط الحوض المائي وهو عبارة عن طول خط تقسيم المياه (كلم). ويبدو من خلال قيم متوسط انحدار لخط تقسيم المياه أن حوضي وادي ريم ووادي اليتمة هما الأكثر انحداراً من حوضي وادي العش وشعيب السليم.

٤-٦- نسبة التضاريس النسبية ratio Relative relief

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعات الحوض وطول محيطه . ويعبر عن قيمة التضاريس النسبية بواسطة المعادلة التالية :

$$(Melton, 1957) R_{hp} = \frac{100 H}{P}$$

بحيث يمثل H فرق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر) و P طول محيط الحوض المائي وهو عبارة عن طول خط تقسيم المياه (كلم).

وترتفع قيمة نسبة التضاريس النسبية بالأحواض المائية التي تطورت شبكة مجاريها خاصة مجاري الرتبة الأولى وتقل بالأحواض التي تطورت بها أطوال مجاري الرتب العليا (Knighton, 1984) . ولقد أشار جريجوري وولنج في دراستهما لمجموع ٧٦ حوض تصريف ببريطانيا إلى وجود علاقة عكسية بين مساحة الحوض والتضاريس النسبية بحيث اتسمت الأحواض الصغيرة بتضاريس نسبية عالية (Gregory and Walling, 1973) . وترتبط نسبة التضاريس النسبية بمرحلة التعرية التي يمر بها الحوض المائي بحيث تنخفض قيمة التضاريس النسبية بالأحواض التي انخفض بها المدى التضاريسي وقلت انحداراتها نتيجة تقدمها في مرحلة التعرية . وبمقارنة نسبة التضاريس النسبية للأحواض المدروسة نجد أن قيمة هذا المعامل تتراوح بين ٠,٨٢ بحوض وادي ريم و ٠,٣٥ بحوضي وادي العش

وهي تدل على تقدم مرحلة التعرية بحوض وادي العيش مقارنة بالأحواض الأخرى.

٤-٧- نسبة التضاريس Relief ratio

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين ارتفاعات الحوض وطول المجرى الرئيس . ويعبر عن قيمة هذه النسبة بواسطة المعادلة التالية :

$$(Schumm, 1956) R_h = \frac{H}{L_b}$$

بحيث يمثل H فرق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر) و L_b طول المجرى المائي الرئيس (كلم). وتتناسب نسبة التضاريس عكسياً مع مرحلة التعرية التي قطعها الحوض المائي لأن الأحواض التي تقدمت بها مرحلة التعرية تنسم بنسبة تضاريس منخفضة نظراً لفقدانها أجزاء كبيرة من تضاريسها بواسطة عمليات التعرية في حين نجد أن الأحواض التي تمر بمرحلة مبكرة من التعرية تتميز بنسبة تضاريس مرتفعة . وترتفع كذلك نسبة التضاريس بالأحواض المائية التي تمتد على ارتفاعات كبيرة ومساحات تصريف صغيرة كالأحواض الجبلية التي تقطع سطحها شبكات مائية متطورة على الصخور الهشة والليننة والتي قللت من ارتفاعات سطحها المجاري المائية بمرور الزمن . وبمقارنة نسبة التضاريس للأحواض المدروسة نجد أن قيمة نسبة التضاريس تتراوح بين ٠,٠٤ بحوض وادي ريم و ٠,٠١ بحوضي وادي العيش وشعيب السليم وهي تتناسب مع قيمة نسبة التضاريس النسبية من حيث دلالتها الجيومورفولوجية وتعكس النشاط الجيومورفولوجي الكبير الذي أثرت به عمليات التعرية على تضاريس حوض وادي العيش منذ تشكيل الشبكة المائية.

٤-٨- إجمالي تضاريس الحوض Total basin relief

هو عبارة المدى التضاريسي للحوض الذي يمثله فارق الارتفاع بين أقصى وأدنى ارتفاعين بالحوض المائي (متر). ويعبر عن قيمة هذا المدى بواسطة المعادلة التالية:

$$H(m) = Z(m) - z(m) \quad (\text{Strahler, 1952})$$

بحيث يمثل $Z(m)$ الارتفاع الأقصى بالحوض المائي (متر) و $z(m)$ الارتفاع الأدنى (ارتفاع المصب) (متر).

ويبدو من خلال قيم التضاريس النسبية ونسبة التضاريس وإجمالي تضاريس الحوض أن السفوح الغربية لحوض وادي العقيق أكثر تضرسا من السفوح الشرقية كما تدل عليه قيم المتغيرات التضاريسية المحسوبة ببرنامج WMS والمؤشرات التضاريسية المحسوبة بواسطة المعادلات الرياضية بحيث نجد أن حوضي وادي ريم ووادي اليتمة الواقعين على السفوح الغربية يتسمان بأعلى قيم التضاريس النسبية ونسبة التضرس ونسبة الانحدار مقارنة بحوضي وادي العش وشعيب السليم الواقعين على السفوح الشرقية. وتتأثر قيم إجمالي تضاريس الحوض بالمرحلة الحثية التي يمر بها هذا الأخير بحيث تعمل التعرية على تخفيض ارتفاعات التضاريس بمرور الزمن كما هو الحال بحوض وادي العش.

٤-٩- التكامل الهيسومتري Hypsometric Integral

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين فارق الارتفاع بين الارتفاعين المتوسط والأدنى من جهة والمدى التضاريسي من جهة ثانية. وتحسب

$$H_i = \frac{Z' - Z_0}{Z_{\max} - Z_0} \quad \text{قيمة التكامل الهيسومتري بتطبيق المعادلة التالية:}$$

(Pike and Wilson, 1971)

بحيث يمثل Z' الارتفاع المتوسط للحوض المائي (متر) و Z_0 الارتفاع الأدنى للحوض المائي (ارتفاع المصب) (متر) و Z_{\max} الارتفاع الأقصى للحوض المائي (متر).

ويعتبر التكامل الهيسومتري أفضل المعاملات المورفومترية لقياس درجة تضرس سطح الحوض المائي لأنه يعكس المرحلة التي

قطعها هذا الأخير في دورة التعرية . وتشير القيم المنخفضة لهذا المعامل إلى توسع مساحة التصريف مع انخفاض المدى التضاريسي لها بسبب تقدم مرحلة التعرية التي يمر بها الحوض المائي بحيث أن هناك علاقة عكسية بين قيم التكامل الهيبسومتري والفترة الزمنية لدورة التعرية. وتتراوح قيم التكامل الهيبسومتري بالأحواض المدروسة بين ٠,١٨ بحوض وادي العرش و ٠,٣٨ بحوض شعيب السليم وهي تدل على أن هذه الأحواض قد قطعت شوطاً كبيراً من دورة التعرية وقد تعرضت إلى عمليات تعرية شديدة قلصت الجزء الأكبر من حجم تضاريسها منذ نشأة الشبكة المائية، بحيث يبدو أن حوض وادي العرش قد سبق كل الأحواض من حيث النشاط الجيومورفولوجي.

٥- الخصائص المورفومترية

ترتبط الخصائص المورفومترية كثيراً بالخصائص التضاريسية لأحواض التصريف. وهناك الكثير من الخصائص المورفومترية ذات المدلول الجيومورفولوجي التي يتم تحديدها بواسطة معادلات رياضية تمثل العلاقات النسبية بين المتغيرات المورفومترية للحوض المائي.

ويتم الحصول على قيم هذه المتغيرات من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) باستخدام تطبيقات برنامج Watershed Modeling Systems (WMS) والتحليل المكاني Spatial Analysis.

ويمكن تحديد الخصائص المورفومترية للأحواض المدروسة بواسطة المتغيرات التالية : (الجدول ٥)

٥-١- مساحة الحوض Basin Area

هي المساحة التي تمدّ مجرى واحداً أو مجموعة من المجاري المائية بالمياه، وهي تعد المصدر الذي يزود المجاري باحتياجاتها المائية (Leopold et al., 1964). وتتناسب مساحة التصريف مع الأبعاد الهندسية للحوض المائي (الطول، العرض، المحيط) ومع امتداد الشبكة المائية الذي يرتبط بالتطور الجيومورفولوجي وبديناميكية التعرية.

وتؤثر مساحة التصريف مباشرة على كمية التصريف و حجم وكمية الرواسب ومقدار السيول والفيضانات وعدد أطوال المجاري المائية التي تتزايد مع كبر هذه المساحة مما يساعد على زيادة النشاط الجيومورفولوجي لعمليات التعرية ومن ثم زيادة كمية وحجم الرواسب . كما يؤدي امتداد مساحة التصريف إلى زيادة كمية الفواقد Losses عن طريق التسرب Infiltration والتبخر Evaporation نظراً لزيادة زمن التركيز وامتداد زمن الأساس Base time للجريان السطحي . وقد توصل شوم إلى وضع معادلة للعلاقة المتبادلة بين مساحة التصريف للحوض وعدد المجاري (Schumm, 1956) . وعليه يعتبر حوض وادي العش هو أكبر الأحواض بمساحة تصريف تبلغ ١١٩٣,٠ كلم^٢ و حوض شعيب السليم هو أصغر الأحواض بمساحة لا تتعدى ٥٢٧,٩ كلم^٢.

الجدول رقم (٥). المتغيرات المورفومترية للأحواض الجزئية لوادي العقيق.

حوض وادي العشب	حوض شعيب السليم	حوض وادي اليتمة	حوض وادي ريم	المصدر	الرمز	المتغير	
1193.0	527.9	1037.5	776.1	WMS software output	A	Area (km ²)	المساحة (كلم ^٢)
251.2	153.6	240.9	193.3	Schumm, 1956	P	Perimeter (km)	المحيط (كلم)
41.8	39.0	48.1	37.2	WMS software output	L _b	Basin length (km)	طول الحوض (كلم)
4.7	3.4	4.3	4.0	Schumm, 1956	P _r	Relative perimeter (km)	المحيط النسبي (كلم)
28.5	13.5	21.6	20.9	Horton, 1932	W _b	Mean basin width (km)	متوسط عرض الحوض (كلم)
98.2	60.2	90.3	75.9	Hack, 1657	L _{ar}	Length Area relation	علاقة الطول بالمساحة
0.68	0.35	0.45	0.56	Horton, 1932	F _r	Form factor ratio	نسبة معامل الشكل
0.93	0.66	0.76	0.85	Schumm, 1956	R _e	Elongation ratio	نسبة الاستطالة
0.24	0.28	0.22	0.26	Miller, 1953	R _c	Circularity ratio	نسبة الاستدارة
2.07	1.90	2.12	1.97	Gravelius, 1914	C _c	Compactness coefficient	معامل الاندماج
1.15	2.26	1.75	1.40	Chorley, 1957	k	Lemniscate factor	معامل الانبعاج
1.56	1.27	1.52	1.22	Mueller, 1968	S _i	Standard Sinuosity Index	مؤشر التعرج المعياري
36.4	21.7	34.6	18.5	Mueller, 1968	Hs _i	Hydraulic Sinuosity Index	مؤشر التعرج الهيدروليكي
157.2	127.7	153.0	122.7	Mueller, 1968	Ts _i	Topographic Sinuosity Index	مؤشر التعرج الطبوغرافي
1.46	2.88	2.23	1.78	Horton, 1932	R _s	Shape factor ratio	نسبة معامل الشكل
20.9	14.9	26.5	42.6	Sreedevi, 2004	R _g	Gradient ratio	نسبة الانحدار
1.56	1.27	1.52	1.22	Smart & Surkan, 1967	R _w	Wandering ratio	نسبة الانعطاف

٥-٢- المحيط النسبي Relative perimeter

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين مساحة التصريف ومحيط الحوض المائي ويتم حسابها بواسطة المعادلة التالية : (Schumm, 1956)

$$P_r = \frac{A}{P}$$

بحيث يمثل P_r طول المحيط النسبي (كلم) و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و P محيط الحوض المائي (كلم) . وعليه يتسم

حوض وادي العث بأكبر محيط نسبي يبلغ ٤,٧ كلم و حوض شعيب السليم بأصغر محيط نسبي لا يتعدى ٣,٤ كلم .

٣-٥ - طول الحوض Basin length

هناك عدة تعريفات لطول الحوض المائي ترتبط جميعها بطريقة حساب هذا الطول بحيث نجد أن طول الحوض المائي هو عبارة عن أطول مسافة بين نقطتين على خط تقسيم المياه تكون موازية للمجرى الرئيس (Schumm, 1956) . في حين يعتبر جريجوري و ولينغ أن طول الحوض المائي هو عبارة عن أطول مسافة في الحوض تمر عبر مصبه (Gregory and Walling, 1973) . بينما يعرف غاردينر طول الحوض المائي بأنه المسافة بين مصب الحوض ونقاط تقسيم المياه التي تبعد عنه بمسافات متساوية (Gardiner, 1975) . أما هورتون فيعرف طول الحوض المائي بالمسافة المستقيمة التي تفصل بين مصب الحوض وخط تقسيم المياه وتمر بمنبع المجرى الرئيس (Horton, 1932) . وعليه يتراوح طول الأحواض المدروسة بين ٣٧,٢ كلم بحوض وادي ريم و ٤٨,١ كلم بحوض وادي اليتمة.

٤-٥ - متوسط عرض الحوض Mean basin width

هو عبارة عن العلاقة النسبية بين مساحة الحوض وطوله . وتحسب هذا المتوسط بتطبيق المعادلة التالية : $W_b = \frac{A}{L_b}$ (Horton, 1932)

بحيث يمثل W_b متوسط عرض الحوض المائي (كلم) و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و L_b طول الحوض المائي (كلم). وعليه يتراوح متوسط عرض الأحواض المدروسة بين ١٣,٥ كلم بحوض وادي شعيب السليم و ٢٨,٥ كلم بحوض وادي العث.

٥-٥ - علاقة الطول بالمساحة Length Area relation

وجد هاك أن طول الكثير من الأحواض المائية يرتبط بعلاقة أسية بمساحة التصريف هي :

$$L_{ar} = 1.4 A^{0.6} \text{ (Hack, 1957)}$$

وعليه نجد أن أطوال الأحواض المدروسة المحسوبة بهذه العلاقة تفوق مرتين أطوال الأحواض التي تم الحصول عليها بواسطة قياسات برنامج WMS .

٥-٦- نسبة معامل الشكل Form factor ratio

يؤثر شكل الحوض على زمن التركيز وعلى كمية الجريان السطحي وذروة تدفق السيول. وتحسب قيمة معامل شكل الحوض المائي بواسطة العلاقة النسبية التي وضعها هورتون بين مساحة التصريف ومربع طول الحوض المائي التالية :

$$F_f = \frac{A}{L_b^2} \quad (\text{Horton, 1932})$$

بحيث يمثل L_b طول الحوض المائي (كلم) و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢). وقد طور بعد ذلك هورتون معاملاً آخر لتحديد شكل الحوض

$$R_s = \frac{L_b^2}{A} \quad \text{المائي بواسطة معكوس العلاقة النسبية السابقة :}$$

بحيث يمثل R_s نسبة معامل الشكل Shape factor ratio و L_b طول الحوض المائي (كلم) و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢). وتبلغ قيمة هذا المعامل ٠,٧٨٣ إذا كان شكل الحوض دائرياً تماماً (الجدول ٧).

كما وضع أيضاً Zăvoinau معادلة أخرى على شكل علاقة نسبية بين مساحة التصريف ومربع محيط الحوض لحساب معامل شكل الحوض المائي هي :

$$R_f = \frac{16A}{P^2} \quad (\text{Zăvoinau, 1978})$$

بحيث يمثل A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و P محيط الحوض المائي (كلم).

ويعتبر معامل الشكل من المؤشرات الإحصائية الدالة على شكل مساحة التصريف للحوض المائي التي ترتبط بها عملية الجريان السطحي وكمية

التدفق السيلي للحوض المائي . وعليه فإن قيمة هذا المعامل تكون ١,٢٧٧ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً حسب نموذج Zävoinau (الجدول ٧) . وباقتراب شكل الحوض من الشكل يكون زمن التركيز للحوض متماثلاً تقريباً على جميع السفوح مما يساعد على تجمع المياه الجارية السطحية في مدة زمنية تكون أيضاً متماثلة بالنسبة لجميع الروافد مما يساعد على سرعة تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية ومياه تدفق غزير سرعان ما يتحول إلى سيول خطيرة . ويتضح من خلال قيم معامل الشكل المحسوبة بنموذج هورتون أن شكل حوض وادي العش هو الأقرب للشكل الدائري بمعامل يبلغ ٠,٦٨ في حين تتراوح قيمة هذا المعامل بين ٠,٣٥ بحوض شعيب السليم و ٠,٥٦ بحوض وادي ريم . وتتماثل هذه النتائج تماماً مع النتائج التي تم الحصول عليها بواسطة قيم التكامل الهيبسومتري التي أظهرت تقدم مرحلة التعرية بحوض وادي العش بالنسبة لمثيلاتها بالأحواض الأخرى . وبذلك يكون هذا الحوض هو الأقل قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية وإلى تدفق سيلي غزير.

٥-٧- نسبة الاستطالة Elongation ratio

عرف شوم نسبة الاستطالة بالعلاقة النسبية بين أقصى طول للحوض المائي وقطر دائرة لها مساحة تساوي مساحة التصريف لنفس الحوض . وتحسب قيمة نسبة الاستطالة بتطبيق المعادلة التالية :

$$(Schumm, 1965) R_e = \left[\frac{2}{L_b} \right] \left[\frac{A}{\pi} \right]^{0.5}$$

بحيث تمثل L_b طول الحوض المائي (كلم) و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢).

وتبلغ قيمة هذا المعامل ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً

(الجدول ٦) .

ولقد توصل شوم Schumm إلى تصنيف للأحواض المائية اعتماداً على قيمة نسبة الاستطالة على النحو التالي :

- الأحواض المستديرة بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٩ و ١,٠ .
 - الأحواض البيضوية بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٨ و ٠,٩ .
 - الأحواض المستطيلة نسبياً بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٧ و ٠,٨ .
 - الأحواض المستطيلة بنسبة استطالة تتراوح بين ٠,٥ و ٠,٧ .
 - الأحواض الأكثر استطالة بنسبة استطالة تقل عن ٠,٥ .
- ويرى سترابيلر أن الأحواض التي تتراوح نسبة استطالتها بين ٠,٦ و ١,٠ هي أحواض تتميز بتباين كبير في تكويناتها الجيولوجية مع اختلاف ظروفها المناخية فوق أجزائها في حين أن الأحواض التي تقل نسبة استطالتها عن ٠,٦ فهي أحواض شديدة التضرس (Strahler, 1964) .
- وبناء على تصنيف شوم فإن شكل حوضي وادي ريم واليمنة يقع ضمن الأحواض البيضوية بنسبة استطالة تبلغ على التوالي ٠,٨٥ و ٠,٧٦ وحوض شعيب السليم ضمن الأحواض المستطيلة بنسبة استطالة تبلغ ٠,٦٦ وحوض وادي العش ضمن الأحواض الدائرية بنسبة استطالة تصل إلى ٠,٩٣ . كما تتسم هذه الأحواض بتباين كبير في تكويناتها الجيولوجية مع اختلاف ظروفها المناخية فوق أجزائها حسب تصنيف سترابيلر .

٥-٨- نسبة الاستدارة Circularity ratio

تحتسب قيمة نسبة الاستدارة بواسطة العلاقة النسبية التي وضعها ميلر بين مساحة التصريف للحوض المائي ومربع محيطه بتطبيق

$$\text{المعادلة التالية: } R_c = \frac{12.57A}{P^2} \quad (\text{Miller, 1953})$$

بحيث يمثل R_c نسبة الاستدارة للحوض المائي و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و P محيط الحوض المائي (كلم) .

الجدول رقم (٦). القيم المعيارية للمعاملات المورفومترية الخاصة بالشكل الهندسي للحوض المائي.

الشكل الهندسي					المعامل	المصدر	النموذج
مستطيل							
L=40B	L=20B	L=10B	L=5B	L=2B	مربع	دائري	

0.024	0.050	0.100	0.200	0.501	1.000	1.277	$F_f = \frac{A}{L_b^2}$	Horton,1932	Form factor ratio	نسبة معامل الشكل
3.700	2.649	1.971	1.514	1.198	1.128	1.000	$C_c = \frac{0.2841 P}{A^{0.5}}$	Gravelius,1914	Compactness coefficient	معامل الاندماج
0.073	0.142	0.257	0.436	0.696	0.785	1.000	$R_c = \frac{12.57 A}{P^2}$	Miller,1953	Circularity ratio	نسبة الاستدارة
0.176	0.252	0.357	0.505	0.799	1.128	1.000	$R_e = (\frac{2}{L_b})(\frac{A}{\pi})^{0.5}$	Schumm,1956	Elongation ratio	نسبة الاستطالة
0.156	0.223	0.316	0.447	0.708	1.000	1.130	$R_a = \frac{A^{0.5}}{L_b^2}$	Diaconu & Lázărescu, 1965	Elongation degree	درجة الاستطالة
0.098	0.181	0.328	0.555	0.877	1.000	1.277	$R_f = \frac{16A}{P^2}$	Zăvoianu,1978	Form factor	معامل الشكل
0.978	0.959	0.927	0.894	0.866	0.897	1.000	$k = \frac{\pi L_b^2}{4 A}$	Chorley,1957	Lemniscate factor	معامل الانبعاج

المصدر : عمل الباحث بتصرف عن (Zăvoianu, 1978, p. 105)

وتبلغ قيمة هذه النسبة ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٧) .

وتتباين نسبة الاستدارة بين الأحواض المدروسة وهي تتراوح بين ٠,٢٢ بحوض وادي اليتمة و ٠,٢٨ بحوض شعيب السليم وهي تدل على شدة تعرج خط تقسيم المياه واختلافه تماماً عن الشكل الدائري .

٥-٩- معامل الاندماج Compactness coefficient

عرف Gravelius معامل الاندماج بالعلاقة النسبية بين محيط الحوض المائي ومحيط دائرة لها مساحة تساوي مساحة التصريف لنفس الحوض . وتحسب قيمة معامل الاندماج بواسطة المعادلة التالية : (Gravelius, 1914)

$$C_c = \frac{0.2841 P}{A^{0.5}}$$

بحيث يمثل C_c معامل الاندماج للحوض المائي و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و P محيط الحوض المائي (كلم) .

وتبلغ قيمة هذا المعامل ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٦) .

وتشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى شدة تعرج خط تقسيم المياه مما يؤدي إلى زيادة طول محيط الحوض. وتتباين قيمة معامل الاندماج بين الأحواض المدروسة وهي تتراوح بين ١,٩٠ بحوض شعيب السليم و ٢,١٢ بحوض وادي اليتمة وهي تدل على استطالة شكل خط تقسيم المياه واختلافه عن الشكل الدائري .

٥-١٠- معامل الانبعاج Lemniscate factor

كثيراً ما يكون شكل مساحة التصريف واسعاً بالحوض العلوي ويضيق تدريجياً كلما اتجهنا نحو المصب بالحوض الأدنى . ولذا اقترح شورلي معامل الانبعاج للتعبير عن هذا الشكل الهندسي لأحواض التصريف (Chorley, 1957) . وتحسب قيمة معامل الانبعاج بواسطة المعادلة

$$k = \frac{\pi L_b^2}{4 A} \quad \text{التالية: (Chorley, 1957)}$$

بحيث يمثل k معامل الانبعاج للحوض المائي و A مساحة التصريف للحوض المائي (كلم^٢) و L_b طول الحوض المائي (كلم) . وتبلغ قيمة هذا المعامل ١,٠٠٠ إذا كانت مساحة التصريف دائرية تماماً (الجدول ٦) .

وتشير القيم المرتفعة لهذا المعامل إلى قلة اتساع الحوض نتيجة انخفاض أعداد مجاري الرتب الدنيا التي تمتد عادة بالقرب من خط تقسيم المياه كما هو الحال بالنسبة لحوض شعيب السليم الذي تبلغ فيه قيمة معامل الانبعاج أقصاها بما يعادل ٢,٢٦ . أما بقية الأحواض الأخرى فتتراوح فيها قيمة هذا المعامل بين ١,١٥ بحوض وادي العش و ١,٧٥ بحوض وادي اليتمة . وعليه يبدو أن شكل حوض وادي العش هو الأقرب للشكل الدائري وهو بذلك يتوفر على الخصائص المورفومترية الملائمة لنشاط جيومورفولوجي كبير يعكس ديناميكية عالية للتعرية المائية بهذا الحوض . و تتماثل هذه الخصائص مع بقية الخصائص التي تم الحصول عليها بمعامل التكامل الهيسومتري والشكل .

١١-٥ - مؤشر التعرج Sinuosity index

عرف ميولير مؤشر التعرج بالعلاقة النسبية بين طول المجرى الرئيس وطول الوادي الذي يجري به . وقد توصل ميولير إلى تحديد ثلاثة مؤشرات لتعرج المجاري المائية هي : (Mueller, 1968)
١- مؤشر التعرج المعياري ويحسب من العلاقة النسبية التالية :

$$S_i = \frac{C_1}{V_1}$$

بحيث يمثل S_i مؤشر التعرج المعياري (Standard Sinuosity Index) و C_1 طول المجرى الرئيس (كلم) و V_1 طول الوادي (كلم) . ويرتبط هذا المؤشر بشكل المجرى الرئيس بحيث تم تصنيف المجاري المائية حسب درجة تعرجها إلى مجار مائبة متعرجة إذا كانت قيمة $S_i = 1.5$ ومجار مائبة شديدة التعرج إذا كانت قيمة $S_i > 1.5$ (Wolman and Miller, 1960). ويساعد معامل التعرج في تحليل التطور الجيومورفولوجي لمجاري الشبكة المائية ولدورة التعرية التي تمر بها وكذلك في تحديد تأثيرات الخصائص الجيولوجية على شكل امتداد المجاري المائية.
٢- مؤشر التعرج الهيدروليكي ويحسب من العلاقة النسبية التالية :

$$H_{si} (\%) = \frac{C_1 - V_1}{C_1 - 1} \times 100$$

بحيث يمثل H_{si} مؤشر التعرج الهيدروليكي Hydraulic Sinuosity Index

٣- مؤشر التعرج الطبوغرافي ويحسب من العلاقة النسبية التالية

$$T_{si} (\%) = \frac{V_1 - 1}{C_1 - 1} \times 100$$

بحيث يمثل T_{si} مؤشر التعرج الطبوغرافي Topographic Sinuosity

وتتأثر مؤشرات التعرج بطول المجرى الرئيس الذي يرتبط بمرحلة التعرية التي يمر بها الحوض المائي وكذلك بمساحة التصريف بحيث نجد أن حوضي وادي العيش ووادي اليتمة يتسمان بمؤشرات تعرج مرتفعة وبأكبر مساحة تصريف . كما أن زيادة تعرج المجرى الرئيس لهذين الحوضين ترتبط مباشرة بامتداد طولته بواسطة زيادة التعاريج التي تتأثر هي الأخرى بزيادة الانحدار خلال مرحلة نشأة وتطور الشبكة المائية (Schumm, 1973). وعليه فإن شدة تعرج وادي اليتمة ووادي العيش قد ترتبط أيضاً بتقدم مرحلة تطور الشبكة المائية بهما كونهما يمتدان على مساحات تصريف كبيرة مقارنة مع مساحة تصريف حوضي وادي ريم وشعيب السليم .

١٢-٥ - نسبة الانعطاف Wandering ratio

وهي عبارة عن العلاقة النسبية بين طول المجرى الرئيس و طول الحوض المائي المناسب للمسافة المستقيمة بين المصب وأبعد نقطة على خط تقسيم المياه . وتحسب هذه العلاقة بتطبيق المعادلة التالية : (Smart and

$$R_w = \frac{C_i}{L_b} \quad \text{Surkan, 1967}$$

بحيث يمثل R_w نسبة الانعطاف و L_b طول الحوض المائي المناسب للمسافة المستقيمة بين المصب وأبعد نقطة على خط تقسيم المياه (كلم) و C_i طول المجرى الرئيس (كلم).

ويبدو أن وادي العيش هو أكثر الأودية تعرجاً بنسبة تعرج تبلغ ١,٥٦ ووادي هو أقل الأودية تعرجاً بنسبة تعرج لا تتعدى ١,٢٢ (الجدول ٦) .

١٣-٥ - نسبة الانحدار Gradient ratio

هي عبارة عن العلاقة النسبية بين فارق الارتفاع بين الارتفاعين الأقصى والأدنى من جهة وطول الحوض المائي من جهة ثانية . وتحسب هذه العلاقة بتطبيق المعادلة التالية :

$$R_g = \frac{Z-z}{L_b} \quad \text{(Sreedevi, 2001)}$$

بحيث يمثل R_g نسبة الانحدار (متر/كلم) و L_b طول الحوض المائي (كلم) و Z أقصى ارتفاع للحوض المائي (متر) و z أدنى ارتفاع للحوض المائي (ارتفاع المصب) (متر) .

وتتناسب قيم نسبة الانحدار مع قيم متوسط الانحدار للحوض المائي بحيث نجد أن حوض وادي ريم يتميز بأكبر نسبة انحدار $42,6$ م/كلم وحوض شعيب السليم بأقل نسبة انحدار $14,9$ م/كلم . وترتبط نسبة الانحدار بتضرس سطح الأحواض المائية كما تدل عليه قيم التضاريس النسبية ونسبة التضرس (الجدول ٤) .

٦- الخصائص الهيدرولوجية

٦-١- حساب المتغيرات الهيدرولوجية

تمثل الخصائص الهيدرولوجية العلاقات المتبادلة بين الظروف المناخية (الأمطار، الحرارة، التبخر....) وخصائص حوض التصريف الأخرى (نوعية الصخور وخصائصها، الانحدارات، أطوال المجاري، خصائص التضاريس.....) . وبالرغم من أهمية الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف إلا أن دراستها تواجه كثيراً من الصعوبات المرتبطة بقلّة أو ندرة محطات قياس الجريان (المحطات الهيدرومترية) أو قلّة البيانات الهيدرولوجية بالمحطات القليلة المتوفرة . وتعد دراسة الجريان السطحي ونظام التصريف للأودية الجافة من الأمور الصعبة نظراً لعدم توفر البيانات التفصيلية عن كثافة الأمطار وشدتها وتركزها . ولذا فقد تقدم الكثير من الباحثين بنماذج رياضية لتقدير الجريان السطحي وتدفق السيول اعتماداً على الخصائص التضاريسية والمناخية والمورفومترية والجيومورفولوجية لأحواض التصريف . ويعتبر نموذج الهيئة الأمريكية لحماية الأراضي Soil Conservation Service (SCS) من أكثر النماذج المستخدمة في تقدير الجريان السطحي بالأحواض المائية التي لا تتوفر بها محطات هيدرومترية على غرار حوض وادي العقيق بالمملكة العربية السعودية .

ويتطلب تطبيق هذا النموذج تحديد جملة من المتغيرات الهيدرولوجية هي :

- ١- زمن التركيز للحوض المائي .
- ٢- مدة العاصفة المطرية .
- ٣- فترة الاستجابة للحوض المائي .
- ٤- زمن وصول التدفق للذروة .
- ٥- زمن الأساس للسيل .
- ٦- زمن انخفاض السيل .
- ٧- سرعة الجريان .

ولذا يجب حساب قيم هذه العناصر اعتماداً على نموذج SCS Dimensionless Unit Hydrograph لتحديد الخصائص الهيدرولوجية لأحواض التصريف لأودية ريم والعش واليتمة وشعيب السليم :

٦-١-١- زمن التركيز للأحواض المائية Time of concentration

زمن التركيز للحوض المائي هو المدة الزمنية التي تستغرقها مياه الأمطار في الوصول من أبعد نقطة على خط تقسيم المياه إلى مصب الحوض . وتفيد دراسة زمن التركيز في التعرف على المدة الزمنية الضرورية لوصول مياه الأمطار التي تتحول إلى مياه جارية سطحية وإلى مياه تدفق سيولي في الوصول من أبعد نقطة في الحوض إلى المصب، بحيث أنه بمجرد وصول الحوض إلى زمن التركيز تتحول أية كمية من الأمطار على أبعد نقطة من المصب إلى جريان سطحي مباشرة بمجرد تساقطها على سطح الأرض وتصبح كميات هذا الأخير مساوية لمقدار الأمطار . ولذا نجد أن زمن التركيز يتناسب عكسياً مع درجة الخطورة لتدفق السيول بحيث تتميز الأحواض التي تنسم بزمن تركيز قصير باحتمالية عالية لحدوث سيول غزيرة وخطيرة نتيجة لوصول كميات كبيرة من المياه الجارية إلى الأودية والروافد بعد وقت قصير من بداية تساقط الأمطار . ولذا فإن زمن التركيز يتأثر بجملة من العوامل الطبيعية السائدة بحوض التصريف وخاصة كمية الهطول ونسبة الانحدار ودرجة النفاذية للصخور ومعدل التسرب . وبالتالي فإن زمن التركيز يعد من العناصر المهمة عند دراسة الخصائص الهيدرولوجية للحوض المائي

. وهناك العديد من النماذج الرياضية التي تعتمد على الخصائص التضاريسية والمورفومترية في تقدير زمن التركيز من أهمها :

١- نموذج جياندوتي Giandotti

$$T_c (\text{min}) = 75 \frac{4 \left[\sqrt{A (\text{km}^2) + (1.5 L_b (\text{km}))} \right]}{0.8 \sqrt{h' (\text{m}) - h_{\text{min}} (\text{m})}}, (\text{EPFL}, 2004)$$

٢- نموذج باسيني Passini

$$T_c (\text{min}) = 6.48 \frac{\sqrt[3]{A (\text{km}^2) * L_b (\text{km})}}{I (\text{m/m})^{0.5}}, (\text{EPFL}, 2004)$$

٣- نموذج فنتورا Ventura

$$T_c (\text{min}) = 7.62 \frac{A (\text{km}^2)^{0.5}}{I (\text{m/m})^{0.5}}, (\text{EPFL}, 2004)$$

٤- نموذج تورازا Turazza

$$T_c (\text{min}) = 6 \frac{\left[A (\text{km}^2) L_b (\text{km}) \right]^{0.33}}{I (\text{m/m})^{0.5}}, (\text{BURGEAP}, 2010)$$

بحيث يمثل $T_c (\text{min})$ زمن التركيز للحوض المائي (دقيقة) و $A (\text{km}^2)$ مساحة الحوض المائي (كلم^٢) و $L_b (\text{km})$ طول المجرى المائي الرئيس (كلم) و $h_{\text{min}} (\text{m})$ الارتفاع الأدنى للحوض المائي (متر) و $h' (\text{m})$ الارتفاع المتوسط للحوض المائي (متر) و $I (\text{m/m})$ انحدار سطح الحوض المائي . ويتم الحصول على قيم هذه المتغيرات من مخرجات نموذج الارتفاعات الرقمية Digital Elevation Model (DEM) باستخدام تطبيقات برنامج Watershed Modeling Systems (WMS) والتحليل المكاني Spatial Analysis .

ولقد أعطى تطبيق هذه النماذج النتائج التالية : (الجدول ٧)

الانحراف المعياري	المتوس ط	تورازا Turazza	فونتيرا Ventura	باسيني Passini	جياندوتي Giandotti	الحوض المائي
1.67	8.13	7.73	8.64	6.09	10.08	وادي ريم
2.07	9.77	9.60	9.63	7.40	12.46	وادي اليتمة
2.80	13.74	15.88	16.16	12.64	10.29	شعيب السليم
2.35	17.52	18.47	19.70	14.23	17.69	وادي العش

٦-١-٢- مدة فائض الأمطار Duration of excess rainfall

وهي المدة التي يتمكن الحوض من خلالها تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي أو إلى تدفق سيلبي بعد تشبع التربة والمنكشفات الصخرية بالمياه . وتحسب هذه المدة بتطبيق المعادلة التالية : $D = 0.133 T_c$ بحيث يمثل D مدة فائض الأمطار (ساعة) و T_c زمن التركيز للحوض المائي (ساعة) .

٦-١-٣- فترة الاستجابة (التباطؤ) للحوض المائي Lag time

وهي المدة الزمنية الفاصلة بين ذروة فائض الأمطار وذروة التدفق السيلبي . ويفيد هذا الزمن في معرفة المدة الضرورية لوصول التسرب إلى أقصاه وبداية تحول كميات الأمطار إلى تدفق سطحي . ولذا فإن هناك العديد من العوامل التي تتحكم في تحديد فترة الاستجابة وخاصة نوعية التربة ونسبة الانحدار ودرجة النفاذية . وتحسب هذه الفترة بتطبيق المعادلة التالية : $L = 0.6 T_c$ بحيث يمثل L فترة الاستجابة للحوض المائي (ساعة) و T_c زمن التركيز للحوض المائي (ساعة) .

٦-١-٤- مدة وصول التدفق للذروة Time to peak

وهي المدة الزمنية الفاصلة بين بداية الجريان السطحي بالحوض ووصول التدفق للذروة. وتحسب هذه المدة بتطبيق المعادلة التالية :

$$T_p = \frac{D}{2} + L$$

بحيث يمثل T_p مدة وصول التدفق للذروة (ساعة) و D مدة فائض الأمطار (ساعة) .

٦-١-٥- فترة الأساس للسيل Time base

وهي الفترة التي يستغرقها جريان السيل من بداية الجريان السيلي حتى عودة المياه الجارية السطحية إلى مستواها الطبيعي. و هي تحسب بتطبيق المعادلة التالية : $T_b = 2.67 T_p$

بحيث يمثل T_b فترة الأساس للسيل (ساعة) و T_p مدة وصول التدفق للذروة (ساعة) .

٦-١-٦- فترة انخفاض تدفق السيل Recession time

وهي المدة الزمنية التي يستغرقها التدفق السيلي بين الذروة ومستوى الجريان الطبيعي للوادي . وتحسب هذه الفترة بتطبيق المعادلة التالية : $T_r = 1.67 T_p$

بحيث يمثل T_r فترة انخفاض تدفق السيل (ساعة) و T_p مدة وصول التدفق للذروة (ساعة) .

وتتباين قيم هذه المتغيرات من حوض لآخر كما توضحه بيانات الجدول ٨، بحيث نجد أن الفترات الزمنية لهذه المتغيرات الهيدرولوجية تتزايد أكثر بالأحواض الأقل تضرراً نظراً لتأثرها بالخصائص التضاريسية خاصة نسبة الانحدار المنخفضة التي تساعد على الجريان السطحي البطيء مما يعطي الفرصة أكثر لعمليات التسرب و التبخر .

الجدول رقم (٨). قيم المتغيرات الهيدرولوجية للأحواض المدروسة.

الحوض المائي	زمن التركيز	مدة فائض الأمطار	فترة استجابة الحوض	مدة وصول التدفق للذروة	فترة الأساس للسيل	فترة انخفاض السيل
	T_c (hr)	D (hr)	L (hr)	T_p (hr)	T_b (hr)	T_r (hr)
حوض وادي ريم	8.13	1.08	4.88	5.42	14.47	9.05

10.87	17.39	6.51	5.86	1.30	9.77	حوض وادي البتمة
15.29	24.45	9.16	8.24	1.83	13.74	حوض شعيب السليم
19.50	31.18	11.68	10.51	2.33	17.52	حوض وادي العش

٦-١-٧- سرعة الجريان Velocity

تعد سرعة الجريان من أهم المعاملات الهيدرولوجية لحوض التصريف لأنها تؤثر على طاقة النحت للمجري المائية ومن ثم على حجم الرواسب. ونظراً لصعوبة قياس سرعة الجريان أو التدفق بالأحواض المائية التي لا تتوفر على محطات هيدرومترية مثل حوض وادي العقيق فإنه يمكن حساب هذه السرعة بتطبيق المعادلة التالية :

$$V(m/s) = \frac{L_b (km)}{T_c (hr)}$$

بحيث يمثل $L_b(km)$ طول الحوض المائي (كلم) و $T_c(hr)$ زمن التركيز للحوض المائي (ساعة).

وترتبط سرعة الجريان طردياً بكمية التصريف وبطاقة الأودية في نقل الرواسب وبدرجة انحدار سطح المجاري المائية بينما تتأثر عكسياً بمقاومة خشونة القاع (Knighton, 1984). وعليه فإن سرعة الجريان تتزايد من القاع باتجاه السطح لأن خشونة القاع تعمل على تعطيل السرعة ومن الجوانب نحو المركز على امتداد القطاع العرضي للمجرى المائي لأن مواد جوانب الوادي تعمل على تقليل سرعة الجريان بواسطة الاحتكاك. كما تتأثر سرعة الجريان بشكل قطاع المجرى وبدرجة تماثله على طول القطاع العرضي. بالإضافة إلى ذلك تتغير سرعة الجريان على امتداد القطاع الطولي للمجرى المائي وهي ترتبط مباشرة بالتغيرات الزمنية والمكانية لكمية التصريف بحيث تعمل مياه الجريان الغزير ومياه التدفق السيلي على توسيع القطاع العرضي وتقليل خشونة قاع المجرى مما يساعد على زيادة سرعة الجريان. وتتباين سرعة الجريان بأحواض

التصريف لأودية ريم واليتمة والعش وشعيب السليم كما توضحه بيانات الجدول ٩.

الجدول رقم (٩). سرعة الجريان السطحي بالأحواض المدروسة.

الحوض	L_b (km)	T_c (hr)	V (m/s)
وادي ريم	٣٧,٢	٨,١٣	١,٢٧
وادي اليتمة	٤٨,١	٩,٧٧	١,٣٧
شعيب السليم	٣٩,٠	١٣,٧٤	٠,٧٩
وادي العش	٤١,٨	١٧,٥٢	٠,٦٦

ويتضح من خلال بيانات هذا الجدول أن سرعة الجريان السطحي بحوضي ريم واليتمة الأكثر ارتفاعاً وانحداراً وتضرساً تفوق مثيلاتها بحوضي شعيب السليم ووادي العش .

٦-٢- تقدير التدفق الذروة Peak flow

يمثل تدفق السيول كمية الجريان السطحي الناتجة عن حدوث فائض من الأمطار بكميات تفوق كميات التسرب والتبخر مما يؤدي إلى تشبع المنكشفات الصخرية والتربة وظهور جريان بالأودية. وتحسب كمية التدفق بتطبيق المعادلة التالية :

$$q_{\text{peak}} = 2.8 \frac{R_o \text{ (cm)} A \text{ (km}^2\text{)}}{T_p \text{ (hr)}}$$

بحيث يمثل R_o كمية فائض الأمطار أو كمية الجريان السطحي خلال مدة العاصفة المطرية (سم) و $A \text{ (km}^2\text{)}$ مساحة الحوض المائي (كلم^٢) و $T_p \text{ (hr)}$ مدة وصول التدفق للذروة (ساعة) و q_{peak} تدفق الذروة للسيل (م^٣/ثانية).

ويتطلب تطبيق هذه المعادلة حساب كمية الجريان السطحي (سم) باستخدام معامل الجريان السطحي وتطبيق المعادلة التالية : $R_o \text{ (cm)} = R_c$

× P(cm)

بحيث يمثل R_o كمية فائض الأمطار أو كمية الجريان السطحي (سم) و $P(cm)$ كمية الأمطار (سم) و R_c معامل الجريان السطحي Runoff coefficient وهو يستخرج من جدول خاص (الجدول ١٠) .

الجدول رقم (١٠). معامل الجريان السطحي العام المستخدم في نموذج SCS Dimensionless Unit Hydrograph

Description	Runoff Coefficient	Description	Runoff Coefficient
Business		Streets	
Downtown Areas	0.70 - 0.95	Asphalt	0.70 - 0.95
Neighborhood Areas	0.50 - 0.70	Concrete	0.80 - 0.95
Residential		Brick	0.70 - 0.85
Single-family	0.30 - 0.50	Lawns; sandy soils	
Multi-family detached	0.40 - 0.60	Flat, 2% slopes	0.05 - 0.10
Multi-family attached	0.60 - 0.75	Average, 2% - 7% slopes	0.10 - 0.15
Residential suburban	0.25 - 0.40	Steep, 7% slopes	0.15 - 0.20
Apartments	0.50 - 0.70	Lawns; heavy soils	
Parks, cemeteries	0.10 - 0.25	Flat, 2% slopes	0.13 - 0.17
Playgrounds	0.20 - 0.35	Average, 2% - 7% slopes	0.18 - 0.22
Railroad yards	0.20 - 0.40	Steep, 7% slopes	0.25 - 0.35
Unimproved areas	0.10 - 0.30		
Drives and walks	0.75 - 0.85		
Roofs	0.75 - 0.95		

المصدر : (Viessman and Lewis , 2003)

ولقد تم حساب كميات الجريان السطحي من تقديرات كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة لفترات الرجوع ٥ و ١٠ و ٢٥ و ٥٠ و ١٠٠ سنة بمحطات الفقير وأم البرك وآبار الماشي والمدينة المنورة بتطبيق نموذج Chow بعد إخضاع كميات الأمطار اليومية القصوى المسجلة بكل محطة لاختبار حسن المطابقة للتوزيع الاحتمالي المناسب (الجدول ١١) .

الجدول رقم (١١). نتائج اختبار حسن مطابقة كميات الأمطار اليومية القصوى للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى

نوع ١ EV.

المتغير		الفقير	أم البرك	المدينة المنورة	آبار الماشي
		J109	J112	M001	M103
المتوسط	X'	26.5	21.5	20.4	20.5
الانحراف المعياري	sd	17.4	15.4	19.9	13.6
حجم العينة (سنوات)	n	46	41	44	40
عدد الفئات	n _i	6	4	5	4
مربع كاي	X _c ²	9.37	4.86	7.72	5.88
درجة الحرية	v	3	1	2	1
مستوى الثقة	α	0.98	0.99	0.98	0.98

ويتضح من بيانات هذا الجدول أن كميات الأمطار اليومية القصوى تتبع التوزيع الاحتمالي للقيم القصوى نوع ١ EV . وعليه فقد تم تطبيق المعادلة التالية في تقدير كميات الأمطار المناسبة لفترات الرجوع

المذكورة : $x_T = X' + K_T \text{sd}$ (Chow, 1951)

بحيث يمثل x_T كمية الأمطار (ملم) المناسبة لفترة الرجوع T و X' متوسط كمية الأمطار لفترة المدروسة (ملم) و sd الانحراف المعياري لكميات الأمطار لفترة المدروسة (ملم) و K_T معامل التكرار Frequency coefficient وهو يحسب بتطبيق المعادلة التالية :

$$K_T = -0.7797 [0.5772 + \ln (\ln (T/T-1))]$$

بحيث يمثل T فترة الرجوع بالسنين، وعليه يكون نموذج التقدير المناسب لكل فترة بكل محطة على النحو التالي : (الجدول ١٢) .

الجدول رقم (١٢). نماذج تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى نوع ١ EV ولفترات الرجوع.

فترة الرجوع T (سنة)	معامل التكرار K_T	نموذج التقدير
5	0.7195	$xT_5 = X' + (0.7195 \text{ sd})$
10	1.3046	$xT_{10} = X' + (1.3046 \text{ sd})$
25	2.0439	$xT_{25} = X' + (2.0439 \text{ sd})$
50	2.5923	$xT_{50} = X' + (2.5923 \text{ sd})$
100	3.1367	$xT_{100} = X' + (3.1367 \text{ sd})$

ولقد أعطى تطبيق هذه النماذج النتائج التالية : (الجدول ١٣)

الجدول رقم (١٣). تقدير كميات الأمطار اليومية القصوى المناسبة للتوزيع الاحتمالي للقيم القصوى نوع ١ EV ولفترات الرجوع.

المتوسط	فترة الرجوع T (سنة)				
	آبار الماشي	المدينة المنورة	أم البرك	الفقير	J109
34.2	M103 30.3	M001 34.7	J112 32.6	J109 39.0	5
43.8	38.2	46.4	41.6	49.2	10
56.1	48.3	61.1	53.0	62.1	25
65.2	55.8	72.0	61.4	71.6	50
74.2	63.2	82.8	69.8	81.1	100
54.7	47.2	59.4	51.7	60.6	المتوسط

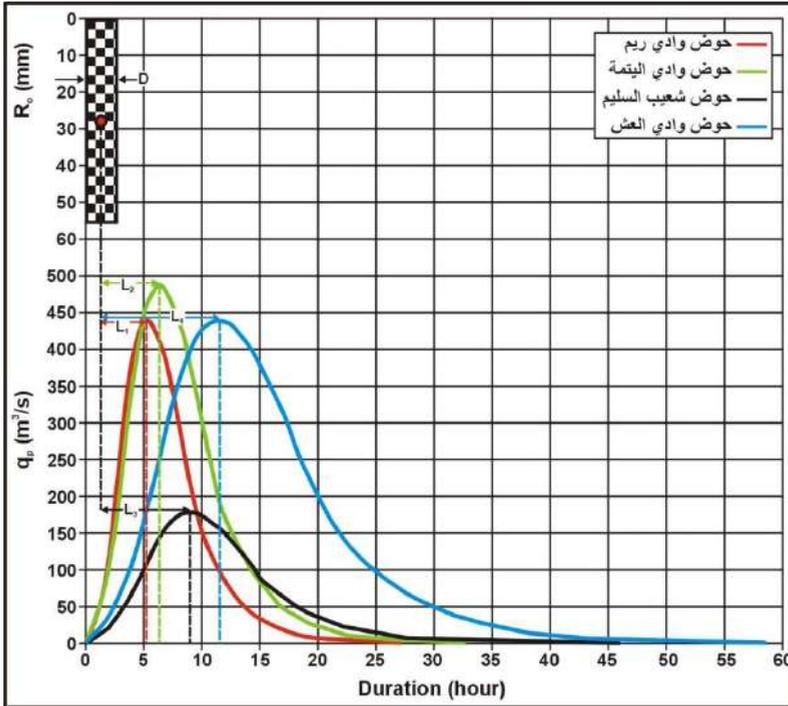
ولقد تم تقدير التدفق السيلي لأودية ريم واليتمة والعش وشعيب السليم بالاعتماد على متوسط كميات الأمطار اليومية القصوى لكل فترة رجوع بكل المحطات المدروسة وكذلك على معامل الجريان السطحي ٠,٢٠ الذي يمثل متوسط قيمة معامل الجريان السطحي المناسب لأحواض التصريف الطبيعية Unimproved areas المستخرج من الجدول ١٠. وتعكس نتائج الجدول ١٤ تأثير الخصائص التضاريسية والمورفومترية للأحواض المدروسة على كمية التدفق السيلي بحيث نجد أن أكثر الأحواض قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه تدفق سيلي

هما حوضي وادي ريم ووادي اليتمة بمعدل يتراوح بين ٤٣٨,٦٤ و ٤٨٨,٢٠ م^٣/ثانية على التوالي . وتتناسب هذه القيم مع القيم التي تم الحصول عليها من تحليل الخصائص المورفومترية (نسبة الانحدار للحوض وللمجرى الرئيس ولخط تقسيم المياه) وكذلك الخصائص التضاريسية (نسبة التضاريس و التضاريس النسبية و إجمالي التضاريس) .

وعليه يتضح أن أحواض السفوح الغربية لحوض وادي العقيق التي تتشكل أساساً من صخور بركانية وكونجلوميرايت وبازلت وأندسايت وجرانوديورايت هي أكثر قدرة على تحويل مياه الأمطار إلى مياه جارية سطحية ومياه تدفق سيلبي مقارنة بأحواض السفوح الشرقية . ويتسم من بينها حوض وادي اليتمة الذي يتشكل بالأساس من صخور بركانية وكونجلوميرايتية بجريان سطحي غزير وبتدفق سيلبي عالٍ بالرغم من اتساع مساحة تصريفه مقارنة بمساحة التصريف لحوض وادي ريم. ولقد أثر اتساع مساحة التصريف لحوض وادي اليتمة على زمني التركيز والاستجابة ومدة وصول التدفق للذروة مقارنة مع حوض وادي ريم بحيث يتأخر وصول فائض الأمطار الذي يتحول إلى جريان سطحي وكذلك وصول التدفق إلى الذروة بحوض وادي اليتمة بمدة زمنية تتراوح بين ساعة وساعة ونصف مقارنة مع حوض وادي ريم . وبالرغم من تأخر ظهور الجريان السطحي بحوض وادي اليتمة إلا أن مدة الجريان تبدو متماثلة بالحوضين مما يدل على قدرة تضاريس حوض وادي اليتمة الكبيرة على سرعة تصريف مياه الأمطار كما تعكسه قيم سرعة الجريان التي تبلغ أقصاها بهذا الحوض بما يعادل ١,٣٧ م/ثانية (الشكل ٦).

وتساعد هذه الظروف كثيرا على تقليل الفواقد عن طريق عمليتي التسرب والتبخر وبالتالي تحويل كميات معتبرة من مياه الأمطار إلى مياه جارية أو مياه تدفق سيلبي كما يتضح من خلال قيم تدفق الذروة لمختلف فترات الرجوع. أما بالنسبة لأحواض السفوح الشرقية فهي تتسم بتصريف سطحي وبتدفق سيلبي أقل من مثيليهما بأحواض السفوح الغربية بحيث يبلغ متوسط تدفق الذروة لفترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة ١٧٦,٥٤ م^٣/ثانية بحوض شعيب السليم و ٣١٢,٨٩ م^٣/ثانية بحوض

وادي العش (الجدول ١٤). ويتسم هذان الحوضان بزمني تركيز واستجابة أطول من مثيليهما بحوضي وادي ريم واليتمة. ولذا فإن فترة وصول التدفق إلى الذروة تستغرق ٩,٢ ساعات بحوض شعيب السليم و ١١,٧ ساعة بحوض وادي العش، في حين تمتد فترة الجريان السطحي للسيل إلى ٢٤,٥ و ٣١,٢ ساعة على التوالي بالحوضين.



الشكل رقم (٦). هيدروغراف متوسط تدفق الذروة لسيلول فترات الرجوع من ٥ إلى ١٠٠ سنة.

الجدول رقم (١٤). تقدير التدفق السيلبي المناسب لفترات الرجوع بالأحواض المدروسة.

حوض وادي العيش		حوض شعيب السليم		حوض وادي اليتمة		حوض وادي ريم		كمية الجريان السطحي	كمية الأمطار (ملم)	فترة الرجوع (سنة)
T _p (hr)	A (km ²)	T _p (hr)	A (km ²)	T _p (hr)	A (km ²)	T _p (hr)	A (km ²)	(سم)	P (mm)	
11.68	1193.0	9.16	527.9	5.51	1037.5	5.42	776.1			
q _p (m ³ /s)		q _p (m ³ /s)		q _p (m ³ /s)		q _p (m ³ /s)		R _o (cm)		
195.337		110.216		304.786		273.846		0.68	34.2	5
250.809		141.515		391.338		351.612		0.88	43.5	10
320.899		181.062		500.701		449.873		1.12	56.1	25
372.891		210.398		581.824		522.761		1.30	65.2	50
424.504		239.519		662.356		595.118		1.48	74.2	100
312.89		176.54		488.20		438.64		1.09	54.7	المتوسط

وعليه يبدو أن حوض شعيب السليم هو أقل الأحواض قدرة على تصريف مياه الأمطار بالرغم من صغر مساحة تصريفه مقارنة مع بقية الأحواض الأخرى. وتتوافق قيم تدفق الذروة لحوضي شعيب السليم ووادي العيش مع الخصائص التضاريسية والمورفومترية التي ترتبط هي الأخرى بالتكوينات الصخرية التي تتشكل بالأساس من صخور بازالتية بحوض شعيب السليم وبازالت وحجر رملي وكونجولوميرايت بحوض وادي العيش.

الخلاصة

لقد أوضحت هذه الدراسة إمكانية التوظيف المتكامل لبيانات الأمطار اليومية القصوى المسجلة بمحطات أم البرك والفقر والمدينة المنورة وآبار الماشي من جهة ومخرجات التحليل المكاني لبيانات نموذج الارتفاعات الرقمي من جهة ثانية في حساب قيم المتغيرات التضاريسية والمورفومترية لأحواض أودية ريم واليتمة والعيش وشعيب السليم (أهم أحواض روافد وادي العقيق) ومنها المتغيرات التي يعتمد عليها نموذج

تقدير زمن التركيز ونموذج تقدير تدفق الذروة للسيول SCS Dimensionless Unit Hydrograph المستخدم في هذه الدراسة. ولقد أظهر تحليل بيانات الأمطار لمحطات أم البرك والفقير و المدينة المنورة وأبار الماشي أن معدل الأمطار السنوي لحوض وادي العقيق يبلغ ٥٩,٢ ملم وأن حجم الأمطار يصل إلى ٣٠٣,٧٤ مليون م^٣، منها ٤٥,٩٥ مليون م^٣ بحوض وادي ريم و ٦١,٤٢ مليون م^٣ بحوض وادي اليتمة و ٣١,٢٥ مليون م^٣ بحوض شعيب السليم و ٧٠,٦٣ مليون م^٣ بحوض وادي العش، أي ما يعادل على التوالي ١٥,١ % و ٢٠,٢ % و ١٠,٣ % و ٢٣,٣ % من إجمالي حجم الأمطار المتساقطة على حوض وادي العقيق.

كما أظهر تحليل المتغيرات التضاريسية أن السفوح الغربية لحوض وادي العقيق أكثر تضرراً من السفوح الشرقية كما تدل عليه قيم التضاريس النسبية ونسبة التضاريس وإجمالي تضاريس الحوض المحسوبة ببرنامج WMS وكذلك المؤشرات التضاريسية المحسوبة بواسطة المعادلات الرياضية بحيث تبين أن حوضي وادي ريم ووادي اليتمة الواقعين على السفوح الغربية يتسمان بأعلى قيم التضاريس النسبية ونسبة التضرر ونسبة الانحدار مقارنة بحوضي وادي العش وشعيب السليم الواقعين على السفوح الشرقية.

كما تبين من تحليل المتغيرات المورفومترية المساحية والشكلية أن

:

- قيمة نسبة معامل الشكل تتراوح بين ٠,٣٥ بحوض شعيب السليم و ٠,٦٨ بحوض وادي العش وأن أشكال الأحواض المدروسة بعيدة عن الشكل الدائري.
- قيمة نسبة الاستطالة تتراوح بين ٠,٦٦ بحوض شعيب السليم وهو يعتبر أكثر الأحواض استطالة و ٠,٩٣ بحوض وادي العش وهو يعتبر أقرب الأحواض للشكل الدائري .
- قيمة نسبة الاستدارة تتراوح بين ٠,٢٢ بحوض وادي اليتمة و ٠,٢٨ بحوض شعيب السليم وهي تدل على شدة تعرج خط تقسيم المياه واختلافه تماماً عن الشكل الدائري .

- قيمة معامل الاندماج تتراوح بين ١,٩٠ بحوض شعيب السليم و ٢,١٢ بحوض وادي اليتمة وهي تدل على استطالة شكل خط تقسيم المياه واختلافه تماماً عن الشكل الدائري.

- قيمة معامل الاندماج تتراوح بين ١,٩٠ بحوض شعيب السليم و ٢,١٢ بحوض وادي اليتمة وهي تدل على استطالة شكل خط تقسيم المياه واختلافه عن الشكل الدائري .

- قيمة التكامل الهيسوممترى تتراوح بين ٠,١٨ بحوض وادي العش و ٠,٣٨ بحوض شعيب السليم وهي تدل على أن هذه الأحواض قد تعرضت إلى عمليات تعرية شديدة قلصت الجزء الأكبر من حجم تضاريسها منذ نشأة الشبكة المائية، بحيث يبدو أن حوض وادي العش قد سبق كل الأحواض من حيث النشاط الجيومورفولوجي.

وقد اتضح أن وادي العش هو أكثر الأودية تعرجاً بنسبة تعرج تبلغ ١,٥٦ و وادي هو أقل الأودية تعرجاً بنسبة تعرج لا تتعدى ١,٢٢ .

- قيمة نسبة الانحدار بلغت أقصاها بما يعادل ٤٢,٦ م/كلم بحوض وادي ريم وأدناها بما يعادل ١٤,٩ م/كلم بحوض شعيب السليم .

وقد تبين أن الخصائص الهيدرولوجية تتماثل مع الخصائص التضاريسية بالأحواض المدروسة في التأثير على الجريان السطحي بالأحواض المدروسة بحيث نجد أن حوضي وادي ريم و وادي اليتمة يتسمان بمتوسط تدفق ذروة يبلغ ٤٨٨,٢٠ م^٣/ثانية و ٤٣٨,٦٤ م^٣/ثانية على التوالي لكونهما أكثر الأحواض تضرساً، في حين لا يتعدى هذا التدفق ٣١٢,٨٩ م^٣/ثانية بحوض وادي العش و ١٧٦,٥٤ م^٣/ثانية بحوض شعيب السليم.

كما انعكست تأثيرات الخصائص التضاريسية ونوعية التكوينات الجيولوجية على زمني التركيز والاستجابة ومدة جريان السيل بكل حوض بحيث اتسم حوضا وادي ريم و وادي اليتمة بسرعة وقدرة عاليتين في تحويل مياه الأمطار إلى مياه جريان سطحي وتدفق سيلبي يبلغ ذروته خلال مدة زمنية تصل على التوالي إلى ٥,٤٢ و ٦,٥١ ساعات بينما تصل هذه المدة إلى ٩,١٦ و ١١,٨٦ ساعات بحوضي شعيب السليم و وادي العش أيضاً على التوالي . كما انعكست أيضاً تأثيرات الخصائص

التضاريسية والمورفومترية على سرعة الجريان بالأحواض المذكورة بحيث بلغت سرعة الجريان ١,٣٧ و ١,٢٧ م^٣/ثانية بحوضي وادي ريم ووادي اليتمة على التوالي في حين لم تتعد هذه السرعة ٠,٦٦ و ٠,٧٩ م^٣/ثانية بحوضي وادي العش وشعيب السليم أيضاً على التوالي . وترتبط هذه الخصائص الهيدرولوجية بظروف حدوث السيول وبمدتها الزمنية كما يوضحه زمن الأساس لسيول كل حوض، بحيث يستمر تدفق السيول إلى ١٤,٤٧ و ١٧,٣٩ ساعة بحوضي وادي ريم ووادي اليتمة على التوالي، في حين يمتد هذا الزمن إلى ٢٤,٤٥ و ٣١,١٨ ساعة بحوضي شعيب السليم ووادي العش أيضاً على التوالي . وعليه فإن كميات الفواقد عن طريق عمليتي التبخر والتسرب تتناسب طردياً مع طول فترة الجريان بكل حوض مما يدل على أن كمياتها قد ترتفع أكثر بحوضي شعيب السليم ووادي العش مقارنة مع حوضي وادي ريم ووادي اليتمة .

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- [١] أحمد، بدر الدين يوسف محمد، (١٩٩٣) : مناخ المملكة العربية السعودية، سلسلة رسائل جغرافية، العدد ١٥٧، الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت .
- [٢] البليهد، عبد الرحمن سعود عبد الله، (١٩٩٢) : الجريان السيلي في أودية إقليم عسير الرئيسية، سلسلة رسائل جغرافية، العدد ١٤٧، الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت.
- [٣] الجراش، محمد العبدالله، (١٩٨٢) : العلاقة بين الأمطار والسيول في جنوبي غرب المملكة العربية السعودية دراسة تطبيقية على حوض وادي بيشة وحوض وادي بيث، مجلة كلية الآداب والعلوم الإنسانية، المجلد الثاني، المملكة العربية السعودية.
- [٤] الجعيد، فرحان بن حسين، (٢٠٠٨) : الخصائص الهيدر ومورفومترية وخصائص السيول في أحواض السدود المقترحة على أودية عليية في محافظة الخرج، بحوث جغرافية، سلسلة محكمة

- دورية (٨٤)، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- [٥] الجعيدى، فرحان بن حسين، بوروية، محمد بن فضيل، (٢٠٠٧) :
تقدير تدفق الذرة للسيول بحوض وادي العين بمحافظة الخرج في
المملكة العربية السعودية، دراسة علمية محكمة (١٢١ / ١٤٢٨)،
مركز بحوث كلية الآداب، عمادة البحث العلمي، جامعة الملك
سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- [٦] الدوعان، محمود إبراهيم، (١٩٩٩) : الأودية الداخلة إلى منطقة
الحرم بالمدينة المنورة، بحوث جغرافية، سلسلة محكمة غير دورية
(٣٨)، الجمعية الجغرافية السعودية، جامعة الملك سعود، الرياض،
المملكة العربية السعودية.
- [٧] الشنطي، احمد، محمود، (٢٠٠٣) : جيولوجية الدرع العربي، ط ٢،
جامعة الملك عبد العزيز، جدة .
- [٨] الصالح، محمد عبد الله، (١٩٩٧) : التوزيع الزماني والمكاني
للأمطار في مدينة الرياض، سلسلة رسائل جغرافية، العدد ٢٠٣،
الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت .
- [٩] الكليب، عبد الملك علي، (١٩٩٠) : مناخ الخليج العربي، دار
السلامة، الكويت.
- [١٠]
- وروية، محمد فضيل (٢٠٠٧)، دراسة هيدرومورفومترية لتقدير
حجم سيول حوض وادي عتود بالمملكة العربية السعودية، سلسلة
الإصدارات الخاصة، العدد ٢١، السنة ٣٣، مركز دراسات الخليج
والجزيرة العربية، مجلس النشر العلمي، جامعة الكويت، محرم
١٤٢٧ هـ (فبراير ٢٠٠٧ م) .
- [١١] شرف، عبد العزيز طريح، (١٩٨٣) : الجغرافيا المناخية
والنباتية، الطبعة التاسعة، دار الجامعات المصرية، الاسكندرية،
مصر .
- [١٢] طلبه، شحاته، سيد أحمد، (٢٠٠٢) : مناخ المدينة المنورة وآثاره
الاقتصادية (دراسة علمية محكمة)، الطبعة الأولى، النادي الأدبي

بالمدينة المنورة، مطابع مؤسسة المدينة للصحافة (دار العلم) بجدة، المملكة العربية السعودية .

[١٣] عزيز، مكي محمد، (١٩٧١) : *الأمطار في المملكة العربية السعودية*، مجلة كلية الآداب، جامعة الرياض، المجلد ٢، ص ص ٢٣٩-٢٨٨ .

[١٤] مرزا، معراج بن نواب، البارودي، محمد بن سعيد، (٢٠٠٦) : *السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي*، مجلة جامعة أم القرى للعلوم التربوية والاجتماعية والإنسانية، عدد خاص بمناسبة اختيار مكة المكرمة عاصمة للثقافة الإسلامية لعام ١٤٢٦هـ / ٢٠٠٥م.

[١٥] مرزا، معراج بن نواب، البارودي، محمد بن سعيد، (٢٠٠٤) : *الأسس الجيولوجية ودورها في نشأة مظاهر السطح لمنطقة الحرم المكي*، سلسلة بحوث العلوم الاجتماعية (٥٦)، مركز بحوث العلوم الاجتماعية، معهد بحوث العلمية، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، وزارة التعليم العالي، المملكة العربية السعودية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- [16] Al-Amri, S.A. (1986) : *Climate and climate-corp relationships in the South – West of Saudi Arabia* , Unpublished PhD Thesis, University of Manchester, England.
- [17] Appolov. B. A. (1963) : *A study of Rivers*, Izdat. Mosk. Univ., Moscow.
- [18] Bukhari Asem. Y. (1993) : *The Drainage System Around Al Madinah Al Munawara (Saudi Arabia) as vived from Satellite Data*, JKAU: Met., Env., Arid Land Agric. Sci., Vol 4, pp 123-137.
- [19] BURGEAP (2010) : *Bassin versant du Lignon et de ses affluents (42), Définition d'une gestion du risque d'inondation* , Rapport des phase 1 et 2 , Syndicat Mixte du Lignon , de l'Azon et du Vizézy, Lyon.
- [20] Camp, V. E. (1986) : *Geologic Map of Umm Al Birak Quadrangle* , Sheet 23D, Kingdom of Saudi Arabia Deputy Ministry for Mineral Resources Geologic Map GM-87C, Scale 250,000, with text.
- [21] Chorley, R. J. (1957) : *Illustrating the Laws of Morphometry* , Geologic Magazine , vol. XCIV. No 2.
- [22] Chow, V. T. (1951) : *A General Formula for hydrologic frequency Analysis* , Trans. Amer. Geophys. Union , Vol. 32 , pp. 231-237.
- [23] Critcfield, H. J. (1983) : *General climatology* , 4th Edition, Prentice-Hall , Inc. , Englewood Cliffs, New Jersey.

- [24] Diaconu, D. & Lăzărescu, D. (1965) : *Hydrology* , Ed. Didactică și pedagogic, Bucarest.
- [25] EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) (2004) : *Exercice n° HA 0813- Corrigé*, Hydrothèque : base de données d'exercices en hydrologie , Cours d' hydrologie générale, Etude des crues , Lausanne.
- [26] Gardiner, V. (1975) : *Drainage basin Morphometry* , Br. Geomorphol. Res. Group, Tech. Bull.
- [27] Gravelius, H. (1914) : *Flußkunde* , Gosche'sche Verlagshandlung , Berlin.
- [28] Gregory, K.J. & Walling, D.E (1973) : *Drainage basin Form and Process : A Geomorphological Approach* , Edward Arnold (Publisher Ltd) , London.
- [29] Hack, J. T. (1957) : *Studies of longitudinal stream profiles in Virginia and Maryland*: U. S. geological survey professional paper, 294-B, pp 45-97.
- [30] Horton, R.E. (1932) : *Drainage basin characteristics*, Trans. Amer. Geophys. Union, 13, pp 350-361.
- [31] Knighton, D. (1984) : *Fluvial Forms and Processes* , Edward Arnold (Publisher Ltd) , London.
- [32] Leopold, L. B., Wolaman, M. G. and Miller, J. P. (1964) : *Fluvial Process in Geomorphology*, Freeman & Co., London.
- [33] McLaren International Limited. (1979) : *Water and agricultural development studies Arabian shield-south : Climate and surface hydrology* , Annex 8, Ministry of Agriculture and Water , Saudi Arabia.
- [34] Melton, M.A. (1957) : *An Analysis of the relations among elements of climate, Surface properties and geomorphology*, Project NR 389042, Tech. Rep. 11, Columbia University.
- [35] Miller, V.C. (1953) : *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch, Mountain area, Verdinia and Tennessee*, Project NR Tech. Rept.3 Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography branch, New York, pp 389-042.
- [36] Mueller, J.E. (1968) : *An introduction to hydraulic and topographic sinuosity indexes*, Ann. Assoc. Am. Geogr., 58(2), 371-85.
- [37] Pellaton, C. (1981) : *Geologic Map of the Al Madinah Quadrangle* , Sheet 24D, Kingdom of Saudi Arabia Deputy Ministry for Mineral Resources Geologic Map GM-52C, Scale 250,000, with text.
- [38] Pike, R. J, and Wilson, S.E. (1971) : *Elevation-relief ratio: hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis* , Geol. Soci. Amer. Bull. 82: 1079-1084.
- [39] Schumm, S.A. (1956) : *Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey*. Bull. Geol. Soc. Am. 67, pp 597-46.
- [40] Schumm, S.A. (1973) : *Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems*, in M.Morisawa, (ed.) *Fluvial geomorphology*, State University of New York, Binghamton, New York, pp. 299-310.
- [41] Smart, J.S. & Surkan, A. J. (1967) : *The relation between mainstream length and area in drainage basin*. *Water Resource Research*, 3(4) , 963-74.

- [42] Strahler, A.N. (1952) : *Hypsometric Analysis of Erosional Topography*, Bulletin of the Geological Society of America, 63, pp 1117-42.
- [43] Strahler, A. N. (1964) : *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks* , In V.T. Chow (ed.), Handbook of Applied Hydrology , 4-39/4-76.
- [44] Sreedevi, P.D. Srinivasalu. S. and Kesava Raju, K. (2001) : *Hydrogeomorphological and groundwater prospects of the Pageru River basin by using remote sensing data*. Environ Geol, 40(8), pp 1088-1094.
- [45] Surman. Ali U. (1993a) : *New Trends in Stochastics Modelling for hydrologic Data analysis*, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol 4, pp 95-100 .
- [46] Surman. Ali U. (1993b) : *Application of the TR-55 Model to Storms in Arid Climate Case Study: Upper Tabbalah, The Kingdom of Saudi Arabia*, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol 4, pp 101-109 .
- [47] Surman. Ali U. (1994): *Estimation of Flood Peak using emote Sensing Techniques; Case study: Wadi Itwad, Southwestern Saudi Arabia*, JKAU: Met., Env.,Arid Land Agric. Sci., Vol. 5, pp 161-177.
- [48] Visseman, W. Jr. et al. (2003) : *Introduction of Hydrology* , 4th Edition, Harper and Row , Publishers , New York .
- [49] Wolman, M. G & Miller, J.P. (1960) : *Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes* , *Journal of Geology*, 68, 54-74
- [50] Zăvoianu I. (1978) : *Morphometry of hydrographic basins*, Ed. Academiei Bucurest.

Geomorphologic proprieties of Al Aqiq Watershed in Al Madinah Munawarah Area

Dr. Mohamed Foudil BOUROUBA

Department of Geography
College of Arabic Language and Social Sciences
Qassim University

Abstract. The absence of hydrometric stations to gauge the surface runoff of the Wadis in Saudi Arabia is the problem preventing the exact identification of hydrological characteristics of surface drainage systems in arid basins. Therefore, this research seeks to identify the relief and morphometric characteristics that control the hydrological characteristics of the wadi Al Aqiq floods using Digital Elevation Model data with resolution of 30 m, and the outputs of Spatial Analysis in ArcGIS ArcHydro extension , the (WMS) Watershed Modeling System and available rainfall data in the stations of Al Faqir , Umm Al Biraq, Al Musajjid and Al Madinah Al Munawarah gauged over from 1974 to 2004 (31 years) .

The watershed of Wadi Al Aqiq has been selected because of its hydrological importance with a drainage area of 5130.8 km² and its drainage area contained Al Madinah Al Munawarah urban area and the Holy Mosque. In the absence of the hydrometric stations in the drainage area of Wadi Al Aqiq basin this research is based on the SCS dimensionless unit hydrograph to compute the discharge peak of the sub-basins of Wadis Rym , Al Yatmah, Al Ash and Shuaib Slim . In order to achieve the objectives of this study the digital elevation model outputs with a resolution of 30 m are used to calculate the morphometric and relief variables needed in the experimental equations of the hydrological model applied in this study.

