السمات المورفولوجية و الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي

إعـداد

د . معراج نواب مرزا

أستاذ مساعد بقسم الجغرافيا

كلية العلوم الاجتماعية

جامعة أم القرى

د. محمد سعيد البارودي

أستاذ مشارك بقسم الجغرافيا

كلية العلوم الاجتماعية

جامعة أم القرى

السمات المورفولوجية و الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأودية الحرم المكي

د . معراج نواب مرزا د. محمد سعيد البارودي

ملخص البحث

تحتل مدينة مكة المكرمة بطون المجاري الدنيا لأربعة أودية رئيسة، تشكل بمجموعها منطقة الحرم المكي . ونتيجة لهذا الموقع شهدت المدينة المقدسة خلال تاريخها الطويل العديد من السيول العرمة، التي سببت الكثير من الخراب وإزهاق للأرواح . وبالرغم من أن المشاريع العديدة التي عملت قديماً لتلافي أخطار هذه السيول ولاقت نجاحاً مشهوداً في حينها إلا أن التوسع الحالي للمدينة المقدسة قد احتل مواقع جديدة لم تفلح مشاريع تصريف السيول لدرء أخطارها، نظراً إلى أن الكثير منها قد قام على التقديرات وليس على الدراسات لأحجام هذه السيول . وبناء على ذلك فقد تم **اختيار** هذا الموضوع للبحث الذي سيشمل بالضرورة إعطاء لمحة عن الخصائص الجيولوجية والمناخية والتضاريس، إضافة إلى الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية موضوع البحث والتي يتوقف عليها تحديد معامل الفيضان وحجم الجريان وسرعته، ولعل من أهم أهداف هذا البحث يتمثل في التالي:

١- إعطاء صورة واضحة عن السمات المورفولوجية المورفومترية لأحواض التصريف التي تحتضن مدينة مكة المكرمة .

٢- إبراز العلاقة بين كل من السمات المورفولوجية المورفومترية لهذه الأحواض من جانب آخر . نظراً لما لها دور أساس في سرعة استجابة هذه الأحواض للجريان وحدوث الفيضان ووصوله إلى أحياء المدينة المقدسة .

٣- تحديد المناطق المتضررة أكثر من غيرها جراء جريان السيول في المدينة لإلقاء الضوء عليها ومعالجتها لدرء أخطارها .

و لتحقيق الأهداف السابقة فقد وضعت **طريقة عمل** اشتملت على الخطوات التالية :

١ – رسم خريطة دقيقة لأحواض أودية الحرم المكي اعتماداً على الخرائط كبيرة المقاس و الصور الفضائية .

٢ – تحديد أنواع التكوينات الصخرية و البنيات التكتونية واتجاهاتها لما لها من أثر مباشر على الجريان .

٣ – حساب كميات الأمطار الساقطة على أحواض منطقة الحرم المكي لما لها من علاقة مباشرة في نشأة سيول هذه الأحواض .

٤ – إجراء قياسات دقيقة للخصائص المورفولوجية لأحواض تصريف منطقة الحرم المكي و ربطها بالخصائص المورفومترية للخروج بتحديد دقيق للخصائص الهيدرولوجية لمنطقة البحث .

Morphological, Morphometric, and Hydrologic Characteristics of the Valleys in Makkah Sanctuary

Dr. Meraj Nawab Mirza & Dr. Muhammad Saed Al Baroody

Makka city occupies the bottom beds of the main four valleys that constitute the Makkah sanctuary Area. As a result of this location, the holy city experienced along history of overwhelming floods that caused immense devastation and loss of lives. Despite the execution of several projects aimed at curbing and reducing flood dangers, the dangers remain. The reason behind this is the fact that project feasibility studies were based upon estimates rather than meticulous studies. Accordingly, this topic is chosen for this research to provide a glance at morphologic, morphometric, and hydrologic characteristics of the area. Based on these features it would be possible to determine flood factor, flood volume and speed. The main research objectives are:

1- To present the plain morphologic and morphometric characteristics of drainage basins that encompass the holy city.

2- To reveal the correlation between these features.

3- To determine the risk area (the most vulnerable among all) for diagnosis and for the purpose of offering solution.

To achieve the above objectives the following work plan is devised :

1- Preparation of a detail map that reveals the sanctuary valley basins depending on large scale maps and satellite images.

2- Specification of rock formation and tectonic structure and its direction because of its impact on the run off.

3- Calculation of rain volume that fall on the studied basins as this has direct relation to origin of floods.

4- Measurement of morphological features of drainage basins and relating it to morphometric characteristics to determine hydrological characteristics of area under study.

تمهيـــد:

شهدت مدينة مكة المكرمة خلال تاريخها الطويل العديد من السيول العرمة، وهي مسجلة تاريخياً وبشكل مفصل في العديد من الكتب المخطوطة والمطبوعة، وغالباً ما سجل معها أثرها في الخراب و إزهاق الأرواح الذي كان يلحق بالمدينة المقدسة وسكانها جرّاء هذه السيول ، سواء في وادي إبراهيم الذي يخترق مركز المدينة أو أودية المشاعر المقدسة كوادي محسر أو الأودية المجاورة الأخرى كوادي الزاهر (فخ).

وتجدر الإشارة إلى أن الكثير من المشاريع قد عملت قديماً وحديثاً لتلافي أخطار السيول ولاقت نجاحاً في ذلك ، إلا أن الكثير من هذه الأعمال قد اعتمدت على التقديرات أكثر منها على الدراسات في هذا الشأن . وبناء على ذلك فقد تم اختيار هذا الموضوع للبحث والذي سيشمل دراسة موجزة عن السمات الطبيعية لمنطقة أودية الحرم المكي تتضمن أهم الخصائص الجيولوجية كالتكوينات الصخرية والصدوع، كما تشمل عرضاً لمناخ المنطقة مع التركيز على التساقط المطري الذي سيشمل أيضاً نبذة تاريخية عن الأمطار في المنطقة والسيول الناجمة عنها وتكرارية حدوثها، كما سيتم عرض شبكة تصريف أودية الحرم المكي وتحديد ما يدرس منها. أما السمات التضاريسية والشكلية لهذه الشبكة فستتم دراستها تفصيلاً إضافة إلى الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية والتي يتوقف عليها تحديد معامل الفيضان وسرعة جريان السيول عقب تساقط الأمطار.

ويتوخى هذا البحث الوصول إلى مجموعة من **الأهداف** والتي يمكن إيجازها فيما يلي:

١- إعطاء صورة واضحة ودقيقة عن السمات المورفولوجية والمورفومترية لأحواض تصريف أودية مكة المكرمة.

٢- إبراز العلاقة بين السمات المورفولوجية والخصائص المورفومترية لأحواض أودية الحرم المكي وعلاقتها بالسمات الهيدرولوجية لما لذلك من أثر واضح على سرعة استجابة هذه الأحواض في تصريف مياه الأمطار وجريان السيول وسرعة وصولها إلى المدينة المقدسة أو إلى مصباتها خارج المدينة.

٣- تشجيع الأعمال البحثية نحو المساهمة الفعالة في الأبحاث التطبيقية لما لها من دور في خدمة مشاريع التنمية.

٤- إثراء المكتبة العربية بمثل هذه الدراسات وخاصة حول منطقة الحرم المكي.

ولتحقيق الأهداف المشار إليها فقد تم وضع **طريقة عمل** اشتملت على:

١- رسم خريطة لشبكة تصريف الأودية داخل حدود الحرم المكي اعتماداً على الخرائط الطبوغرافية ١: ٥٠,٠٠٠ بعد أن تم تكبيرها إلى مقياس ١: ٢٥,٠٠٠ لتحديد خطوط تصريف الشبكة بدقة كبيرة اعتماداً على خطوط الكنتور نظراً لأن الكثير من أودية الشبكة غير موقعة على الخرائط المذكورة. كما تمت الاستعانة بالصور الفضائية للقمر الصناعي لاندسات في حالات رسم خطوط تقسيم المياه بين أحواض شبكة تصريف المنطقة المدروسة.

٢- تحديد التكوينات الصخرية اعتماداً على خرائط جيولوجية لمنطقة البحث بمقياس ١: ٢٥٠,٠٠٠ وتوقيعها على خرائط ودراسة الخصائص العامة لصخور المنطقة من خلال توزيعها في المنطقة وصلابتها وأعمارها لما له من دور في مقاومتها لعمليات التعرية.

٣- توقيع خطوط الصدوع داخل منطقة البحث حسب اتجاهاتها من خلال الخرائط الجيولوجية وصور الأقمار الصناعية نظراً لتأثيرها على رتب وأطوال المجاري المائية وأشكال أحواض الشبكة المائية.

٤- تم إجراء القياسات الخاصة بالخصائص المورفولوجية لأحواض التصريف على الخرائط المذكورة ، كمساحات الأحواض وأبعادها كالطول والمحيط ، والخصائص التضاريسية الأخرى كالقطاعات الطولية والعرضية ومناسيب الارتفاع.

٥- صنفت رتب المجاري المائية حسب طريقة ستريلر (A. N. Strahler , 1952) في التدرج الهرمي، أما في التحليل المورفومتري فقد استخدمت قوانين هورتون(A. C. Horton 1945) لاستخدامها كمؤشرات في تحديد الخصائص المورفومترية للشبكة المائية.

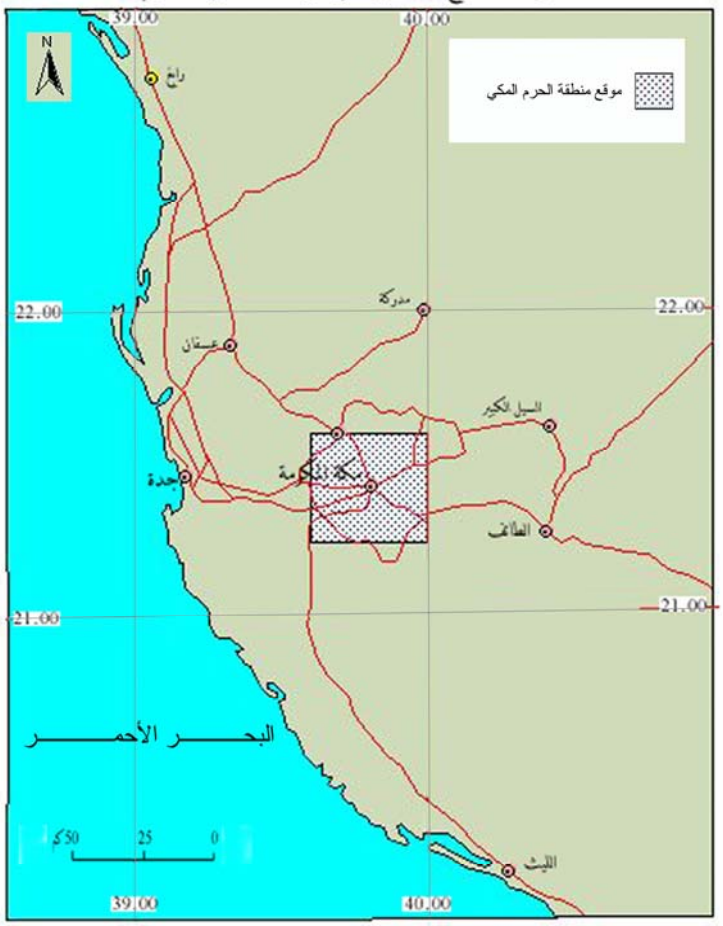
٦- استخدمت بعض القوانين الخاصة بمعامل الفيضان وسرعة الجريان اعتماداً على زمن استجابة الأحواض للجريان عقب تساقط الأمطار ومنها قانون فنتورا (Ventura) .

٧- استخدام الحاسب في تحليل ومعالجة البيانات الرقمية وتمثيلها.

أولاً- الخصائص الطبيعية لمنطقة الحرم المكي:

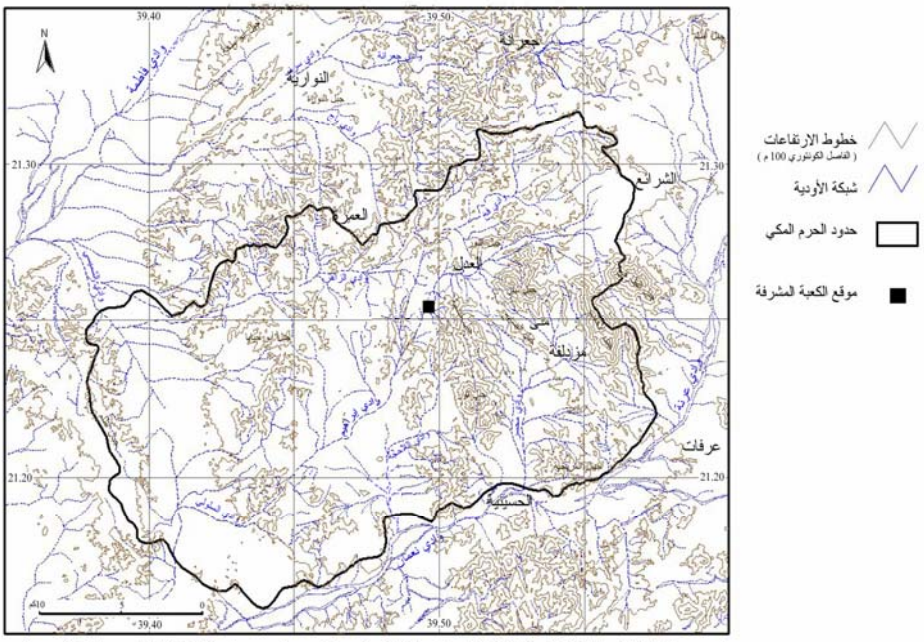
يقع الحرم المكي بين دائرتي عرض 21 16 و 21 32 شمالاً وخطي طول 39 37 و 39 56 شرقاً. ويتخذ شكل مستطيل مائل شرق الشمال الشرقي إلى غرب الجنوب الغربي، ويشغل موقعاً على خطوط تقسيم مياه المجاري الوسطى لكل من وادي فاطمة ووادي نعمان (شكل ١) ومن ثم فهي عبارة عن هضبة يصل متوسط ارتفاعها ما بين ٤٠٠ — ٦٠٠ متر، إلا أنها تزيد كثيراً في بعض المرتفعات كما في جبل الطارقي

شكل - 1 - موقع مكة المكرمة في غرب المملكة العربية السعودية



(٩٨٧ م)، وجبل أحدب (٩١٩ م) شرق وشمال شرق منطقة البحث. ويصل إلى مستويات أقل كما في جبل ثور (٧١٩ م) ، وجبل ثبير (٨١٤ م)، وجبل النور(٦٢٠ م). أما مدينة مكة المكرمة فلا يزيد متوسط ارتفاعها عن ٣٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر (شكل ٢). وتعكس تضاريس منطقة الحرم المكي تأثرها بمجموعة من العوامل المتشابكة والمتنوعة التي ساهمت بشكل أو بآخر إما ببروز وارتفاع هذه التضاريس أو بانخفاضها. ومن أهم هذه العوامل الظروف الجيولوجية المتمثلة بكل من التكوينات الصخرية والصدوع وعمليات النحت والتعرية النهرية.

شكل - 2 - الخريطة التضاريسية وشبكة الأودية لمنطقة الحرم المكي



المصدر : الخرائط الطبوغرافية مقياس 1:50000 (لوحات: مكة المكرمة ، عين شمس ، الجموم ، وادي فاطمة) 1981 م ، مع إضافة حدود الحرم من قبل الباحثين

وقد ساهمت اندفاعات الصخور النارية الباطنية الصلبة (Intrusions) بدور مهم في تحديد بعض معالم تضاريس منطقة البحث، وأدت إلى بروز جبال مكة على شكل جبال انفرادية وصلت إلى المستويات المذكورة أعلاه. كما ساهمت بالدور نفسه مجموعة من القواطع (Dikes) التي دعمت في معظمها الاندفاعات السابقة.

ولا يقل دور عمليات التعرية أهمية عن دور العوامل الجيولوجية في نشأة تضاريس منطقة الحرم المكي. ففي حين حددت العوامل المذكورة الخطوط الرئيسية للتضاريس قامت عمليات التعرية بالدور الفاعل في تشكيل المورفولوجيا الحالية للسطح في المنطقة ، حيث حوّلت هذه العمليات بطون الأودية الصدعية والأخدودية إلى أحواض واسعة ترسبت فيها الرواسب الفتانية والطينية، كما استغلت عمليات التعرية مناطق الضعف الجيولوجي ، سواء أكانت برشيا(هشيم) صدعية أو انبثاقات لصخور نارية باطنية هشة في زيادة عملها والمساهمة في تخفيض سطح المنطقة، وزيادة بروز الجبال الانفرادية الناجمة عن انبثاقات الصخور النارية الباطنية الصلبة، نتيجة لتخفيض الصخور الهشة المحيطة بها والتي تحولت إلى تلال منخفضة أو سفوح صخرية مسواة (Pediment) مغطاة بطبقة رقيقة من الرمال والطين.

أ- جيولوجية أودية الحرم المكي:

كثيراً ما تعكس جيومورفولوجية أي منطقة عادة تأثير كل من البنية الجيولوجية وعمليات التعرية السائدة في هذه المنطقة، وقد يبدو أي منهما أكثر وضوحاً من الآخر، وذلك حسب شدة هذا التأثير.

ونظـراً لوقـوع منطقـة الحـرم المكـي ضـمن إقلـيم الـدرع العربـي فقـد مـر تاريخهـا الجيولـوجي بمراحـل تطـور هـذا الـدرع الـذي يمتـد مـن عـصر مـا قبـل الكـامبري وحتـى العـصر الحـالي.[1] ممـا نجـم عنـه تعقيـد كـبير فيمـا تعرضـت لـه المنطقـة مـن أحـداث جيولوجيـة أدت إلى تنـوع كـبير في الـصخور وتـشابك في الصدوع. وزيادة في عدد المحقونات (plutons) والقواطع.

١- التكوينات الصخرية:

تـساهم التكوينـات الـصخرية بـدور هـام في تحديـد الخطـوط العريـضة لمظـاهر الـسطح بـشكل عـام وفي منطقـة الحـرم المكـي بـشكل خـاص ، نظـراً للـصلابة الـتي تتميـز بهـا صـخور المنطقـة ومقاومتهـا لعمليـات التعريـة المختلفـة، مـا أدى إلى تحديـد محـاور الكتـل الجبليـة بالاشـتراك بطبيعة الحال مع العوامل الجيولوجية الأخرى .

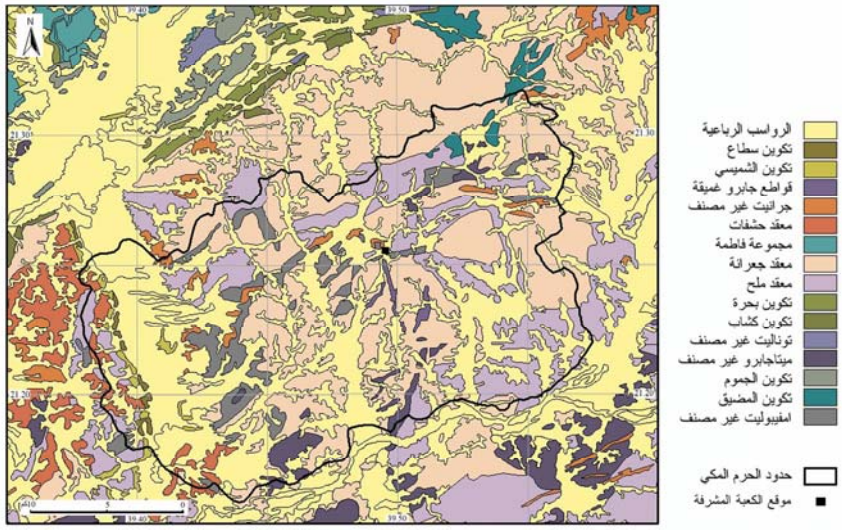
وتختلـف المجموعـات الـصخرية في منطقـة البحـث حـسب الخـرائط الجيولوجيـة الـتي تمثلـها . فـالخرائط الجيولوجيـة ١ : ٥٠٠,٠٠٠ هـي أكثـر عموميـة وأقلـها في عـدد المجموعـات الـصخرية وذلـك نظـراً لـصغر مقاييـسها (Brown, G. et al,1962) وعلـى العكـس مـن ذلـك فـإن الخـرائط كـبيرة المقيـاس ١ : ٥٠,٠٠٠ (Sahl,1987) هـي كـثيرة التفاصـيل ولا تتناسـب مـع موضوع البحث.[1]

(١) للاطلاع على المزيد من تفاصيل تطور الدرع العربي يمكن الرجوع إلى كل من:
1- Alshanti, A. M. and others 1980 . 2 – Jado, A. and Zotl, J. 1984

(١) للإطلاع على المجموعات الصخرية وأنواعها بالتفصيل في منطقة البحث يمكن الرجوع إلى مرزا والبارودي ، ٢٠٠٤ .

أما الخريطة الجيولوجية لمربع مكة ١ : ٢٥٠,٠٠٠ (Moore and Al Rehaili,1989) فتشير إلى عدد مقبول من المجموعات الصخرية تتناسب وأهداف البحث، وتنتمي إلى أزمنة جيولوجية تمتد من عصر ما قبل الكامبري وحتى الزمن الرابع (شكل ٣) .

شكل - 3 - الخريطة الجيولوجية العامة لمنطقة الحرم المكي



المصدر : Geologic map of the Makkah Quadrangle, sheet 21D,KSA,1989 مع تعديلات الباحثين

وتتوزع صخور العصر ما قبل الكامبري في منطقة الحرم المكي في المواضع التي تشغلها الكتل الجبلية والتي تشكل الهيكل العام لتضاريس المنطقة، وعلى الرغم من كونها تشكل جميعها وحدة جيولوجية واحدة وهي باثوليت مكة Makkah Batholite، إلا أنه تعرض هذا الباثوليت لصدوع عميقة أدى إلى تجدد إنبثاق الصخور النارية الباطنة على شكل محقونات Platons وقواطع تنتمي لأزمنة مختلفة ضمن عصر ما قبل الكامبري، كما أن بعضها قد انبثق خلال العصر الثلاثي مع انفتاح البحر الأحمر .

وعلى الرغم من أن باثوليت مكة يشكل هضبة مرتفعة عما حولها ، إلا أن صخوره البلورية الكتيمة (غير المنفذة للماء) قد أدت رغم صلابتها إلى زيادة معدلات التعرية على هذه الهضبة نتيجة للجريان الناجم عن ذلك ، مستغلا الصدوع والشقوق في شق مجموعة من الأودية ، وأهمها من الشمال إلى الجنوب أودية الزاهر، إبراهيم، محسر ، اللاحجة .

وتتمثل أهم أنواع الصخور السائدة في منطقة أودية الحرم المكي بالصخور النارية البلورية كالجرانيت Granite والديوريت Diorite والجرانوديوريت Granodiorite والتونالیت Tonalite وبعض الصخور المتحولة كصخور الأمفيبوليت Amphibolite أو هوامش الصخور البلورية السابقة التي تعرضت للتحول بسبب الاندفاعات الأحدث.

ويمكن إيجاز أهم التراكيب الصخرية في منطقة البحث من الأقدم إلى الأحدث على النحو التالي:

- صخور الأمفيبوليت غير المصنفة: Unassigned Amphibolite

وتوجد هذه الصخور في مواقع متفرقة داخل منطقة البحث ، وأهمها إلى الشرق من شارع الحج، وشمال طريق السيل، وإلى الشمال والشرق من المسجد الحرام، وغرب الطريق الدائري الثالث. وتظهر هذه الصخور بلون أسود أو داكن أو رمادي ونظراً لتحولها وتعريتها يشكل تضاريس منخفضة عما حولها.

- وحدات الصخور غير المصنفة طباقياً:

تتمثل هذه الصخور بوحدة الجابرو والجابرو المتحول metagabbro and gabbro ووحدة التونالیت Tonalite ، وتوجد في جنوب وشمال طريق جبل ثور، وفي جبل النور، وتخترق هذه الصخور صخور الأمفيبوليت المتحولة، وهي في الوقت نفسه

مخترقة بمعقد ملح، وتأخذ الصخور اللون الأخضر الغامق إلى الأسود، ويتبع نسيج الصخر درجة التحول التي تعرض لها.

- معقد ملح: Milh complex

تشغل صخور هذا المعقد مناطق عديدة تصل مساحاتها حوالي ١٥٪ من بانوليت مكة داخل منطقة البحث، ومن ضمن هذه المناطق المساحات المنخفضة في كل من منى ومزدلفة وحي العزيزية إضافة إلى بعض الجبال المجاورة لها كجبل الصابح الذي يفصل بين منى والعزيزية وجبال الأخشبين والمريخية.

ويتكون هذا المعقد من الديوريت والكوارتز ديوريت بشكل عام، إلا أنه قد يكون متحولاً إلى سحنات شستية خضراء. وقد تعرض هذا المعقد للتحول نتيجة للاندفاعات الباطنية الأحدث عمراً والمتمثلة في معقد جعرانه . ما أدى إلى تغير في صلابته وأصبح أقل مقاومة لعمليات التعرية، ومن ثم شكل المناطق المنخفضة في كل من منى ومزدلفة وساحة العدل. أما الأجزاء البعيدة عن الاندفاع فقد حافظت على صلابتها وشكلت المناطق الجبلية المذكورة.

- **معقد جعرانة:** Juranah Complex

يشغل هذا المعقد مساحات واسعة من منطقة البحث تصل إلى حوالي ٣٠٪ منها، وينتمي أيضاً إلى باثوليث مكة، ويشكل المعقد المناطق الجبلية المرتفعة داخل المنطقة، وخاصة قمم الجبال العالية كما هو الحال في جبال ثبير وثور والنور وأحدب وغيرها. وهو يتكون من مجموعة من الصخور الصلبة (باستثناء التوناليت) وأهمها الجرانوديوريت والكوارتز ديوريت، وقد اكتسبت هذه الصخور صلابتها من حداثتها النسبية وارتفاع

السيليكا فيها والتي تزيد عن ٥٨٪ منها.

وقد قسمت بعض الدراسات هذا المعقد إلى معقدات ثانوية وهي تونالیت منى ومعقد النور ومعقد ثبير ومعقد شب (Sahl, 1987, P. 15).

- **الرواسب الرباعية:** Quaternary Deposits

تتكون الرواسب الرباعية في أودية الحرم المكي من الحصى والرمال والطين، وتغطي مناطق واسعة، وخاصة عند المجاري الدنيا لأودية الزاهر وإبراهيم ومحسر واللاحجة. وهو ما يعني أن مواقع توزع هذه الرواسب إنما يعكس نظام شبكة التصريف في المنطقة. وتتعدد أصول ومظاهر الرواسب الرباعية بين رواسب نهرية (سيلية) في مجاري الأودية، ورواسب ريحية وسيلية في المجاري الدنيا لهذه الأودية، إضافة إلى رواسب مخاريط الفتات (Talus) التي تطوق الكثير من السفوح الجبلية، وهو ما يعني أن عمليات التعرية النهرية هي السائدة وتليها كل من عمليات التجوية وعمليات النقل والإرساب الريحي.

٢- الصدوع والشقوق والقواطع:

تحدد الصدوع الملامح التضاريسية وخاصة البنيوية منها في المناطق التي تنتشر فيها كمنطقة البحث. ومن أبرز ما تمثله في المنطقة الأخاديد والأغوار Graben والنجود Horsts والأودية الصدعية التي غالباً ما تشق مجاريها عند خطوط هذه الصدوع التي تمثل مناطق ضعف جيولوجي نظراً لعملية الهرس المصاحبة لخط الصدع.

ولا توجد صعوبة عادة في الكشف عن مواقع هذه الصدوع نظراً إلى أن شبكات تصريف أودية المنطقة إنما تعكس في معظم الحالات

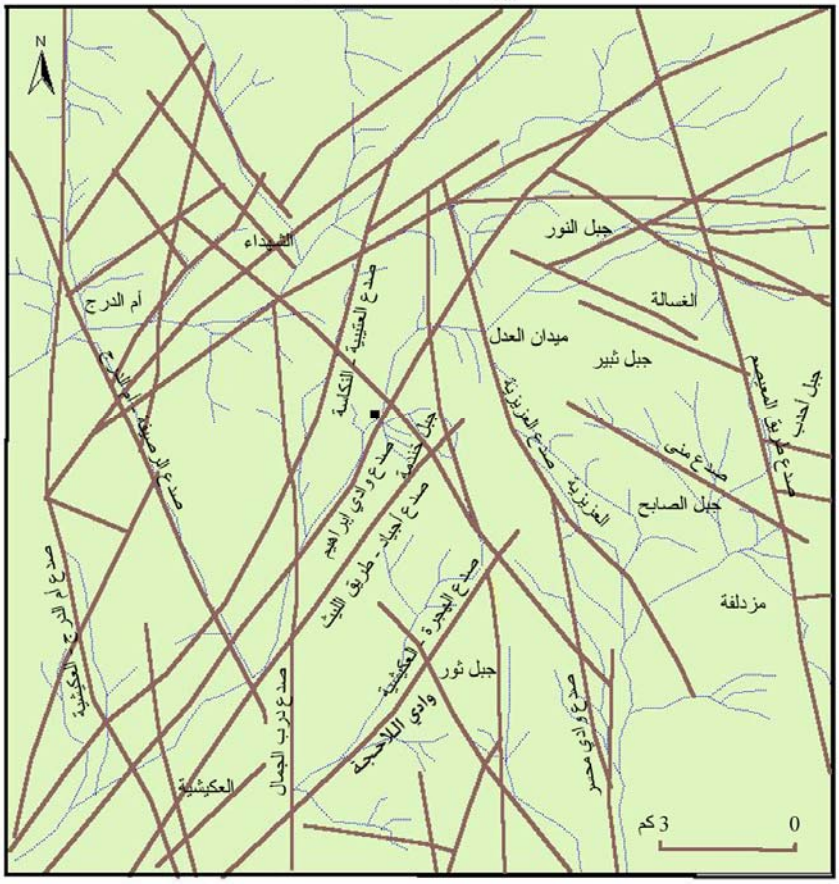
مواقع خطوط الصدوع حيث تشير الأودية المستقيمة لمسافات طويلة إلى هذه الخطوط.

ويمكن تتبع الصدوع الرئيسية في المنطقة من خلال خريطة الصدوع (شكل ٤) والذي تبين أن أهم هذه الصدوع هو صدع وادي إبراهيم الذي يمتد من جعرانه ماراً بوادي إبراهيم نحو الجنوب الشرقي، وهو من أكبر صدوع المنطقة، ويليه صدع العتيبية – النكاسة الذي يمتد موازياً لشارع المنصور. وصدع المعيصم الذي يمتد من الشمال إلى الجنوب حتى العوالي، ويتعامد عليه مجموعة من الصدوع التي ساهمت في نشأة وادي منى ومزدلفة. وأخيراً هناك مجموعة من الصدوع التي ساهمت في نشأة عدد من الأودية كما هو الحال في صدع العزيزية – وادي محسر، وصدع الهجرة – العكيشية والذي يوازي وادي اللاحجة، ويتقاطع مع صدع درب الجمال.

وتشير الدراسات التي أجريت لهذه الصدوع إلى أن الاتجاهات الشمالية الشرقية وشرق الشمال الشرقي المتعامد على اتجاه البحر الأحمر يعود لعصر ما قبل الكامبري، أما صدوع شمال الشمال الغربي الموازية لاتجاه البحر الأحمر فهي معاصرة لانفتاح هذا البحر، ومن ثم تعود للزمن الثالث الجيولوجي. وقد استدل على ذلك من خلال قواطع الجابرو الثلاثية التي تملأ صخور الدرع العربي. وتتوافق هذه الصدوع مع ظاهرة خطية من صخور اندفاعية ملأت كثيراً من الشقوق خلال فترة التمدد الثانية لحوض البحر الأحمر (مرزا والبارودي، ٢٠٠٤) وتتمثل هذه الظاهرة في القواطع التي تنتمي لمعقد غميقة الثلاثي.

وتلعب القواطع عادة دوراً هاماً في صلابة الوحدات الصخرية التي تخترقها، فهي إما أن تساعدها على مقاومة عمليات التعرية أو أنها تساعد هذه العمليات على إزالة التضاريس الموجودة، ويتوقف ذلك على صلابة هذه القواطع والتي يتحكم فيها عادة تركيبها الصخري ومدى تشققها وعمرها واتساعها وميولها.

شكل - 4 - خريطة شبكة الأودية وعلاقتها بالصدوع
في مدينة مكة المكرمة



المصدر: Sahl , M , 1987 , مع تعديلات الباحثين

وترجع معظم القواطع في منطقة البحث إلى عصر ما قبل الكامبري، ويتراوح تركيبها بين الفلسية Felsic (الحامضية) وتبدو بلون فاتح والمافيه Mafic (القاعدية) وتبدو بلون داكن، ويتوقف ذلك على زيادة نسبة الكوارتز أو المعادن الفلزية كالحديد والمغنزيوم.

أما الشقوق فتنتشر في معظم الصخور المكشوفة في منطقة البحث، إلا أنها تزيد بشكل واضح في أنواع خاصة دون غيرها. وتتباين الشقوق في المنطقة سواء في أسباب نشأتها أو اتجاهها، وعلى الرغم من وجود اتفاق عام على أسباب النشأة والتي تتمثل في تحرر الصخر من الضغط الواقع عليه، أو نتيجة لعملية الانكماش الناجمة عن التبرد أو أنها نشأت كاستجابة من الصخر للصدوع العادية التي حدثت في المنطقة، إلا أن الرأي الأخير أكثر قبولاً نظراً لأن الكثير منها مجاور للخطوط الصدعية في المنطقة.

وتشير الدراسة التي أجريت على هذه الشقوق أن أعلى النسب المئوية لفئات الاتجاه كانت نحو شرق الشمال الشرقي، ثم الشرق، وأخيراً شمال الشمال الغربي (مرزا والبارودي ٢٠٠٤).

وتزداد الشقوق بشكل واضح في معقد جعرانه، وتمثل ما نسبته ٨٥٪ من شقوق منطقة الحرم المكي، بينما تقل هذه الشقوق في المعقدات الأخرى كمعقد ملح وغالباً ما تكون الشقوق فيه متقاطعة الاتجاه نظراً لتأثرها بعدة حركات تكتونية نتيجة لقدم المعقد.

وأخيراً تلعب الشقوق دوراً هاماً في نشأة العديد من الأودية الصغيرة والروافد نظراً لكونها مناطق ضعف للصخور النارية، ويمكن أن تساهم في نشاط التعرية السطحية بشكل فعال سواء عن طريق التفكك (التجوية) أو عن طريق الجريان السطحي، ومن ثم فإن للشقوق دور فاعل في نشأة شبكة التصريف النهري في منطقة البحث.

ب- طبيعة المناخ في أودية الحرم المكي:

على الرغم من تشابك العديد من العوامل المؤثرة في مناخ منطقة مكة المكرمة رغم ما قد يظهر من بساطة هذه العوامل للوهلة الأولى، إلا أنه يمكن

القول أن أهمها يتمثل في الجبهة المدارية لالتقاء الرياح I.T.C.Z التي تتزحزح شمالاً وجنوباً بين فصلي الصيف والشتاء متأثرة بمراكز الضغط الجوي المحيطة بالمنطقة. كما تساهم تضاريس مكة المكرمة بدور لا يقل أهمية عن ذلك، وخاصة في تباين عناصر المناخ المختلفة بين موقع وآخر داخل منطقة البحث. وبما أن الدراسة التفصيلية لعناصر المناخ في المنطقة لا تخدم أهداف البحث فإنها ستقتصر على دراسة عناصر الأمطار والرياح والحرارة لما لها من دور بارز في الخصائص الهيدرولوجية لأودية المنطقة.

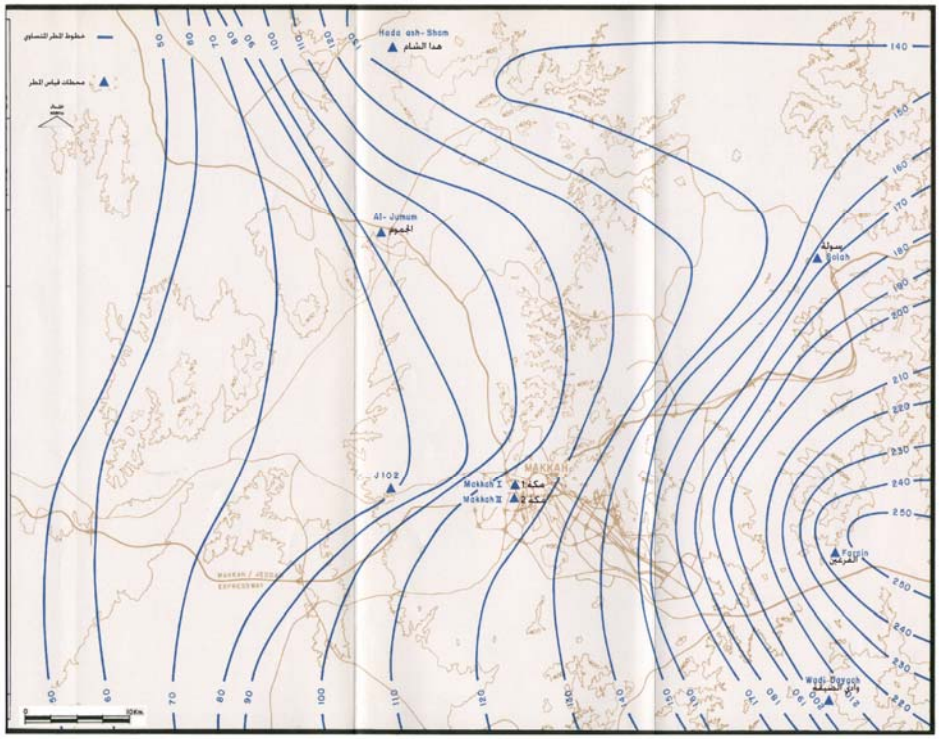
١- *الأمطار:*

تعتمد سجلات الأمطار في مكة المكرمة على ثلاث محطات أولها محطة الحرم المكي منذ عام ١٩٨٠ والثانية محطتها الرئيسية في أم الجود منذ عام ١٩٨٠، وقد أضيفت إليها أرصاد محطة جامعة أم القرى منذ العام ١٩٨٥، وعلى الرغم من أن المتوسطات قد حسبت من جميع المحطات إلا أن هناك تباين كبير بين محطتي أم الجود وأم القرى رغم وقوعهما عند منسوب واحد تقريباً ولا يزيد عن ٣٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر، حيث تقع الأولى غرب مدينة مكة المكرمة، بينما تقع الثانية في العزيزية جنوب شرق مكة.

ويرجع هذا التباين إلى تأثير اتجاهات محاور الكتل الجبلية على كميات الأمطار الساقطة عليها، فقد تسقط الأمطار في أم الجود بينما تكون أم القرى بالعزيزية جافة تماماً والعكس صحيح، وهو الأمر الأكثر شيوعاً رغم أنه قد تسقط الأمطار على كامل المدينة المقدسة ومع ذلك تتباين قيمها، ويرجع السبب في ذلك إلى ما ذكر عن اتجاهات محاور الكتل الجبلية التي قد تساير اتجاهات الرياح أو تعترضها ومن ثم تمثل الكتل الجبلية في منطقة البحث جزراً مطرية تزداد فيها كثيراً معدلات الأمطار عن غيرها من المناطق المنخفضة كتلك التي توجد بها

محطتي أم الجود وأم القرى اللتان لا تعكسان المعدلات الحقيقية لأمطار هذه الجبال (شكل ٥).

شكل - 5 - خريطة خطوط المطر المتساوي لمنطقة الحرم المكي



ويمكن القول أن أمطار مكة المكرمة عموماً إنما تعكس ظروف المناخ الصحراوي، الذي يتصف بالتباين الكبير في كميات التساقط، وفي توزيع التساقط، سواء التوزيع السنوي أم الفصلي أم الشهري، إضافة إلى تميزها بالفجائية والكثافة العالية التي تؤدي غالباً إلى حدوث فيضانات عارمة وكوارث بشرية.

وتشير الأرصاد التي تمت لأكثر من ٣٠ عاماً مضت ١٩٦٦- ١٩٩٨ م إلى أن متوسط الأمطار السنوي يزيد قليلاً عن ١٠٠ ملم، إلا أن هذه الكمية لا تعتبر مؤشراً حقيقياً للأمطار في مكة المكرمة حيث نلاحظ أن بعض السنوات قد انحرفت قيمها كثيراً عن المتوسط سواء نحو الزيادة أم النقصان (جدول ١)، ففي عام ١٩٦٩ وصلت كمية الأمطار الساقطة ٣١٨,٥ ملم، وهو أعلى كمية خلال مدة التسجيل بينما نجد أن كمية الأمطار الساقطة في عام ١٩٧٤ لم تتجاوز ١٤,٧ ملم . ومما يشير إلى هذا التذبذب في كميات الأمطار أن الانحراف عن المعدل (المتوسط) كبير جداً سواء كان نحو الانحراف السالب أو نحو الانحراف الموجب، بينما وصل الانحراف المعياري إلى ٧٢,١٦٢، وأما معامل التغير فقد وصل إلى ٧٠,٧٪ وهو ما يشير ويؤكد التذبذب الكبير للأمطار في منطقة مدينة مكة المكرمة.

وترتبط عملية تذبذب الأمطار في مكة المكرمة بنوعية الأمطار الساقطة، وذلك حسب العوامل المؤدية إلى تساقطها، وهي تتنوع بين أمطار تصاعدية – تضاريسية وأخرى إعصارية.وعادة ما تسقط الأمطار التصاعدية صيفاً ، بينما تسقط الأمطار الإعصارية في كل من الشتاء والربيع وهي أكبر كمية من الأمطار الصيفية التي تكون محلية الحدوث ومرتبطة بالسحب الركامية المحلية المنشأ والتي تسقط عادة على الأطراف الشرقية لمدينة مكة المكرمة

الأرقام القياسية للتساقط والجريان في مكة المكرمة والمشاعر المقدسة:

لا تعكس متوسطات الأمطار الساقطة على مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة والتي تصل حوالي ١٠٠ملم/سنة والمسجلة خلال العقود الثلاثة الماضية منذ عام ١٩٦٦م . الحالة الحقيقية للأمطار في هذه المنطقة وعادة ما تخفي المتوسطات شذوذات كبيرة في التساقط كما أنها في نفس الوقت تشمل سنوات تقل فيها الأمطار عن المتوسط بشكل كبير .

وما يهمنا في هذه الحالة هو تلك الشذوذات الكبيرة في التساقط والتي غالباً ما ينجم عنها سيول مدمرة أزهقت العديد من الأرواح عبر التاريخ منذ فجر الإسلام .

وبما أن بداية تسجيل التساقط في مكة المكرمة لا يتعدى بضع عشرات السنين ، فسوف يتم استعراض حالة الجريان المسجلة لوادي إبراهيم في مكة المكرمة تاريخياً باعتبار السيول الكارثية كمؤشرات على الشذوذات الكبيرة في التساقط المطري لهذه المنطقة .

وتشير بعض الدراسات التي تناولت السيول التاريخية في مكة المكرمة والمشاعر المقدسة (شومان ، سامر أحمد ، ١٤١٨هـ) إلى حدوث ١١١ سيلاً بين عامي ١٧ وحتى عام ١٣٩٤هـ ، وقد ربطت الدراسة بين ارتفاع منسوب السيول حول الكعبة المشرفة وشدتها والمرتبطة بتساقط الأمطار في حوض وادي إبراهيم .

وقد قسمت الدراسة السيول إلى ثلاث مستويات : حيث تكررت سيول الدرجة الأولى والأكثر ارتفاعاً (العرمة) مرة كل ٤٦ عاماً ، بينما تكررت سيول الدرجة الثانية والأقل ارتفاعاً مرة كل ٣٣ عاماً ، أما سيول الدرجة الثالثة فقد تكررت كل ١٣ عاماً . ويرى كل من (مرزا وأحمد ، ٢٠٠١) أن السيول العرمة تنشأ من الأمطار الفجائية التي تتسم بها المناطق الصحراوية . وقد حدث آخر سيل من هذا الحجم في عام ١٩٦٩ميلادية الموافق لعام ١٣٨٨هجرية ومن الممكن تكرار مثل هذا السيل خلال السنوات العشر القادمة وهو ما قد يمثل خطورة على الحجاج في المشاعر المقدسة (مرزا و أحمد ، ٢٠٠١ ، ص ٧٨) .

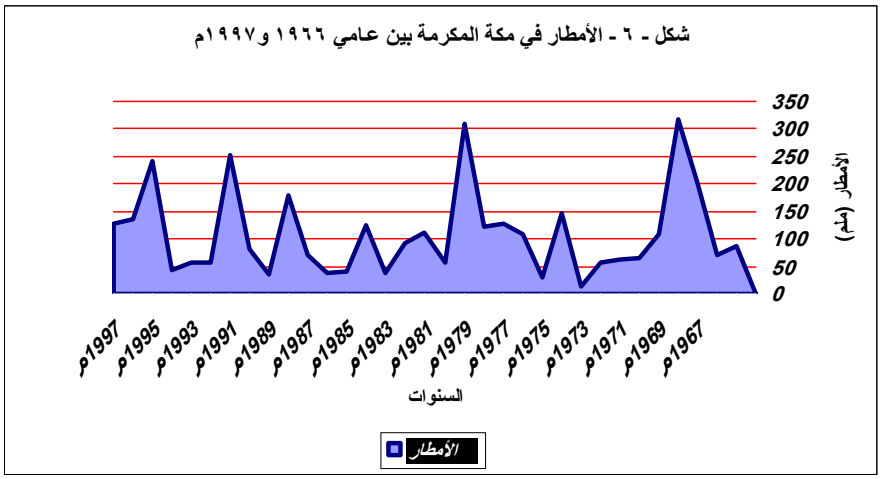
أما كميات الأمطار المسجلة حديثاً بعد إنشاء محطات الرصد المناخي في كل من أم الجود (١٩٨٠ – ١٩٨٨) و جامعة أم القرى (١٩٨٥ – ١٩٩٨) فتشير إلى وجود سنوات قفزت فيها الأمطار إلى ما فوق المعدل بكثير (جدول ١)

جدول رقم (١) الكميات السنوية للأمطار في مكة المكرمة بين عامي ١٩٦٦ – ١٩٩٨م.

السنة	الأمطار	الانحراف عن المعدل		ملاحظات
		موجب	سالب	
١٩٦٦	٨٦,٤		١٣,٩	
١٩٦٧	٦٩,٩		٣٠,٤	
١٩٦٨	٢٠٢,٠	١٠١,٧		**المعدل = ١٠٠,٣**
١٩٦٩	٣١٨,٥	٢١٨,٢		
١٩٧٠	١٠٨,٨	٨,٥		
١٩٧١	٦٤,٦		٣٥,٧	**الوسيط = ٨٢,٠**
١٩٧٢	٦٢,٤		٣٧,٩	
١٩٧٣	٥٧,٠		٤٣,٣	
١٩٧٤	١٤,٧		٨٥,٦	**الانحراف المعياري = ٧٢,١٦٢**
١٩٧٥	١٤٧,٨	٤٧,٥		
١٩٧٦	٢٩,٨		٧٠,٥	
١٩٧٧	١٠٩,٨	٩,٥		
١٩٧٨	١٢٨,٣	٢٨,٠		**معامل التغير = ٧٠,٧ ٪**
١٩٧٩	١٢٢,٥	٢٢,٢		
١٩٨٠	٣٠٨		٩٦,٥	
١٩٨١	٥٧,٩		٤٢,٤	
١٩٨٢	١١١,٠	١٠,٧		
١٩٨٣	٩٢,٧		٧,٦	
١٩٨٤	٣٨,٣		٦٢,٠	
١٩٨٥	١٢٣,٥	٢٣,٢		

السنة	الأمطار	الانحراف عن المعدل		ملاحظات
		موجب	سالب	
١٩٨٦	٤٠,١		٦٠,٢	
١٩٨٧	٣٦,٩		٦٣,٤	
١٩٨٨	٧٠,٩		٢٩,٤	
١٩٨٩	١٨٠,٢	٧٩,٩		
١٩٩٠	٣٥,٢		٦٥,١	
١٩٩١	٨٢,٠		١٨,٣	
١٩٩٢	٢٥٢,٩	١٥٢,٦		
١٩٩٣	٥٦,١		٤٤,٢	
١٩٩٤	٥٨,٠		٤٢,٣	
١٩٩٥	٤٣,٣		٥٧,٠	
١٩٩٦	٢٤٠,٤	١٤٠,١		
١٩٩٧	١٣٤,٩	٣٤,٦		
١٩٩٨	١٢٧,٨	٢٧,٥		

حيث يشير الجدول إلى ١٣ سنة زادت فيها كميات الأمطار عن ١٠٠ملم ، ويشير إلى أربع سنوات زادت فيها كميات الأمطار عن ٢٠٠ملم وإلى سنتين زادت فيها الأمطار عن ٢٥٠ملم . وقد نشأت نتيجة لذلك سيول عنيفة تناسب شدتها والكميات المتساقطة . وإذا ما علمنا أن هذه الكميات للأمطار إنما تمثل المناطق السهلية المنخفضة لمحطتي أم الجود وأم القرى يتبين لنا مدى الزيادة في كميات الأمطار الساقطة على جبال المنطقة والتي لا توجد فيها محطات أرصاد (شكل ٥ ، ٦) .



وتجدر الإشارة إلى أن كميات الأمطار السنوية الساقطة على منطقة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة لا تعتبر مؤشراً على حدوث الجريان ونشأة السيول . وترتبط الأخيرة بمجموعة من العوامل ، كشدة التساقط واستمراريته وحجم حوض التصريف وشكله ، إضافة إلى نوعية الصخور داخل الحوض . وعلى سبيل المثال فإن ما حدث من تساقط للأمطار يوم ١٣٨٨/١١/٤هـ الموافق ١٩٦٩/١/٢٢م والبالغ ٢٤٠ملم اعتماداً على محطة أرصاد الحرم المكي ، وتسببت في سيل عرم اجتاح وادي إبراهيم والحرم المكي ، فإن هذه الأمطار التي سقطت خلال ثلاث ساعات في ذلك اليوم تشبه في نتائجها الأمطار التي سقطت على حوض وادي محسر في كل من منى ومزدلفة والعزيزية في يوم الأربعاء ١٤٢٣/١/٢٧هـ الموافق ٢٠٠٢/٤/١٠م ، على الرغم من أنها لم تتجاوز ١٥٠ملم ، إلاّ أن هذه الأخيرة قد تركزت خلال ساعتين ونصف بعد ظهر ذلك اليوم . وقد أدت إلى سيول عارمة في كل من المناطق المذكورة . ورغم أن هذا القياس للأمطار هو ما سجلته محطة أم القرى إلاّ أن الأمطار تزيد كثيراً وبلا شك في منطقة الحوض الأعلى لوادي محسر كسفوح جبال الأحدب المشرف على مزدلفة وجبال ثبير والصابح المشرفة على كل من منى

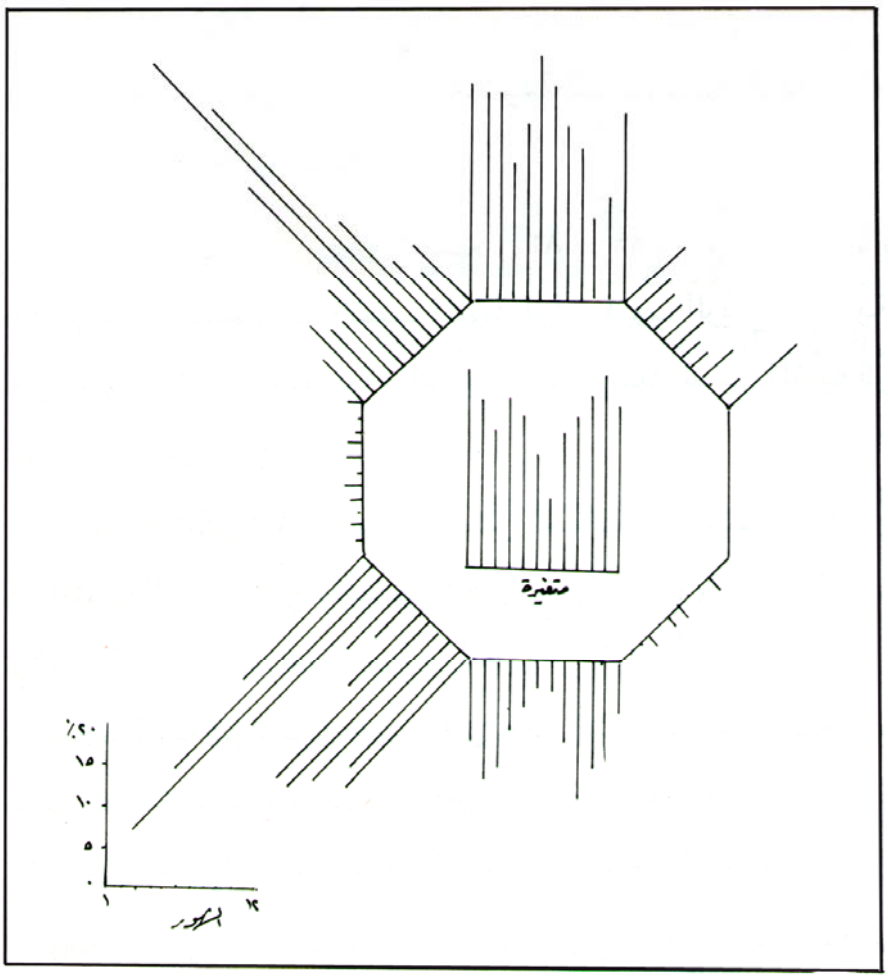
والعزيزية على التوالي . وهي المناطق التي تركزت فيها العاصفة المطرية . وعلى العكس من ذلك المناطق الواقعة على هوامش هذه العاصفة كما في محطة أم الجود التي سجلت ١٥ملم من المطر فقط . وقد نجم عن هذه العاصفة المطرية كمية تساقط وصل حجمها إلى ١٠,٠٥٠,٠٠٠م٣ فوق حوض وادي محسر لوحده . وكيف يمكن تصور الحال فيما لو تكررت حالة تساقط الأمطار بالكمية السابقة في حوض وادي إبراهيم والتي تزيد كمياتها بمقدار ما يقرب من ٤٠٪ عن الأمطار الحالية . فقد وصل الحجم الكلي للأمطار الساقطة على أحواض الحرم المكي ٤١مليون متر مكعب، منها ١٥مليون متر مكعب على الحوض الأعلى والأوسط لوادي إبراهيم و١٤مليون متر مكعب على الحوض الأعلى والأوسط لوادي الزاهر(مرزا، ١٤١٨). مما يعطي انطباعا عن الحجم الهائل للجريان الذي تم في تلك الفترة.

٢- *الضغط الجوي والرياح وعلاقتها بالتساقط:*

تتأثر حركة الرياح وسرعتها عادة بمراكز الضغط الجوي المحيطة في أي منطقة من المناطق، وفي مكة المكرمة يزداد تأثر حركة الرياح ، بالإضافة إلى ذلك بامتداد محاور الكتل الجبلية التي تعيق وتغير سرعة واتجاه هذه الرياح ، وهو ما يجعلها رياح محلية تبدو وكأنها لا ترتبط في اتجاهاتها بهذه المراكز ومن ثم فقد انعكس ذلك على قيم اتجاهات الرياح السطحية لمحطة رصد أم الجود غرب مدينة مكة المكرمة، وهي تشير إلى سيادة الرياح الشمالية بنسبة ٣٥٪ والرياح المتغيرة الاتجاه بنسبة ١٩٪ والرياح الجنوبية بنسبة ١٨٪ والرياح الجنوبية الغربية بنسبة ١٥٪ والشمالية الغربية بنسبة ١٠٪ وتشكل النسب الباقية الرياح الشمالية الشرقية والرياح الغربية (شكل ٧) أما سرعة الرياح في مكة المكرمة فهي بطيئة طوال العام ولا يزيد معدلها الشهري عن ٤,٥ عقدة / ساعة . لكنها تزداد في الأيام

العاصفة لتصل ٣٦ عقدة / ساعة . لتعود إلى هدوئها المعهود نتيجة للعوائق والاحتكاك بتضاريس المنطقة.

شكل – 7 – وردة اتجاه الرياح في مدينة مكة المكرمة (الفترة من 1983 - 1988)



وترتبط سرعات الرياح العالية عادة في منطقة مدينة مكة المكرمة بالظروف الجوية الشاذة والتي تفعلها مراكز الضغط الجوي الإقليمية المحيطة بالمنطقة والمملكة والتي تتسبب غالباً بسقوط الأمطار الشتوية منها والربيعية. إلا أن بعض سرعات الرياح العالية قد تنشأ نتيجة لتشكل بؤر محلية سطحية للضغط المنخفض نتيجة لعمليات التصاعد مما يؤدي إلى جذبها للرياح السطحية وإثارة الغبار قبل تساقط الأمطار التصاعدية المحلية والتي غالباً ما تحدث خلال نهاية فصل الصيف في الأطراف الشرقية لمدينة مكة المكرمة. وتسقط الأمطار الشتوية القوية عادة عند التقاء منخفضات البحر المتوسط إلى شبه الجزيرة العربية ويتصادف ذلك مع التحام التيار النفاث شبه المداري مع التيار النفاث القطبي مما يؤدي إلى حالة من عدم الاستقرار وتعميق منخفضات البحر المتوسط التي تتقدم بدورها حتى جنوب الجزيرة العربية وبالذات غرب المملكة العربية السعودية حيث تلتحم مع منخفض السودان لتشكل منخفضاً أخدودياً ضخماً يمتد من شرق ووسط السودان نحو الشمال الشرقي مروراً بالمنطقة الغربية والوسطى والشرقية للمملكة يحدده نطاقان من الضغط المرتفع يمتد أحدهما من الصحراء الكبرى وشمال البحر الأحمر والآخر جنوب الربع الخالي وإيران، وتتجابه فيه الرياح الجنوبية الغربية الدافئة والرطبة (منخفض السودان) مع الرياح الباردة القادمة من منخفضات البحر المتوسط. وتلعب سرعة الرياح دوراً مهماً في تحديد كميات التساقط عند حدوث الحالة المشار إليها فكلما زادت سرعتها نحو الشمالي الشرقي قلت كميات الأمطار الساقطة على المنطقة الغربية عموماً ومنها منطقة البحث والعكس صحيح بمعنى أنه في حال تباطؤ سرعة الرياح وثبات حالة الطقس لفترة أطول زادت كمية الأمطار.

٣- *الحرارة:*

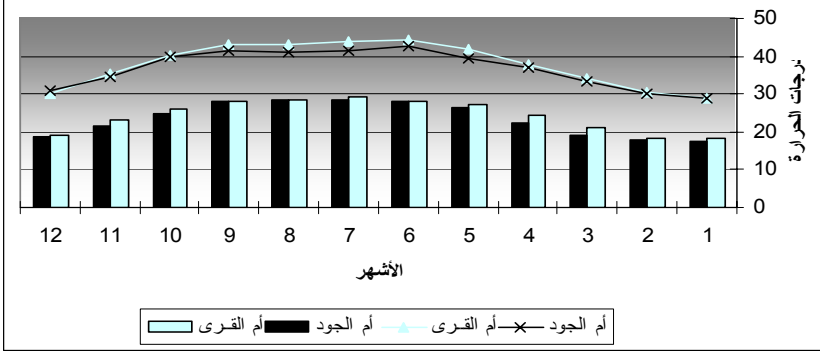
يعد عنصر ا لحرارة من أهم العناصر المؤثرة في القيمة الفعلية للتساقط ، نظراً لما تقوم به درجات الحرارة العالية منها في عمليات التبخير للأمطار الساقطة والتقليل من فعاليتها. وعلى الرغم من أهمية هذا العنصر في دراسة مناخ أي منطقة من المناطق ، إلا أن ذلك يتوقف على الهدف من هذه الدراسة. ففي الدراسة الحالية فإن تأثير عنصر الحرارة على الجريان وخاصة المرتبط منه بالأمطار الكثيفة خلال العواصف المطرية التي لا تدوم أكثر من ساعات معدودة هو تأثير محدود لا يتعدى القيمة الحقيقية للتبخر في خلال هذه الساعات – إلا أن الدور الفعال الذي تلعبه تغيرات درجات الحرارة يتمثل في مساهمتها بكل من عمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية والتي تهيئ سطح المنطقة لعمليات النحت والنقل التي تتم على نطاق واسع خلال وعقب تساقط الأمطار وجريان السيول ، وتملأ بطون الأودية بكميات ضخمة من الرواسب لا يمكن تخيلها في المناطق الصحراوية على وجه الخصوص.

وعلى الرغم مما تتميز به درجات الحرارة في منطقة أودية الحرم المكي من ارتفاع طوال العام حسب ما يشير إليه المتوسط السنوي لدرجات الحرارة(٣٠ درجة مئوية) [1] ومتوسط درجات الحرارة العظمى والدنيا (٣٦,٧ و٢٣,٤ درجة مئوية على التوالي) (شكل ٨) ، إلا أن القيم المتطرفة لدرجات الحرارة والمدى الحراري الفصلي واليومي هما الأكثر أهمية في هذه الدراسة. وعادة ما تخفي متوسطات درجات الحرارة قيماً عالية فقد سجلت محطة جامعة أم القرى في حي العزيزية درجة حرارة قصوى وصلت ٥٢ درجة مئوية في شهر يوليو بينما سجلت المحطة ذاتها درجة حرارة دنيا وصلت ٩,٥ درجة مئوية في شهر فبراير (شكل٩)، ويمكن ربط درجات الحرارة القصوى في مكة المكرمة بسيطرة منخفض الهند الموسمي خلال فصل

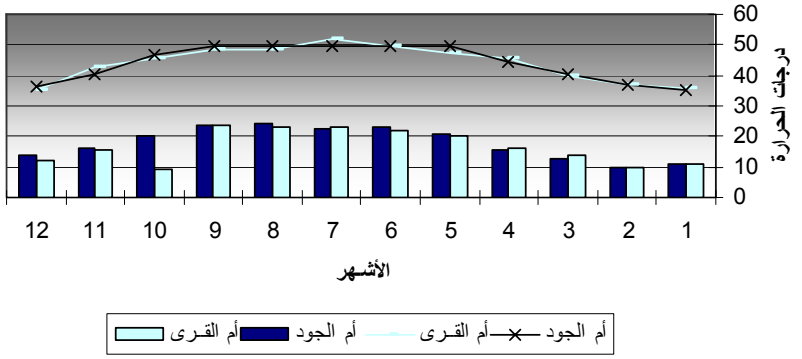
(١) المقصود محطة أم الجود في مكة المكرمة إذا لم يذكر في النص غير ذلك.

الصيف، حيث تهب الرياح على المدينة من شمالي الشمال الشرقي قادمة من صحاري وسط آسيا، إضافة إلى ذلك فإن عمليات التسخين والإشعاع الأرضي تصل إلى ذروتها خلال أشهر الصيف نتيجة لتعامد أشعة الشمس مرتين على مكة المكرمة. أما درجات الحرارة الدنيا فيمكن ربطها بتسلل موجات الهواء البارد القادمة من الشمال و الشمالي الشرقي والتي تصل حتى خط الاستواء أحياناً قادمة من المرتفع الجوي السيبيري في وسط آسيا.

شكل ٨ متوسطات درجات الحرارة العظمى و الدنيا بمحطتي أم القرى و أم الجود



شكل ٩ درجات الحرارة القصوى و الدنيا بمحطتي أم القرى و أم الجود



كما لا يقل المدى الحراري الفصلي أهمية عن القيم المتطرفة لدرجات الحرارة فقد وصل المتوسط الشهري لدرجات الحرارة العظمى ٤٢,٥ مئوية صيفاً بينما وصل المتوسط الشهري لدرجات الحرارة الدنيا ١٧,٦ درجة مئوية شتاء (جدول٢).

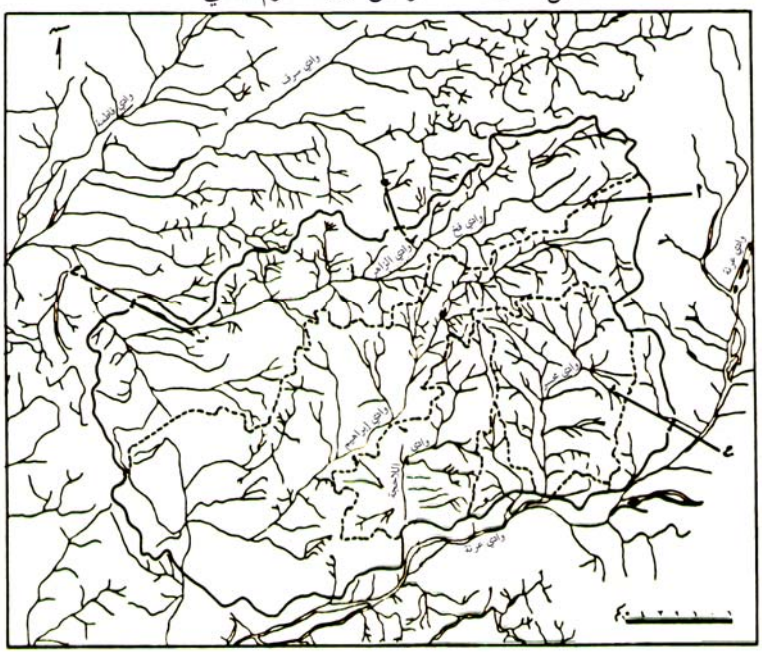
جدول رقم (٢) المتوسطات الشهرية لدرجات الحرارة القصوى والدنيا في محطتي أم الجود وأم القرى

الشهر	العظمى		الصغرى		المعدل		المدى		أقصى العظمى		أدنى الصغرى	
	أم الجود	أم القرى	أم الجود	أم القرى	أم الجود	أم القرى	أم الجود	أم القرى	أم الجود	أم القرى	أم الجود	أم القرى
يناير	28.9	29	17.6	18.1	23.3	23.5	11.3	11.9	35.4	35.5	11	11
فبراير	30	30.3	17.8	18.1	23.9	24.2	12.2	12.1	37.2	37	10	9.8
مارس	33.4	34	19.1	21.2	26.2	27.6	14.3	12.8	40.4	39.8	12.6	14
أبريل	36.8	38	22.2	24.4	29.5	31.2	14.6	13.6	44.4	45.5	15.6	16
مايو	39.6	41.7	26.4	27.4	33	34.5	13.1	14.3	49.4	47.5	20.6	20
يونيو	42.5	44.3	28	28.2	35.3	36.2	14.5	16.1	49.8	49.8	23	22
يوليو	41.3	44.1	28.3	29.1	34.8	36.6	13	15.9	49.8	52	22.6	23
أغسطس	41	43.2	28.3	28.6	34.7	35.9	12.7	14.7	49.6	48.5	24	23
سبتمبر	41.6	43	28.1	28.2	34.8	35.6	13.5	14.8	49.4	48.5	23.6	23.6
أكتوبر	39.7	40.4	24.7	26.1	32.2	33.2	15	14.3	46.8	45.5	20.4	9.5
نوفمبر	34.5	35.4	21.7	23.2	28.1	29.3	12.8	12.2	40.2	42.5	16	15.8
ديسمبر	30.9	30.2	18.7	19.1	24.8	24.7	12.2	11.1	36.2	35	13.8	12
السنوي	36.7	37.8	23.4	24.3	30	31	13.3	13.5	49.8	52	10	9.5

جـ- شبكة تصريف أودية الحرم المكي:

كان لباثوليث مكة الذي يعلو على شكل هضبة تحتل منطقة خط تقسيم المياه بين حوضين كبيرين وهما حوض وادي فاطمة شمالاً وحوض وادي نعمان جنوباً دوراً رئيسياً في تحديد حدود الحرم المكي الشريف، بحيث لا تخترق أودية الحل هذه الهضبة المرتفعة التي تمثل حدود هذا الحرم وإنما تلتف حولها من الشمال والشرق والجنوب (مرزا والبارودي، ٢٠٠٤) ونتيجة لذلك فقد نشأت أودية الحرم المكي ضمن الحدود المذكورة، وتتمثل هذه الأودية بأربعة أحواض رئيسية تصرف مياه المنطقة وهي من الشمالي إلى الجنوب أودية الزاهر وإبراهيم ومحسر واللاحجة. بالإضافة إلى مجموعة من الأحواض الثانوية التي تصرف مياه بعض الأودية غرب المنطقة وأهمها وادي الوسيق– الشميسي، ووادي العوينة– المنصورية .إضافة إلى بعض الأودية الصغيرة جنوب المنطقة كوادي الحسينية ووادي المريخية ووادي الشعراء من الشرق(شكل١٠) ولما كانت هذه الأودية لا تؤثر على الجريان في المنطقة ولا تساهم فيه كثيراً سواء لصغر أحواضها أو لوجودها على أطراف حدود الحرم المكي حيث المجاري الدنيا للأودية الرئيسية فقد تم استبعادها من الدراسة الحالية. واقتصرت على أحواض الأودية الرئيسية لمنطقة الحرم المكي والتي تؤثر فيضاناتها بشكل مباشر على سكان مكة المكرمة وعلى حجاج بيت الله الحرام في مكة والمشاعر المقدسة.

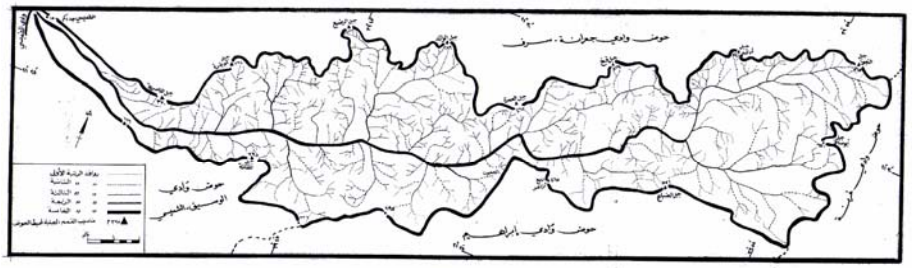
شكل - 10 - أحواض أودية الحرم المكي



١- حوض وادي الزاهر:

تستمد المجاري العليا لحوض وادي الزاهر مياهها من السفوح الجنوبية لمجموعة من القمم الجبلية في شمال الحوض وأهمها من الشرق إلى الغرب جبل النجوا(٥٦٥م)، وجبل أم السلم (٥٢١م)، وجبل فخ (٥٧٢م) وتمثل هذه القمم خط تقسيم المياه بين حوض وادي الزاهر وحوض وادي جعرانة– سرف الذي يصب في وادي فاطمة (شكل ١١) أما من الشرق فإن المجاري العليا لوادي الزاهر تصرف مياه السفواح الغربية لجبل أبو صافية (٦٧٠م) وجبل الوديعة (٥١٤م) وتمثل قممها خط تقسيم المياه بين حوض وادي الزاهر(الذي يعتبر جزءاً من حوض وادي فاطمة) والمجاري العليا لوادي عرنة (الذي يعتبر جزءاً من حوض وادي نعمان). أما من الجنوب فتفصل

مجموعة من القمم الجبلية بين حوض وادي الزاهر شمالاً وحوض وادي إبراهيم جنوباً وأهم هذه القمم جبل الضباع (٥٥١م) وجبل النور (٦٢٥م) وربع أذاخر (٤٦٥م).



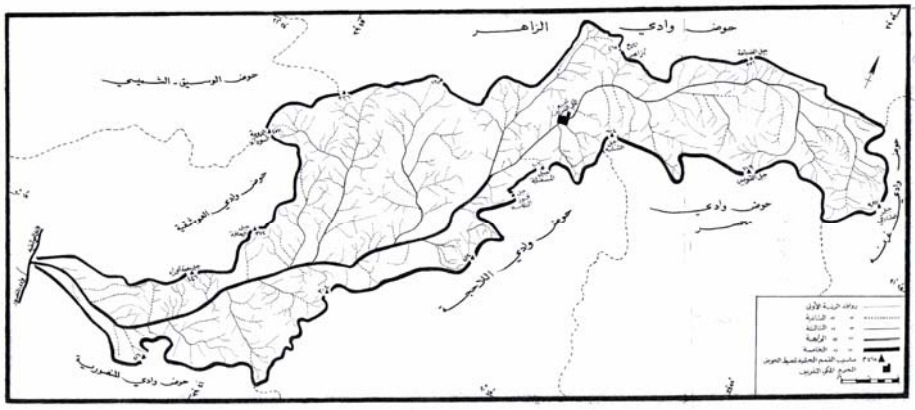
(شكل - ١١ -) رتب المجاري النهرية للشبكة المائية لحوض وادي الزاهر

وينشأ وادي الزاهر في مجراه الأعلى من مجموعة من الروافد القادمة من خطوط تقسيم المياه الشرقية والشمالية الشرقية للحوض تليها روافد أودية فخ – العشر ووادي جليل ويتجه الوادي في مجراه الرئيسي من الشمال الشرقي نحو الجنوب الغربي وبعد أن يتلقى في مجراه الأوسط في مكة المكرمة مياه أحياء الزاهر والشهداء والنزهة والزهراء وأخيراً أم الدرج وأم الجود قبل أن ينحرف إلى الغرب ويلتقي عند مصبه بوادي الشميسي عند منسوب (١٤٣م) الذي يصب بدوره في وادي فاطمة، وبذلك تصل مساحة حوض وادي الزاهر ١٤٧كم٢، أما طول مجراه الرئيسي فقد وصل ٣٥كم.

٢- حوض وادي إبراهيم:

تستمد الروافد العليا لوادي إبراهيم مياهها من السفوح الغربية لجبل الطارقي (٩٨٧م) في أقصى شرق الحوض(شكل١٢)، ويعتبر بذلك أعلى جبال أودية مكة وهو يشكل خط تقسيم المياه بين وادي إبراهيم

ووادي عرنة أما من الشمال فتغذيه روافد عدد من القمم الجبلية والتي تفصل بينه وبين حوض وادي الزاهر وهي من الشرق إلى الغرب جبل الوديعة، جبل الضباع، جبل النور، جبل أذاخر، ...الخ كما تغذيه من الجنوب الروافد المنحدرة من جبال ثبير(٧٠٩م) ، وجبل خندمة (٦٠٤م)، وجبل كدي (٤٠٦م) ويشكل الجبلين الأول والثاني خط تقسيم المياه بينه وبين حوض وادي محسر، بينما يفصل الجبل الثالث بينه وبين حوض وادي اللاحجة.



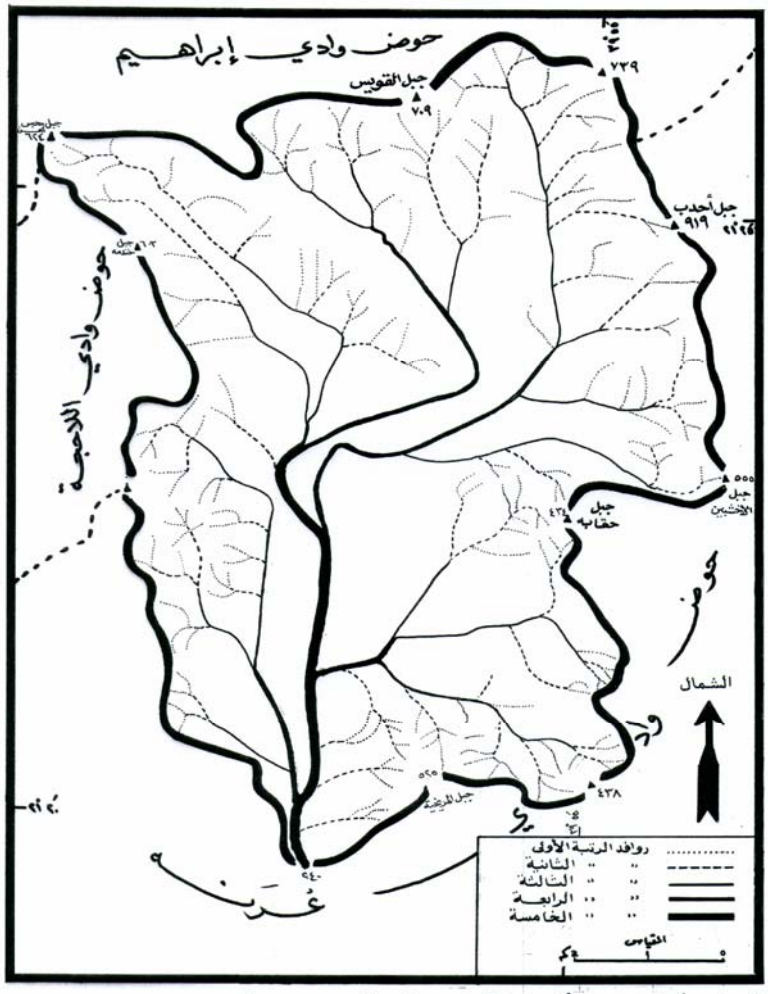
(شكل - ١٢) رتب المجاري الغربية للشبكة المائية لحوض وادي إبراهيم

ويأخذ المجرى الأعلى لوادي إبراهيم شكل قوس ينتهي عند مدينة مكة المكرمة مصرفاً بذلك أودية الغسالة، الخنساء، المعابدة، ثم بعد مروره بالحرم الشريف يصل المسفلة والمكاسة التي يلتقي عندها برافده وادي طوى حيث يتجه نحو الجنوب الشرقي ليلتقي برافدين مهمين وهما وادي حي الإسكان ووادي السلولي قبل أن يلتقي بمصبه وادي المنصورية (١٥٣م) الذي يصب بدوره في وادي عرنة وبذلك تصل مساحة حوض وادي إبراهيم ١٢٧كم٢ ، أما طول مجراه الرئيسي فقد وصل ٣٣كم.

٣ـ حوض وادي محسر:

تبدأ المجاري العليا لوادي محسر من منطقة المعيصم، حيث يصرف مياه السفوح الغربية لامتدادات جبل أحدب نحو الشمال والمشرف من الجهة الشرقية على أعالي مزدلفة (شكل ١٣) ويشكل هذا الجبل (٩١٩م)، وجبل الأخشبين (٥٥٥م)، وجبل المريخية(٤٣٤م) الحدود الشرقية لحوض وادي محسر والتي تفصله عن حوض وادي الشعراء – عرنة. أما من الشمال فإن مجموعة من القمم والجبلية كجبل ثبير (٧٠٩م) ، وجبل خندمة (٦٢٤م) تفصله عن وادي إبراهيم، ويحد الحوض من الغرب جبال خندمه (٦٠٣م) وثور (٧٠٢م) ، وهي تشكل خط تقسيم المياه بينه وبين حوض وادي اللاحجة كما يصرف الحوض مياه السفوح الشمالية لجبل المريخية (٥٢٥).

وتتشكل المجاري العليا لوادي محسر من مجموعة من الروافد الرئيسية وهي وادي المعيصم الذي يصرف مياه السفوح الغربية لجبل أحدب ومياه السفوح الشرقية لجبل ثبير ويخترق بطاح مزدلفة، ووادي منى الذي يصرف مياه السفوح الجنوبية لجبل ثيبر ووادي العزيزية الذي يصرف مياه السفوح الغربية لجبل الصابح والسفوح الشرقية لجبل خندمة أما في المجرى الأدنى فيتلقى الوادي رافدين مهمين وهما وادي المريخة العوالي من الشرق ووادي كدي من الغرب قبل أن يصب في وادي عرنة عند منسوب ٢٣٨م غرب قرية الحسينية وبذلك تصل مساحة الحوض إلى ٦٧كم٢ وبطول للمجرى الرئيسي وصل إلى ١٣كم.

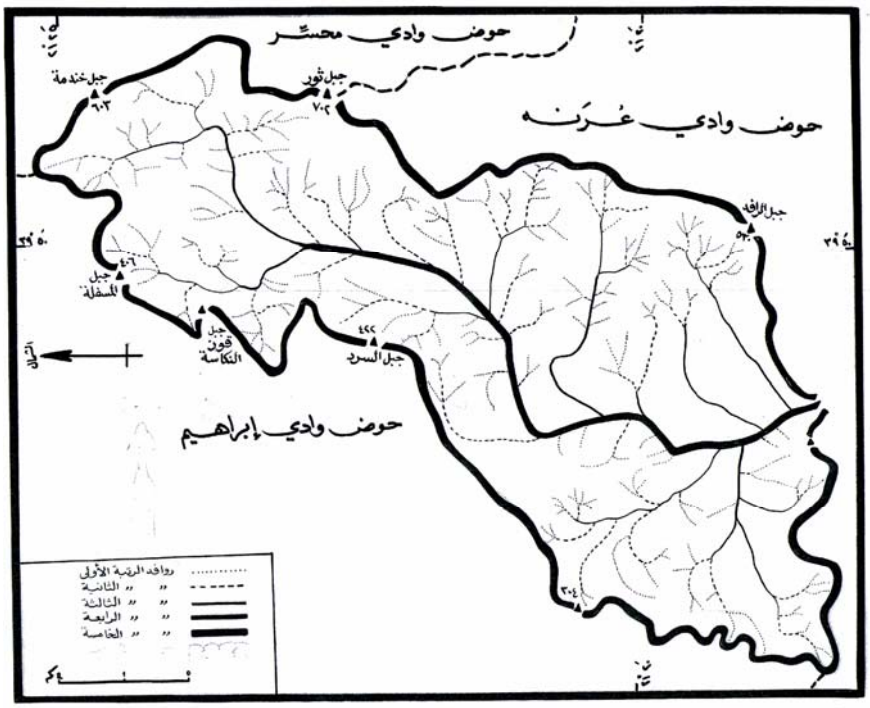


(شكل - ١٣) رُتب المجاري النهرية للشبكة المائية لحوض وادي محسِّر

٤- حوض وادي اللاحجة:

تحد هذا الحوض مجموعة من القمم الجبلية تشكل خط تقسيم المياه بينه وبين الأحواض المجاورة (الشكل ١٤) حيث تفصله قمم جبل

خندمة (٦٠٣م) وجبل ثور (٧٠٢م) عن حوض وادي محسر، في الشرق كما تفصله قمم جبال المسفلة (٤٠٩م) وقوز المكاسة (٣٩٥م) وجبل السرد (٤٢٢م) وجبل بشيم (٣٣٤م) عن حوض وادي إبراهيم في الغرب.



شكل -١٤- رتب المجاري النهرية للشبكة المائية لحوض وادي اللاحجة

ويصرف الحوض مياه سفوح الجبال المذكورة المشرفة على الحوض إضافة إلى منطقة كدي وحي الهجرة وبطحاء قريش قبل أن يصب في وادي عرنة قرب جبل لبنة (٤٥٠م) عند منسوب ٢١٣م، وبذلك تصل مساحة الحوض إلى ٥٤كم٢، وبطول ١٣كم للمجرى الرئيسي.

ثانياً- السمات التضاريسية والشكلية لأحواض أودية الحرم المكي:

تؤدي السمات التضاريسية والشكلية لأحواض التصريف دوراً هاماً في تحديد مياه الأحواض وتحديد كمياتها نظراً لارتباطها بمساحات وأبعاد هذه الأحواض كما تعكس السمات التضاريسية والتي تشمل نسبة التضرس ومعدل النسيج الطبوغرافي، كل من الظروف الجيولوجية والجيومورفولوجية لمناطق هذه الأحواض بينما تفيد السمات الشكلية في تحديد الخصائص الهيدرولوجية لها. (جدول٣).

جدول رقم (٣) السمات التضاريسية والشكلية لأحواض أودية الحرم المكي

الأحواض / الخصائص	حوض وادي الزاهر	حوض وادي إبراهيم	حوض وادي محسر	حوض وادي اللاحجة
أقصى منسوب للحوض (م)	٦٧٠	٩٨٧	٩١٩	٧١٩
أدنى منسوب للحوض (م)	١٤٣	١٥٣	٢٣٨	٢١٣
محيط الحوض (كم)	١٠١	٩٣	٤٣	٤٤
مساحة الحوض (كم٢)	١٤٧	١٢٧	٦٧	٥٤
أقصى طول للحوض (كم)	٣٥	٣٣	١٣	١٣
متوسط عرض الحوض	٤,٢	٣,٨٥	٥,١٥	٤,١٥
معدل الانحدار (م/كم)	٠,٠١٥	٠,٠٢٥	٠,٠٥٢	٠,٠٣٨
نسبة التضرس	١٣,٥١	٢٣,١٦	٤٥,٤	٣١,٦٢
معدل النسيج الطبوغرافي	٧,٦٩	٥,٩٠	٥,٩٧	٦,٣٨
متوسط الارتفاع (م)	٤٠٦	٥٧٠	٥٧٨	٤٦٦
طول المجرى الرئيسي (كم)	٣٩	٣٦	١٥	١٦
نسبة الاستطالة	٠,٣٩٠	٠,٣٨٥	٠,٧١٠	٠,٦٣٧
معامل الاستدارة	٠,١٨١	٠,١٨٤	٠,٤٥٥	٠,٣٥٠
معامل الشكل	٠,١٢	٠,١١	٠,٣٩	٠,٣١

أ ـ مساحات وأبعاد الأحواض:

سبقت الإشارة أعلاه إلى أهمية الدور الذي تؤديه المساحات والأبعاد في تحديد مصادر وكميات التصريف داخل الأحواض، ويمكن اعتبار مساحة الأحواض أحد أكثر العوامل تأثيراً في كميات التصريف إذا تشابهت الأحواض في خصائصها الطبيعية الأخرى وتبين من خلال الجدول ٤ الذي يبين مساحات وأبعاد أحواض أودية الحرم المكي أن مساحة حوض وادي الزاهر هي أكبرها (١٤٧كم٢) تليها مساحة حوض وادي إبراهيم (١٢٧كم٢) وحوض وادي محسر (٦٧كم٢) وأخيراً حوض وادي اللاحجة (٥٤كم٢).

جدول رقم (٤) مساحات و أبعاد أحواض أودية الحرم المكي

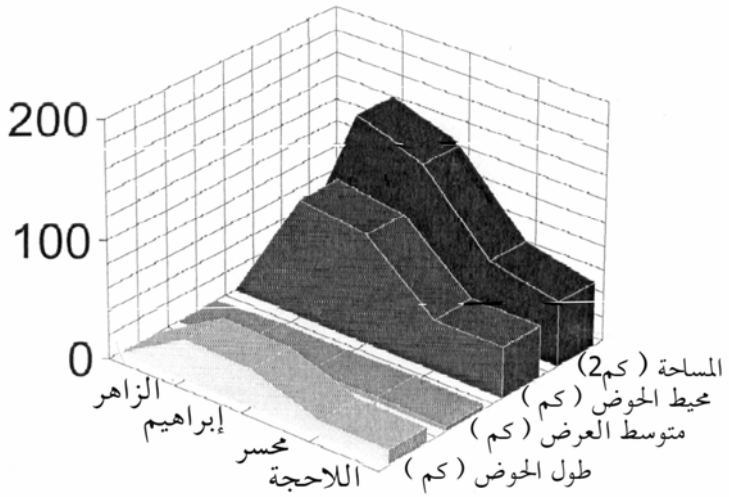
الخصائص / الأحواض	طول الحوض (كم)	متوسط عرض الحوض (كم)	محيط الحوض (كم)	مساحة الحوض (كم٢)
وادي الزاهر	٣٥	٤,٢	١٠١	١٤٧
وادي إبراهيم	٣٣	٣,٨٥	٩٣	١٢٧
وادي محسر	١٣	٥,١٥	٤٣	٦٧

كما يتبين من الجدول أعلاه تشابه أطوال حوضي وادي الزاهر ووادي إبراهيم والتي بلغت ٣٣,٣٥ كم على التوالي وتشابه أطوال حوضي محسر واللاحجة والتي بلغت ١٣كم لكليهما وتشير اتجاهات أحواض أودية الحرم المكي إلى تشابه بين اتجاه حوضي الزاهر وإبراهيم اللذان يتجهان من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي كما تتشابه اتجاهات حوضي محسر واللاحجة واللذان يتجهان من الشمال إلى الجنوب ويرتبط ذلك بطبيعة الحال بالظروف البنيوية لمنطقة أودية الحرم المكي وخاصة لكل من وادي الزاهر وإبراهيم أما متوسط عرض الأحواض فقد فاق وادي

محسر كل أودية الحرم المكي إذ وصل متوسط عرضه ٥,١٥كم بينما كان وادي إبراهيم أقل هذه الأودية حيث بلغ ٣,٨٥ كم. ولا يبعد متوسط عرض حوض وادي الزاهر كثيراً عن ذلك(٤,٢كم).

وتبين من خلال (الشكل ١٥) الذي يوضح العلاقة الشكلية بين قيم كل من المساحة وأبعاد الأحواض المدروسة أن هناك علاقة طردية بين مساحة الأحواض وطولها وأيضاً بين المساحة ومحيط الأحواض . بينما لم تظهر أي علاقة بين مساحة الأحواض ومتوسط عرضها. ويمكن تعليل ذلك بالظروف البنيوية لمنطقة البحث والتي أثرت على زيادة الامتداد الطولي للأحواض نتيجة للصدوع التي تمتد مع امتدادها وخاصة في أودية الزاهر وإبراهيم مما زاد أيضاً من مساحاتها وقلل من متوسط عرضها نتيجة للتعرية التي غالباً ما تكون خطية وتنحصر عند خطوط هذه الصدوع (شكل ٤) ويمكن أن يتضح ذلك من خلال استعراض خصائص أبعاد حوض وادي إبراهيم فقد بلغ متوسط عرض الحوض ٣,٨٥كم، ووصل أقصى اتساع له ٦,٨ كم عند رافده وادي السلولي في بداية المجرى الأدنى للحوض. أما أقل اتساع للحوض فهو ٠,٤ كم عند مصبه والتقائه بوادي العوسجية– المنصورية. وتجدر الإشارة إلى أن عرض الحوض يضيق في موقعين أحدهما قبل المسجد الحرام إلى الشرق بين جبلي خندمة وجبل أذاخر والآخر إلى الغرب منه عند مرور الوادي بجبل المسفلة ليصل إلى ٢,٤ و ٢,٦ كم على التوالي وهي قيمة أقل بكثير من متوسط عرض الحوض ويرجع السبب في ذلك كما سبقت الإشارة إلى صدع وادي إبراهيم الذي أدى إلى تركز النحت بشكل خطي على طول الصدع إضافة إلى صلابة الصخور الناجمة عن محقونات الجبال المذكورة.

شكل ١٥ علاقة مساحات الأحواض بأبعادها (طولها و محيطها و متوسط عرضها)



وتجدر الإشارة إلى تقارب عرض المجرى الرئيسي لوادي إبراهيم من المجرى الرئيسي لوادي الزاهر في نفس المناطق المذكورة حيث يضيق الحوض بشكل كبير ليصل إلى عرض ١ كم بين جبل الحجون وجبل العمرة ، بينما يتسع الحوض في المجرى الأعلى ليصل عرضه ٧,٥ كم ، ويتسع أيضاً في مواقع اتساع حوض وادي إبراهيم ليصل عرضه ٧ كم أيضاً مع أن متوسط عرضه ٤,٢ كم.

وتتحكم نفس العوامل السابقة لحوض وادي إبراهيم في التغيرات الحالية لحوض وادي الزاهر.

أما حوض وادي محسر ووادي اللاحجة اللذان لم يظهرا أي علاقة طردية بين مساحة حوضيهما ومتوسط عرضهما بل على العكس أظهرا علاقة عكسية يمكن تفسيرها في حوض وادي محسر بارتباط التعرية داخل الحوض بأكثر من خط صدع وفي اتجاهات مختلفة أدت إلى زيادة عرض الحوض كما في صدوع المعيصم ومنى – مزدلفة والعزيزية. وينطبق الشيء نفسه على حوض وادي اللاحجة

الذي يتقاطع فيه صدعي الهجرة – العكيشية وصدع جبل ثور. ولا يعتبر الشذوذ فقط لمتوسط عرض هذين الحوضين من الأحواض الأخرى، وإنما يتضح الشذوذ بشكل أكبر في عرض الحوضين عند مصباتها حيث يصل عرضها إلى أعلى قيمة على طول الحوض وخاصة حوض وادي اللاحجة وهو ما يبرز الدور الهام لأثر الصدوع في ذلك (الأشكال ١٤، ١٣).

ب- السمات التضاريسية للأحواض:

تهدف دراسة السمات التضاريسية عادة إلى إظهار المدى الذي وصل إليه تقطيع المنطقة بواسطة عمليات التعرية السائدة والتي تتمثل في هذه المنطقة بشبكة تصريف أودية الحرم المكي، وتعكس هذه السمات عموماً مدى تأثر هذه العمليات ببنية وجيولوجية المنطقة، وسوف يتم دراسة أهم الخصائص التضاريسية والمتمثلة في نسبة التضرس Relief Ratio ومعدل النسيج الطبوغرافي Texture Topography نظراً لما لهذه الخصائص من دور في تحديد معدلات النحت والجريان في الأحواض المدروسة.

١- نسبة التضرس: Relief Ratio

يمكن تعريف نسبة التضرس على أنها تمثل النسبة بين ارتفاع الحوض وبين أطول بعد في الحوض موازياً للمجرى الرئيسي وهو ما يمكن حسابه عن طريق المعادلة التالية:

$$R = Hb / Lb$$

(Madment, 1993, PP. 8-12)

حيث أن R = تضرس الحوض و Hb = الفرق بين أعلى نقطة وأدنى نقطة في الحوض، أما Lb = طول الحوض بالمتر

وتفيد نسبة التضرس في معرفة مدى تضرس الأحواض لما له من علاقة بالعمليات الجيمورفولوجية السائدة في هذه الأحواض، وتشير نتائج حساب نسبة التضرس في أودية الحرم المكي والمتمثلة في (الجدول ٥) إلى أن أعلى نسبة تضرس هي في حوض وادي محسر يليه حوض وادي اللاحجة، بينما اقتربت نسبة التضرس بين كل من حوض وادي الزاهر وحوض وادي إبراهيم، ويرجع هذا الاختلاف بين الأحواض إلى اختلاف مساحاتها. حيث تنخفض نسبة التضرس غالباً في الأحواض ذات المساحة الواسعة أو تلك التي تمتاز بزيادة طولها واستطالتها كما في حوضي الزاهر (١٤٧ كم) وإبراهيم (١٢٧ كم) على العكس من حوض وادي محسر (٦٧ كم٢) الذي زادت فيه شبه التضرس إلى ٤٥,٤٠ م/كم وهو ما يشير إلى نسبة تضرس عالية جداً، وينعكس هذا بطبيعة الحال على شدة النحت والجريان فيه، ولعل متوسط ارتفاع الحوض (٥٧٨ م) الأعلى قيمة بين الأحواض المدروسة قد زاد من ذلك.

جدول رقم (٥) نسبة التضرس في أحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	أعلى منسوب للحوض (م)	أدنى منسوب للحوض (م)	الفرق بين أعلى وأدنى منسوب	نسبة التضرس م/كم
حوض وادي الزاهر	٦٧٠	١٤٣	٥٢٧	١٣,٥١
حوض وادي إبراهيم	٩٨٧	١٥٣	٨٣٤	٢٣,١٦
حوض وادي محسر	٩١٩	٢٣٨	٦٨١	٤٥,٤٠
حوض وادي اللاحجة	٧١٩	٢١٣	٥٠٦	٣١,٦٢
المتوسط				٢٨,٤٢

٢- **معدل النسيج الطبوغرافي:** Texture Topography

يستخدم في بعض المراجع مرادف آخر لمعدل النسيج الطبوغرافي Texture Topography وهو نسبة التقطيع أو معدل التقطيع Dissection Ratio ، ويمكن تعريف معدل النسيج الطبوغرافي على أنه يوضح درجة تقطيع الشبكة المائية لحوض التصريف، ومن ثم يبين مدى تقارب مجاري هذه الشبكة أو تباعدها عن بعضها البعض. ويمكن حساب معدل النسيج أو نسبة التقطيع بالمعادلة التالية:

$$Dr = \sum Nu/Bc$$

(Chorley and Kennedy, 1971, P. 48)

حيث أن Dr هي نسبة التقطيع و $\sum$ Nu هي مجموع عدد المجاري في الحوض، و Bc هي محيط الحوض. وكان سميث Smith 1950 قد قسم الأحواض النهرية حسب نسبة التقطيع إلى ثلاث درجات وهي تقطيع (نسيج) خشن ومتوسط وناعم (تراوحت بين أقل من ٤ وأكثر من ١٠).

وتشير نتائج حساب نسبة التقطيع التي عملت لأحواض أودية الحرم المكي والموقعة في الجدول ٦ أن كل الأحواض المدروسة تقع ضمن النسيج الطبوغرافي المتوسط أي بين أكثر من ٤ وأقل من ١٠ على الرغم من الاختلافات القليلة بينها والتي نجمت عن التباين في الخصائص الليثولوجية للصخور في هذه الأحواض، وإن كانت كلها تقريباً من الصخور غير المنفذة إلا أن هناك مساحات كبيرة مغطاة بفرشات إرسابية منفذة للماء بشكل كبير مما يقلل من الجريان ويقلل من تشكل الأودية ومن ثم نسبة التقطيع، كما يقلل من هذه النسبة أيضاً صلابة الصخور البلورية لمناطق

الأحواض المدروسة والتي تعيق بدورها أيضاً نشأة مجاري جديدة باستثناء مواقع الصدوع والشقوق التي تتحكم في هذه النشأة (مرزا والبارودي، ٢٠٠٤).

جدول رقم (٦) معدل النسيج الطبوغرافي لأحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	عدد المجاري	طول محيط الحوض (كم)	معدل النسيج (نسبةالتقطي)
حوض وادي الزاهر	٧٧٧	١٠١	٧,٦٩
حوض وادي إبراهيم	٥٤٧	٩٣	٥,٩
حوض وادي محسر	٢٥٧	٤٣	٥,٩٧
حوض وادي اللاحجة	٢٨١	٤٤	٦,٣٨
المتوسط			٦,٤٨

جـ- السمات الشكلية للأحواض:

تعد السمات الشكلية للأحواض مفتاحاً لمعرفة الكثير عن الخصائص الجيومورفولوجية والهيدرولوجية لهذه الأحواض.

فلكل شكل من أشكال الأحواض سواء أكانت قريبة من الشكل الدائري أو كانت تميل إلى الاستطالة دلالات تمكن الباحثين من الحكم على تاريخها الجيومورفولوجي من جهة وعلى درجة تحكمها بسرعة الجريان وحدوث الفيضان من جهة أخرى. كما أن الأحواض النهرية التي تتشابه في خصائصها الشكلية لا بد وأن تتماثل في خصائصها

الجيمورفولوجية الأخرى، لأن مثل هذا التشابه لا بد وأن ينتج عن نفس العمليات الجيومورفولوجية (Strhler, A.N. 1958, P.p.279-300). كما أن الاختلافات الشكلية للأحواض تؤثر بالتالي على المساحات المحصورة ضمن محيط هذه الأحواض، ومن ثم على كمية الأمطار المتجمعة في هذه الأحواض وعلى كمية الجريان المائي فيها (Horton,1945,P.38) . وهكذا يمكن القول بأن الاختلافات الشكلية للأحواض إنما ترجع إلى الاختلافات التي تميز بينها سواء كانت بنيوية أم مناخية.

وسوف يتم بحث كل من معامل الاستدارة والاستطالة والشكل لأحواض أودية الحرم المكي.

١- استدارة الأحواض: Basin circularity

يمكن تعريف الاستدارة للأحواض المائية بأنها المقياس الذي يبين مدى تماثل شكل الحوض مع الشكل الدائري.

ويمكن استخراج الاستدارة لأي حوض مائي من قسمة مساحته على مساحة دائرة يساوي محيطها محيط الحوض نفسه.

فكلما كان الحوض أقرب إلى الاستدارة اقتربت القيمة الناتجة من الرقم واحد، وعلى العكس من ذلك فكلما اقتربت القيمة الناتجة من الصفر دل ذلك على قلة الاستدارة وعدم انتظام الحوض وتعرج خطوط تقسيم المياه التي تشكل محيط هذا الحوض، وقد تعطيه أشكالاً متعددة كالمستطيل أو المثلث أو القوس... ويمكن حساب معامل الاستدارة من تطبيق المعادلة التالية:

معامل الاستدارة = مساحة الحوض (كم٢) ÷ مساحة دائرة لها نفس طول محيط الحوض (كم٢)

(Strahler, 1968, P. 903)

وتشير نتائج قياس معامل الاستدارة التي عملت لأحواض أودية الحرم المكي والموضحة في الجدول ٧ أن أقل معامل استدارة بلغ ٠,١٨١ لحوض وادي الزاهر تلاه حوض وادي إبراهيم ٠,١٨٤ وهي قيم منخفضة بشكل كبير وتشير إلى بعد كبير عن الشكل الدائري لهذين الحوضين وهي قيم اقل بكثير من قيم أخرى لمناطق متشابهة في جوف وادي بيش (٠,٤٩٠و ٠,٤٦٠ انظر/ بوروبه، ٢٠٠٢ ص٣١) وهو ما يشير إلى كثرة الانحناءات سواء في محيط الحوضين الذي يمثل خط تقسيم مياههما أو في تقوس محورهما ويرجع ذلك بطبيعة الحال إلى سببين أولهما كثرة الصدوع الثانوية والشقوق التي أثرت على محيط هذين الحوضين والتي دفعت بمجاري الرتب الأولى والثانية للنحت تراجعياً نحو خط تقسيم المياه وثانيهما إلى تحكم الصدوع الرئيسية في تقوس محور الحوضين مما أبعدها عن الشكل الدائري.

جدول رقم (٧) معامل الاستدارة في أحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	المساحة كم٢	المحيط كم	مساحة دائرة لها نفس طول المحيط كم٢	معامل الاستدارة
حوض وادي الزاهر	١٤٧	١٠١	٨١٢,٠٣	٠,١٨١
حوض وادي إبراهيم	١٢٧	٩٣	٦٨٨,١٩	٠,١٨٤
حوض وادي محسر	٦٧	٤٣	١٤٧,٠٦	٠,٤٥٥
حوض وادي اللاحجة	٥٤	٤٤	١٥٤,١٣	٠,٣٥٠
المتوسط				٠,٢٩٢

أما أعلى معامل استدارة فقد وصل ٠,٤٤٥ لحوض وادي محسر وتلاه حوض وادي اللاحجة ٠,٣٥٠ وعلى الرغم من أن هذه القيم لا تزال منخفضة إذا ما قورنت بأحواض أودية الحرم المدني (٠,٦٧٠ في حوض قناة انظر الدوعان ٢ ١٩٩٩، ص ٢٤) إلا أنها تشير إلى خطوط تقسيم مياه أقل تعرجا من حوض وادي الزاهر وإبراهيم ومن ثم فإن اقتراب خطوط تقسيم المياه للتساوي في بعدها عن مركز الحوض ومن ثم المجرى الرئيسي وهو ما يشير إلى تساوي زمن وطول الجريان والسيول بعد تساقط الأمطار من الأطراف إلى المركز ، بمعنى تلاقي السيول من جميع الروافد الرئيسية عند المجرى الرئيسي في وقت واحد مما يؤدي إلى فيضانات كارثية نتيجة لذلك ومن المعلوم أن قيم الاستدارة تزداد مع الزمن نظرا لتقدم الأحواض المائية في دورتها النحتية (سلامة ١٩٨٢ ص٦) وهذا يعني أن حوض وادي محسر هو أكثر أحواض الحرم المائي تطورا ومرد ذلك ليس الفارق الزمني في التعرية بينه وبين الأحواض الأخرى في المنطقة ، وإنما إلى تشابك الصدعيات في حوضه وإلى قلة صلابة تكويناته الصخرية مقارنة بالأحواض الأخرى.

٢- **نسبة الاستطالة**: Elongation ratio

يمكن تعريف نسبة الاستطالة بأنها تصف مساحة الحوض مقارنة إياها بالشكل المستطيل. وهي من المؤشرات التي يتم فيها تحديد أشكال الأحواض المائية. ويمكن حساب نسبة الاستطالة من النسبة بين طول قطر دائرة لها نفس مساحة الحوض (كم٢) وبين أقصى طول للحوض (كم). وعادة ما تقل هذه النسبة في الأحواض التي يبتعد شكلها عن المستطيل. وتزيد في الأحواض الطويلة. والرقم واحد هو الرقم الدال على هذه النسبة تماماً كما هو الحال في معامل الاستدارة. ويمكن حساب نسبة الاستطالة من خلال المعادلة التالية:

نسبة الاستطالة = قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض (كم) ÷ أقصى طول للحوض (كم)

(الصالح، ١٩٩٢، ص٨٠)

وتشير نتائج نسبة الاستطالة التي عملت لأحواض أودية الحرم المكي الموضحة في الجدول ٨ أن أعلى استطالة كانت لحوض وادي محسر وبلغت ٠,٧١٠ ما يشير إلى قرب هذا الحوض من الشكل الدائري، بينما انخفضت هذه النسبة في كل من حوض وادي إبراهيم ووادي الزاهر. وكما هو الحال في انخفاض معامل استدارة هذين الحوضين فإن زيادة امتدادهما الطولي إنما يرجع لنشأتهما عند خطوط صدعية رئيسة.

جدول رقم (٨) نسبة الاستطالة في أحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	المساحة كم٢	قطر دائرة مساحتها تساوي مساحة الحوض (كم)	أقصى طول للحوض (كم)	نسبة الاستطالة
حوض وادي الزاهر	١٤٧	١٣,٦٨	٣٥	٠,٣٩٠
حوض وادي إبراهيم	١٢٧	١٢,٧١	٣٣	٠,٣٨٥
حوض وادي محسر	٦٧	٩,٢٣	١٣	٠,٧١٠
حوض وادي اللاحجة	٥٤	٨,٢٩	١٣	٠,٦٣٧
المتوسط				٠,٥٣٠

وتؤثر زيادة استطالة الأحواض على الجريان فيها، فالأحواض الممتدة طولياً يتأخر الجريان فيها للوصول إلى المصب نظراً لزيادة المسافة التي يقطعها السيل وبالتالي فهناك فرصة زمنية أكبر بين سقوط الأمطار ووصولها إلى نهاية المجرى، وبطبيعة الحال يتوقف ذلك على موقع العاصفة المطرية من أقسام الحوض المختلفة. كما أن الامتداد الطولي للأحواض يزيد من تسرب مياه الجريان ضمن رواسب المجرى ويغذي المياه الجوفية ويزيد في نفس الوقت من تعرضها للتبخر ويقلل كل ذلك من فرص السيول العرمة كما في الأحواض المستديرة.

عامل الشكل: Shape Factor

يعتبر عامل الشكل مؤشراً لمدى نموذجية شكل الحوض. ويمكن من خلال مقارنة عامل الشكل مع السمات الشكلية الأخرى كعامل الاستدارة ونسبة الاستطالة الوصول إلى نتائج أكثر دقة نتيجة الحكم على نوع العلاقة بينها. ويمكن استخراج عامل الشكل من خلال المعادلة التالية:

$$F = A/Lb^2$$

(Horton, 1945, P.353)

حيث أن F هي عامل الشكل و A مساحة الحوض (كم٢) و Lb^2 مربع طول الحوض.

وتشير نتائج تطبيق عامل الشكل على أحواض أودية الحرم الكلي والموضحة مع بقية السمات الشكلية لأحواض المنطقة (جدول ٩) أن أعلى قيمة لعامل الشكل بلغت ٠,٣٩٠ لحوض وادي محسر و ٠,٣١٠ لحوض وادي اللاحجة وهاتان القيمتان تشيران إلى تناسق شكل الحوضين واقترابهما من القيمة المطلقة لعامل الشكل والتي تصل ٠,٧٨٥. بينما نجد أن معامل الشكل لكل من حوضي وادي الزاهر ووادي إبراهيم قد وصل ٠,١٢ و ٠,١١٠ على التوالي وهو ما يشير إلى الاقتراب من القيمة الدنيا لعامل الشكل والتي تساوي صفراً.

جدول رقم (٩) نتائج السمات الشكلية لأحواض أودية الحرم المكي

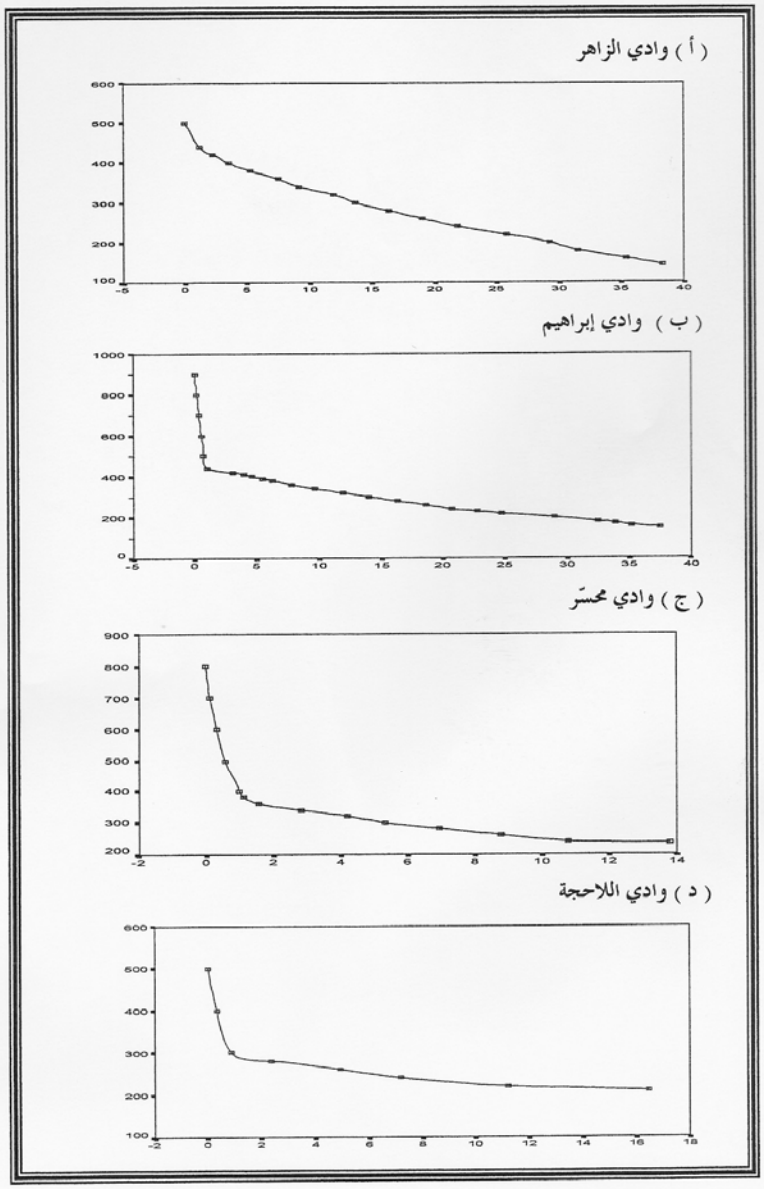
السمات الشكلية اسم الحوض	مساحة الحوض كم٢	طول الحوض (كم)	معامل الاستدارة	نسبة الاستطالة	عامل الشكل
حوض وادي الزاهر	١٤٧	٣٥	٠,١٨١	٠,٣٩٠	٠,١٢٠
حوض وادي إبراهيم	١٢٧	٣٣	٠,١٨٤	٠,٣٨٥	٠,١١٠
حوض وادي محسر	٦٧	١٣	٠,٤٥٥	٠,٧١٠	٠,٣٩٠
حوض وادي اللاحجة	٥٤	١٣	٠,٣٥٠	٠,٦٣٧	٠,٣١٠
المتوسط			٠,٢٩٢	٠,٥٣٠	٠,٢٣٢

وتؤكد هذه القيم ما سبقت الإشارة إليه عن الأثر الكبير للصدوع الرئيسية في قلة استدارة حوضي وادي الزاهر ووادي إبراهيم وزيادة استطالتهما وانخفاض عامل الشكل فيهما. ويمكن التأكد من ذلك من خلال العلاقة الطردية الموجبة بين السمات الشكلية جميعها في أحواض منطقة البحث (شكل١٦).

د- القطاعات الطولية:

تم عمل القطاعات الطولية لأودية الحرم المكي من خرائط ١: ٢٥,٠٠٠ وقد تم تجميع الأطوال تراكميا بين خطوط الكنتور ومن ثم رسمها بواسطة الحاسب الآلي . تلاه حساب معدلات الانحدار لكل قسم من أقسام القطاع الطولي حسب الفارق الرأسي .

شكل ١٦ (أ–ب–جـ–د) قطاعات طولية لأودية الحرم المكي الشريف



القطاعات الطولية شكل انحدار المجاري الرئيسية لأودية المنطقة المدروسة و هو ما يفيد في إكمال الصورة الشاملة للخصائص المورفومترية و الهيدرولوجية لأحواض المنطقة ، كما يعطي فكرة واضحة عن المرحلة التي بلغتها القطاعات الطولية في سعيها للوصول إلى مرحلة الاتزان . حيث أنها تحدد عمليات النحت التراجعي الذي تقوم به هذه المجاري و ذلك عن طريق نقاط التغير في الانحدار ، وهي ما تعكس عادة إما نقاط تجديد للنحت أو أنها عقبات صخرية برزت في بعض مناطق هذه الأودية .

و تشير أشكال القطاعات الطولية لأودية الحرم المكي إلى أنها مقعرة بشكل عام نحو الأعلى باستثناء بعض الأقسام التي تبدو محدبة نحو الأعلى . و تتألف هذه القطاعات من قسمين فقط وهما المجرى الأعلى والمجرى الأدنى و ذلك بناء على قيم انحدار هذه القطاعات .و باستثناء القطاع الطولي لوادي الزاهر (شكل ١٦- أ) و(جدول ١٠) فإن بقية القطاعات الطولية لأودية إبراهيم (شكل ١٦- ب) و محسر (شكل ١٦ - جـ) واللاحجة (شكل ١٦ - د) تتميز بوجود انحدارات شديدة في مجاريها العليا مقارنة بمجاريها الدنيا . وقد وصلت درجات الانحدار لهذه الأودية إلى أكثر من ٣٤درجة في وادي إبراهيم و ٤٨درجة في وادي محسر وأكثر من ١٨درجة في وادي اللاحجة.

و تشير جداول معدل الانحدار و درجة الانحدار لأودية الحرم المكي (الجداول ١٠ ،١٢ ، ١٤ ، ١٦) وجداول النسب المئوية لفئات زوايا انحدار القطاعات الطولية لهذه الأودية (جداول ١١ ، ١٣ ، ١٥ ، ١٧) إلى مجموعة من الخصائص و التي يمكن توضيحها في القطاع على النحو التالي :

١. **القطاع الطولي لوادي الزاهر** :

وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لأقل من٠,٥ درجة إلى حوالي ٦٥٪ من طول القطاع (جداول ١١، ١٠) وتشكل هذه النسبة المجرى الأدنى قبل المصب وهي نسبة تزيد عن مثيلاتها في كل من وادي ابراهيم ووادي محسر وقد تراوح معدل الانحدار في هذا القسم بين ٠,٠٠٥ و٠,٠٠٧ ، وتبرز في هذا القسم من المجرى الأدنى لوادي الزاهر فئات زوايا انحدار كبيرة نسبياً تبدو كأجزاء محدبة صغيرة ضمن القطاع وخاصة عند خط الكنتور ١٨٠م، وهو ما يشير إلى تغير في الانحدار.

جدول رقم (١٠) معدل ودرجة انحدار القطاع الطولي لوادي الزاهر

م	ارتفاع	طول	المسافة الأفقية	معدل الانحدار	درجة الانحدار	٪من طول القطاع
١	٥٠٠	.٠٠٠				
٢	٤٤٠	١,١٢٥	١١٢٥	٠,٠٥٣	٣,١٩	٢,٩٠
٣	٤٢٠	٢,٢٥٠	١١٢٥	٠,٠١٧	١,٠٦	٢,٩٠
٤	٤٠٠	٣,٥٠٠	١٢٥٠	٠,٠١٦	٠,٩٦	٣,٢٦
٥	٣٨٠	٥,٢٠٠	١٧٠٠	٠,٠١١	٠,٧٠	٤,٤٤
٦	٣٦٠	٧,٤٥٠	٢٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٥٢	٥,٨٧
٧	٣٤٠	٩,١٥٠	١٧٠٠	٠,٠١١	٠,٧٠	٤,٤٤
٨	٣٢٠	١١,٩٠٠	٢٧٥٠	٠,٠٠٧	٠,٤٣	٧,١٨
٩	٣٠٠	١٣,٦٥٠	١٧٥٠	٠,٠١١	٠,٦٨	٤,٥٧
١٠	٢٨٠	١٦,٢٧٥	٢٦٢٥	٠,٠٠٧	٠,٤٥	٦,٨٥
١١	٢٦٠	١٩,٠٢٥	٢٧٥٠	٠,٠٠٧	٠,٤٣	٧,١٨
١٢	٢٤٠	٢١,٧٧٥	٢٧٥٠	٠,٠٠٧	٠,٤٣	٧,١٨
١٣	٢٢٠	٢٥,٧٧٥	٤٠٠٠	٠,٠٠٥	٠,٣٠	١٠,٤٥
١٤	٢٠٠	٢٩,٢٧٥	٣٥٠٠	٠,٠٠٥	٠,٣٤	٩,١٤
١٥	١٨٠	٣١,٥٢٥	٢٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٥٣	٥,٨٧
١٦	١٦٠	٣٥,٤٠٠	٣٨٧٥	٠,٠٠٥	٠,٣٠	١٠,١٢
١٧	١٤٣	٣٨,٢٧٥	٢٨٧٥	٠,٠٠٥	٠,٣٥	٧,٥١

جدول رقم (١١) النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لوادي الزاهر

فئات زوايا الانحدار (درجة)	النسبة المئوية من طول القطاع ٪	ملاحظـات
أقل من ½°	٦٥,٧٥ ٪	المجري الأدنى قرب المصب، نقطة تغير في الانحدار
٠,٥ — ١°	٢٨,٤٥ ٪	المجرى الأدنى، نقطتي تغير في الانحدار
١ — ٢°	٢,٩٠ ٪	قبل المجري الأعلى
أكثر من ٢°	٢,٩٠ ٪	المجرى الأعلى

- وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار ٠,٥- ١° إلى حوالي ٢٨٪ من طول القطاع وهي أقل من مثيلاتها في بقية القطاعات باستثناء وادي اللاحجة ، وتبرز في هذا القسم من المجرى الأدنى نقطتي تغير في الانحدار وتقع عند منسوب ٣٠٠ و ٣٤٠م .

- لم تزد النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار أكثر من ٢° عن حوالي ٢,٩٠ ٪ وهي تشكل المجرى الأعلى للوادي . وهي أقل من مثيلاتها على الإطلاق في جميع أودية الحرم المكي ، ويرجع ذلك إلى انخفاض منسوب منابع وادي الزاهر والتي لا تزيد كثيراً عن ٥٠٠م فوق مستوى سطح البحر .

٢. **القطاع الطولي لوادي إبراهيم** :

- وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لأقل من ٠,٥° درجة إلى حوالي ٤٤٪ من طول القطاع (جداول ١٣،١٢) ، وتشغل القسم الأقرب المصب من المجرى الأدنى وهي نسبة لا يقل عنها سوى المجرى الأدنى لوادي محسر وقد تراوح معدل الانحدار في هذا القسم بين ٠,٠٠٤ و ٠,٠٠٨ وتبرز في هذا القسم تغيرات في الانحدار وخاصة عند خطي الكنتور ١٦٠ - ١٧٠م

جدول رقم (١٢) معدل انحدار القطاع الطولي لوادي إبراهيم

	الارتفاع م	الطول م	المسافة الأفقية م	معدل الانحدار بالألف	درجة الانحدار	٪ من طول القطاع
١	٩٠٠	.٠٠٠				
٢	٨٠٠	.١٧٥	١٧٥	٠,٥٧١	٣٤,٢٨	٠,٤٦
٣	٧٠٠	.٣٥٠	١٧٥	٠,٥٧١	٣٤,٢٨	٠,٤٦
٤	٦٠٠	.٥٢٥	١٧٥	٠,٥٧١	٣٤,٢٨	٠,٤٦
٥	٥٠٠	.٧٢٥	٢٠٠	٠,٥٠٠	٢٠	٠,٥٣
٦	٤٤٠	١,٠٥٠	٣٢٥	.١٨٤.	١١,٠٤	٠,٨٦
٧	٤٢٠	٣,٠٥٠	٢٠٠٠	٠,٠١٠	٦	٥,٣٢
٨	٤١٠	٣,٩٧٥	٩٦٥	٠,٠١٠	٠,٦٤	٢,٤٦
٩	٤٠٠	٤,٥٠٠	٦٢٥	٠,٠١٦	٠,٩٦	١,٦٦
١٠	٣٩٠	٥,٥٢٥	٩٢٥	٠,٠١٠	٠,٦٤	٢,٤٦
١١	٣٨٠	٦,٢٧٥	٧٥٠	٠,٠١٣	٠,٧٩	١,٩٩
١٢	٣٦٠	٧,٨٠٠	١٥٢٥	٠,٠١٣	٠,٧٨	٤,٠٦
١٣	٣٤٠	٩,٦٢٥	١٨٢٥	٠,٠١٠	٠,٦٥	٤,٨٦
١٤	٣٢٠	١١,٨٧٥	٢٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٥٣	٥,٩٩
١٥	٣٠٠	١٤,٠٠٠	٢١٢٥	٠,٠٠٩	٠,٥٦	٥,٦٦
١٦	٢٨٠	١٦,٢٥٠	٢٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٥٣	٥,٩٩
١٧	٢٦٠	١٨,٥٧٥	٢٣٢٥	٠,٠٠٨	٠,٥٤	٦,١٩
١٨	٢٤٠	٢٠,٧٠٠	٢١٢٥	٠,٠٠٩	٠,٥٦	٥,٦٦
١٩	٢٣٠	٢٢,٧٧٥	٢٠٧٥	٠,٠٠٤	٠,٢٨	٥,٥٢
٢٠	٢٢٠	٢٤,٦٧٥	١٩٠٠	٠,٠٠٥	٠,٣١	٥,٠٦
٢١	٢٠٠	٢٨,٩٧٥	٤٣٠٠	٠,٠٠٤	٠,٢٧	١١,٤٥
٢٢	١٨٠	٣٢,٤٧٥	٣٥٠٠	٠,٠٠٥	٠,٣٤	٩,٣٢
٢٣	١٧٠	٣٣,٩٢٥	١٤٥٠	٠,٠٠٦	٠,٤١	٣,٨٦
٢٤	١٦٠	٣٥,١٧٥	١٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٤٨	٣,٣٣
٢٥	١٥٠	٣٧,٥٢٥	٢٣٥٠	٠,٠٠٤	٠,٢٥	٦,٢٦

جدول رقم (١٣) النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لوادي إبراهيم

فئات زوايا الانحدار (درجة)	النسبة المئوية من طول القطاع ٪	ملاحظات
أقل من ½°	٤٤,٨ ٪	المجري الأدنى قبل المصب
٠,٥ — ١°	٤٦,٣	المجرى الأدنى
١ — ٢°	-	-
أكثر من ٢°	٨,٩	المجرى الأعلى

وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار ٠,٥ - ١° إلى حوالي ٤٣٪ من طول القطاع وهو انحدار لا يزيد عليه سوى وادي محسر ، وبلغ معدل الانحدار في هذا القسم بين ٠,٠٠٨ و ٠,٠١٦ .

ارتفعت النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار أكثر من ٢° إلى حوالي ٩٪ من طول القطاع الطولي وهي تزيد عن مثيلاتها في كل من وادي الزاهر ووادي اللاحجة ولايزيد عنها سوى وادي محسر، مما تشير إلى الطبيعة الجبلية لمنابع الوادي والتي وصلت أعلى من ٩٠٠م فوق مستوى سطح البحر.

٣ -القطاع الطولي لوادي محسر :

وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لأقل من ٠,٥° درجة إلى حوالي ٢٢٪ من طول القطاع الطولي (جداول ١٥، ١٤) وهي بذلك أقل من مثيلاتها في أودية الحرم المكي الأخرى .

جدول رقم (١٤) معدل درجة انحدار القطاع الطولي لوادي محسر

	ارتفاع م	طول كم	المسافة الأفقية م	معدل الانحدار بالألف	درجة الانحدار	٪من طول القطاع
١	٨٠٠	.٠٠٠				
٢	٧٠٠	.١٢٥	١٢٥	٠,٨	٤٨	٠,٩٠
٣	٦٠٠	.٣٢٥	٢٠٠	٠,٥	٣٠	١,٤٥
٤	٥٠٠	.٥٧٥	٢٥٠	٠,٤	٢٤	١,٨١
٥	٤٠٠	١,٠٠٠	٤٢٥	٠,٢٣٥	١٤,١١	٣,٠٨
٦	٣٨٠	١,١٢٥	١٢٥	٠,١٦٠	٩,٦	٠,٩٠
٧	٣٦٠	١,٥٧٥	٤٥٠	٠,٠٥٥	٢,٦٦	٣,٢٦
٨	٣٤٠	٢,٨٢٥	١٢٥٠	٠,٠١٦	٠,٩٦	٩,٠٧
٩	٣٢٠	٤,٢٠٠	١٣٧٥	٠,٠١٤	٠,٨٧	٩,٩٨
١٠	٣٠٠	٥,٣٢٥	١١٢٥	٠,٠١٧	١,٠٦	٨,١٦
١١	٢٨٠	٦,٩٥٠	١٦٢٥	٠,٠١٢	٠,٧٣	٤٤,٧٩
١٢	٢٦٠	٨,٧٧٥	١٨٢٥	٠,٠١٠	٠,٦٥	١٣,٢٤
١٣	٢٤٠	١٠,٧٧٥	٢٠٠٠	٠,٠١٠	٠,٦	١٤,٥١
١٤	٢٣٥	١٣,٧٧٥	٣٠٠٠	٠,٠٠٢	٠,٠٩	٢١,٧٧

جدول رقم (١٥) النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لوادي محسر

فئات زوايا الانحدار (درجة)	النسبة المئوية من طول القطاع ٪	ملاحظـات
أقل من ٠,٥	٪ ٢١,٧٧	المجري الأدنى قرب المصب
٠,٥ – ١°	٨,٦٧°	المجرى الأدنى
١ – ٢°	٨,١٦°	نقطة تغير في الانحدار في بداية المجري الأدنى
أكثر من ٢°	١١,٤	المجرى الأعلى

ارتفعت النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار ٠,٥ — ١° درجة لتصل حوالي ٥٩٪ من طول القطاع الطولي وهي أعلى مثيلاتها في الأودية الأخرى مما يشير إلى شدة انحدار القطاع الطولي حتى في المجرى الأدنى لوادي محسر ، وقد تراوحت معدلات الانحدار بين٠,٠١٠ و ٠,٠١٦ .

وتبرز في هذا القسم من القطاع نقطة تغير في الانحدار عند خط الكنتور ٣٠٠م فوق مستوى سطح البحر بحيث يبدو القطاع محدباً عند هذا المنسوب الذي يقع عند الطرف الجنوبي لمنطقة مزدلفة .

وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا الانحدار لأكثر من ٢° إلى ما يزيد عن ١١٪ من طول القطاع الطولي وهو ما يشير إلى أنها الأعلى بين أودية الحرم المكي . وهي تمثل المجرى الأعلى لوادي محسر ، والذي ينحدر من ارتفاعات تزيد عن ٨٠٠م في جبل أحدب وبدرجة انحدار وصلت ٤٨° . مما يجعل القطاع الطولي لوادي محسر الأكثر انحداراً من بقية القطاعات الطولية الأخرى . ومما يزيد من أثر ذلك قصر طول القطاع الذي لا يزيد عن ١٤ كيلومتراً .

٣. **القطاع الطولي لوادي اللاحجة** :

وصلت النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لأقل من ٠,٥° درجة إلى حوالي ٧٢٪ من طول القطاع ويمثل ذلك المجرى الأدنى للوادي قرب المصب . (جداول ١٦ ، ١٧).

جدول رقم (١٦) معدل درجة انحدار القطاع الطولي لوادي اللاحجة

	ارتفاع	طول	المسافة الأفقية	معدل الانحدار	درجة الانحدار	٪من طول القطاع
١	٥٠٠	.٠٠٠				
٢	٤٠٠	.٣٢٥	٣٢٥	٠,٣٠٧	١٨,٤٦	١,٩٧
٣	٣٠٠	.٨٧٥	٥٥٠	٠,١٨١	١٠,٩٠	٣,٣٤
٤	٢٨٠	٢,٣٧٥	١٥٠٠	٠,٠١٣	٠,٧٩	٩,١١
٥	٢٦٠	٤,٩٥٠	٢٥٧٥	٠,٠٠٧	٠,٤٦	١٥,٦٦
٦	٢٤٠	٧,٢٠٠	٢٢٥٠	٠,٠٠٨	٠,٥٣	١٣,٦٨
٧	٢٢٠	١١,٢٠٠	٤٠٠٠	٠,٠٠٥	٠,٣٠	٢٤,٣٢
٨	٢١٠	١٦,٤٥٠	٥٢٥٠	٠,٠٠١	٠,١١	٣١,٩٢

جدول رقم (١٧) النسبة المئوية لفئات زوايا انحدار القطاع الطولي لوادي اللاحجة

فئات زوايا الانحدار (درجة)	النسبة المئوية من طول القطاع ٪	ملاحظات
أقل من ½°	٧١,٩٠ ٪	المجري الأدنى قرب المصب
٠,٥ — ١°	٢٢,٧٩	المجرى الأدنى نقطة تغير في الانحدار
١ — ٢°	-	-
أكثر من ٢°	٥,٣١	المجرى الأعلى

وتبرز في هذا القسم من القطاع نقطة تغير في الانحدار عند خط الكنتور ٢٤٠م فوق مستوى سطح البحر يزداد فيها معدل الانحدار إلى ٠,٠٠٨ وهي أكثر انحداراً مما قبلها ٠,٠٠٧ أو بعدها ٠,٠٠٥ بحيث تشبه المسرعة . ويمثل شدة استواء هذا القطاع أعلى القيم مقارنة بالمجاري الدنيا للقطاعات الأخرى ، وهو ما أثر على الجريان في هذا الوادي حيث نادراً ما يصل تصريفه إلى المصب في وادي عرنة .

ب - **نقاط التغير في الانحدار :**

تبين من خلال الاستعراض السابق للقطاعات الطولية لأودية الحرم المكي أن هناك العديد من نقاط التغير في الانحدار برزت في قطاعاتها الطولية ، وكان أكثرها في وادي الزاهر عند مستويات ١٨٠ ، ٣٠٠ ، ٣٤٠متراً فوق سطح البحر . أما في وادي إبراهيم فقد كانت عند مستوى ١٦٠ ، ١٧٠ متراً وفي كل من وادي محسر ووادي اللاحجة كانت عند مستويات ٣٠٠ و ٢٤٠ متراً على التوالي.

وقد تبين بعد الرجوع إلى الخريطة الجيولوجية والملاحظات الحقلية عند المستويات المذكورة لنقاط التغير أنها جميعاً لا ترتبط بأي عقبات صخرية في مجاري هذه الأودية والتي تتغطى مجاريها الدنيا كلياً بالرواسب الرملية والحصوية. ومع استبعاد أنها نقاط تجدد للنحتRejuvenationPoint ترتبط بتغيرات مستوى أساس هذه الأودية نظراً للطبيعة السيلية لهذه الأودية ، فمن المرجح أن نقاط التغير في الانحدار جميعها إنما نجمت عن تراكم رواسب حمولة السيول التي غالباً ما تنتهي عند هذه النقاط في المجاري الدنيا لهذه الأودية ، وهو ما أعطاها أحياناً شكلاً محدباً عند هذه النقاط . وتبدو نهايات المجاري الدنيا لبعض الأودية قرب مصباتها مشابهة للمراوح الفيضية التي تتصف بسطح محدب كما هو معروف وخاصة في كل من وادي الزاهر ووادي إبراهيم . وهو ما يلقي الضوء على الطبيعة الحالية للتصريف المائي في هذه الأودية في ظل الظروف المناخية السائدة حالياً.

ونخلص من خلال العرض السابق للقطاعات الطولية لأودية الحرم المكي أن القطاع الطولي لوادي محسر هو الأكثر انحداراً بين هذه الأودية وهو سينعكس بطبيعة الحال على سرعة الجريان والاستجابة للفيضان بسرعة أكبر كما سيرد ذكره .

ثالثاً - الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض أودية الحرم المكي:

يعتبر هورتون Horton ١٩٤٥م المؤسس الحقيقي للدراسات المورفومترية لأحواض التصريف النهري، وهو من أشهر الهيدرولوجيين في تلك الفترة ، ولا تزال قوانينه مفيدة ومطبقة حتى الآن على الرغم من التعديلات الكثيرة والطرق الأحدث التي تناولت مثل هذا النوع من الدراسات، أمثال ستريلر Strahler ١٩٥٢م، ليوبولد Leopold وكيركبي Kirkby ١٩٦٩م.

وتجدر الإشارة إلى أن الخصائص المورفومترية لأي شبكة مائية إنما تفيد في إعطاء صورة عن الخصائص المورفولوجية لهذه الشبكة، وذلك بهدف معرفة درجة تطور هذه الشبكة بدقة باستخدام النتائج الرقمية للتحليل بدلاً من الأساليب الوصفية السابقة . ومن ثم إمكانية الاستفادة من ذلك في النواحي التطبيقية التي تخدم المشاريع المختلفة التي تقام ضمن أحواض الشبكات المائية، نظرا للعلاقة القوية بين كل من الخصائص الهيدرولوجية وكل من الخصائص الشكلية والمورفومترية.

وقد اتبعت طريقة ستريلر في ترتيب المجاري النهرية حسب تدرجها الهرمي، بينما استخدمت قوانين هورتون غالباً في عمليات التحليل المورفومتري لأودية المنطقة. وتجدر الإشارة إلى وجود العديد من الدراسات التي اعتمدت على هذه الطريقة ومنها دراسة جاد ١٩٧٤م، وعاشور ١٩٨٤م، والصالح ١٩٨٥م في مصر ، ودراسة البارودي في سوريا ١٩٨٤م ، وأبو صفط ١٩٨٠م، وفي الأردن دراسات سلامة ١٩٨٠م ، ١٩٨٢م ، وفي الجزائر بوروبه ١٩٩٩م .

أما في المملكة العربية السعودية فقد أجريت مجموعة من الدراسات المورفومترية لأحواض التصريف النهري على كل من الدرع العربي والرف العربي منها : دراسة مصطفى ١٩٨٢م عن حوض وادي حنيفة، ودراسة القاسم ١٩٩٣م لحوض وادي السلي بين الرياض والخرج ، ودراسة العقيل ١٩٩٤م ، ٢٠٠١م لكل من حوض وادي البره وحوض وادي لحاء . وقد تناولت الدراسة الأخيرة العديد من الخصائص التضاريسية والشكلية والمورفومترية لحوض وادي لحاء . أما دراسة المشاط ١٩٩٥م فقد شملت مجموعة من الخصائص المورفومترية لحوض وادي ليه في الدرع العربي . بينما أضافت دراسة مرزا ١٩٩٤م للخصائص المورفومترية لكل من حوض وادي فاطمة ووادي نعمان الاستعانة بالمرئيات الفضائية والخرائط الطبوغرافية مقياس ١ : ٥٠,٠٠٠ . أما دراسة فرحان ١٩٩٧م ، والصالح ١٩٩٩م لأحواض التصريف على تضاريس الدرع العربي والرف العربي فقد شملت قياسات مقارنة للمتغيرات المورفومترية فيما بينها باستخدام المرئيات الفضائية . بينما أشارت دراسة آل سعود ٢٠٠٠ للخصائص المورفومترية لأحواض التصريف في الرف العربي عن طريق النمذجة الرياضية للمتغيرات المورفومترية .

وسيتم من خلال هذا البحث إجراء مجموعة من أوجه التحليل المورفومتري والتي تخدم أساساً في إظهار الخصائص المورفولوجية وتحديد الخصائص الهيدرولوجية لأحواض أودية الحرم المكي (جدول ١٨).

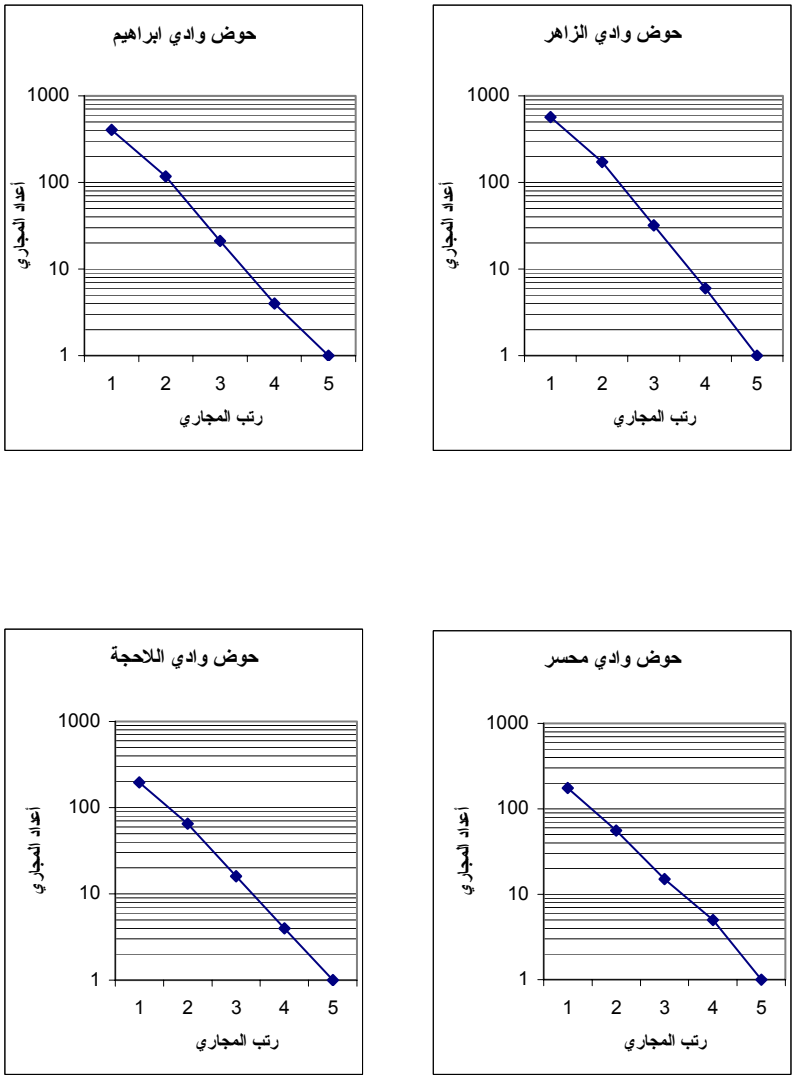
جدول رقم (١٨) الخصائص المورفومترية لأحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	عدد المجاري	مساحة الحوض (كم٢)	مجموع مساحة الرتبة الأولى (كم٢)	متوسط مساحة تصريف الرتب (كم٢)	تكرارية المجاري	تكرارية مجاري الرتبة الأولى	مجموع أطوال المجاري (كم٢)	معامل الفيضان	كثافة التصريف كم / كم٢	معدل النسيج
الزاهر	٧٧٧	١٤٧	٧٣	٠,١٩	٥,٢٨	٧,٧٥	٣٤٥	١٨,٢	٢,٣٤	٧,٦٩
إبراهيم	٥٤٧	١٢٧	٦١	٠,٢٣	٤,٣٠	٦,٦	٢٧٦,٣	١٤,٣	٢,١٧	٥,٩
محسر	٢٥٢	٦٧	٢٩,٥	٠,٢٦	٣,٨	٥,٩	١٥٣,٣	١٣,٦	٢,٣٠	٥,٩٧
اللاحجة	٢٨٢	٥٤	٢٥	٠,١٩	٥,٢	٧,٨	١٢٥,٥	١٨	٢,٣٢	٦,٣٨
أحواض أودية الحرم المكي	١٨٥٨	٣٩٥	١٨٨,٥	٠,٢١	٤,٧	٦,٩	٩٠٠,١	١٦,٠٢	٢,٢٨	٦,٤٨

أ- علاقة عدد المجاري المائية برتبها ومتوسط طولها:

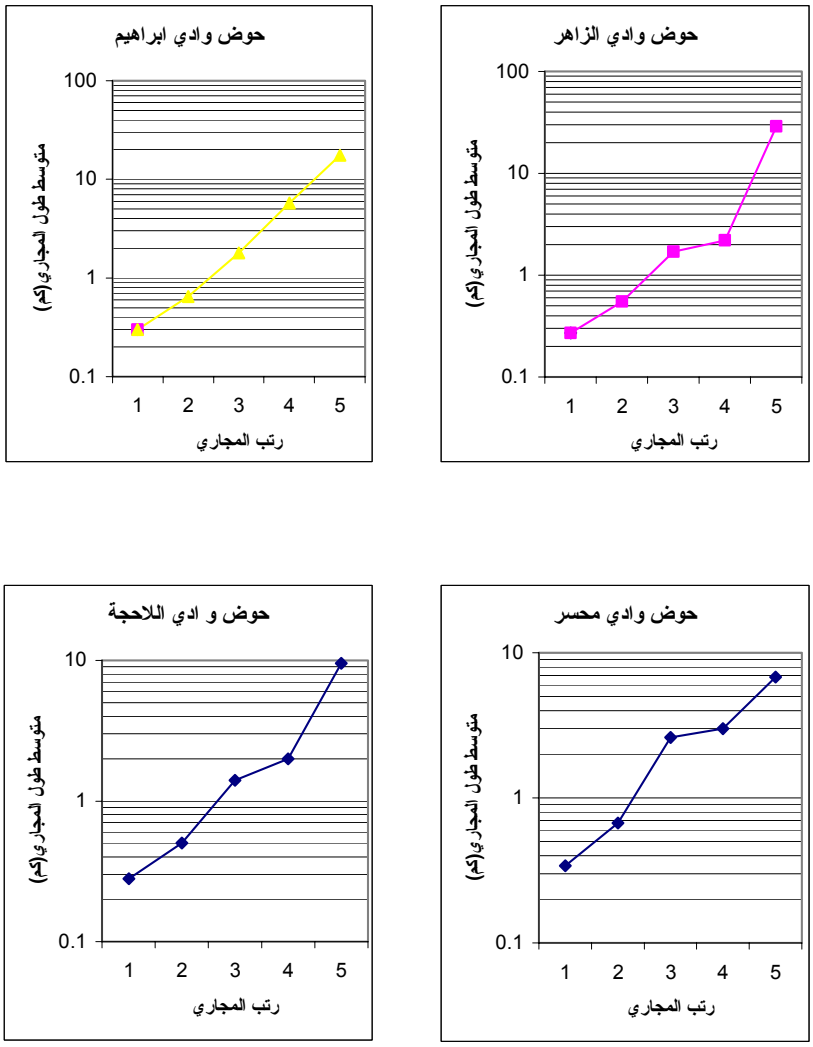
تم حساب وقياس أعداد ورتب المجاري المائية ومتوسط طولها في أحواض أودية الحرم المكي من خرائط الترتيب الهرمي لمجاري الشبكة المائية لهذه الأحواض (أشكال ١١، ١٢، ١٣، ١٤) وتبويبها في (الجدول رقم ١٩) وتم توقيع قيم الجدول السابق على رسوم بيانية إحداثها الرأسي مدرج بمقياس لوغاريتمي والأفقي بمقياس حسابي والمتمثلة في (الشكلين ١٧ و ١٨)، حيث يشير الشكل الأول إلى العلاقة بين أعداد المجاري المائية ورتبها بينما يشير الثاني إلى العلاقة بين رتب هذه المجاري ومتوسط طولها. ويتضح من (الجدول ١٩) و (الشكل ١٨) كل من الآتي:

شكل رقم (١٧) العلاقة بين رتب المجاري وأعدادها في أودية الحرم المكي



المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 25.000

شكل رقم (١٨) العلاقة بين رتب المجاري ومتوسط طولها في أودية الحرم المكي



المصدر: من عمل الباحثين اعتمادا على الخرائط الطبوغرافية مقياس 1: 25.000

جدول رقم (١٩) رتب المجاري المائية لأحواض الحرم المكي و متوسط طولها

اسم الحوض	الرتبة	عدد المجاري	نسبة الأعداد	مجموع أطوال المجاري كم	متوسط طول المجرى كم	معدلات التفرع
حوض وادي الزاهر	1	566	72	154.5	0.27	
	2	172	22	94.9	0.55	3.3
	3	32	4	53.5	1.7	5.4
	4	6	0.8	13.1	2.2	4.6
	5	1	0.1	29	29	6
		777		345		4.82
حوض وادي ابراهيم	1	404	73	122	0.3	
	2	117	21	76.2	0.65	3.45
	3	21	3	37.6	1.8	5.6
	4	4	0.7	23	5.75	5.2
	5	1	0.1	17.5	17.5	4
		547		276.3		4.56
حوض وادي محسر	1	175	68	60	0.34	
	2	56	22	38	0.67	3.1
	3	15	6	34	2.6	3.7
	4	5	2	15.3	3	3
	5	1	0.8	6.8	6.8	5
		252		155.8		3.7
حوض وادي اللاحجة	1	196	69	55	0.28	
	2	65	23	33	0.5	3
	3	16	5	22	1.4	4
	4	4	1	8	2	4
	5	1	0.3	9.5	9.5	4
		282		127.5		4.27

١- إن مجموع عدد المجاري من الرتب المختلفة في أودية الحرم المكي قد وصل ١٨٥٨ مجرى منها ٧٧٧ مجرى في حوض وادي الزاهر و ٥٤٧ مجرى في حوض وادي إبراهيم و ٢٥٢ مجرى في حوض وادي محسر و ٢٨٢ مجرى في حوض وادي اللاحجة. وعلى الرغم من اختلاف أعداد رتب المجاري في الأحواض واختلاف

مساحاتها إلا أنها جميعاً لم تتعد الرتبة الخامسة.

٢- بلغ مجموع مجاري الرتبة الأولى في أحواض المنطقة ١٣٤١ مجرى بنسبة ٧٢٪ من مجموع مجاري الشبكة. بينما وصل مجموع مجاري الرتبتين الأولى والثانية ١٧٥٢ مجرى أي بنسبة ٩٤٪ من مجموع مجاري الشبكة. وتتقارب هذه القيمة من نسب أحواض أخرى مشابهة كحوض وادي حنيفة ٩٤,٢٪ (مصطفى، ١٩٨٢، ص٢٢٣) وحوض وادي السلي ٩٣,٢٨٪ (القاسم، ١٩٩٣، ص١٠٣) وحوض وادي لحاء ٩٤,٣٦٪ (العقيل، ٢٠٠١، ص ٣٢٤) وهي نسبة عالية إذا ما قورنت ببعض الأحواض في المناطق الرطبة فقد وصلت ٨٩,٦٪ في حوض نهر الكبير الشمالي في سوريا (أبو صفط، ١٩٨٠، ص ص ١٨٢- ١٨٥). ويرجع الفرق بين المناطق الرطبة والجافة إلى خلو الأخيرة من الغطاء النباتي مما يزيد من نشأة روافد هاتين الرتبتين. إضافة إلى ما تساهم به الفواصل والشقوق والصدوع الثانوية من دور في اتجاهات وأعداد هذه الروافد (مرزا والبارودي، ٢٠٠٤، ص١١٧- ١٢٤)

٣- يتضح من (الشكل ١٨) شذوذ الرتبة الأولى في كل من حوض وادي الزاهر ووادي إبراهيم عن القيمة الافتراضية لها حسب المتوالية الهندسية المعكوسة لهورتون Horton ويمكن تفسير قلة أعدادها بتجاور هذين الحوضين الضيقين وتنازعهما على خط تقسيم المياه بينهما مما لم يسمح بتطوير ونمو أعداد الرتبة الأولى فيهما، إضافة إلى أن الرتبة الأولى دائماً ما تكون غير واضحة المعالم وبشكل عام على الخرائط الكنتورية مما أعاق من توقيعها وقلة أعدادها.

٤- شذوذ الرتبة الثانية والثالثة في حوض وادي محسر فقد قلت أعدادهما عن القيمة الافتراضية لهما وانحرافهما عن الخط المستقيم الذي يمثل المتوالية الهندسية، ويرجع السبب في ذلك إلى زيادة أطوال الرتبة الثالثة التي نشأت في أودية صدعية كوادي المعيصم ووادي منى ووادي العزيزية كما أن شدة انحدار

السفوح لكل من منى والعزيزية قد منع تطوير أودية الرتبة الثانية.

٥- قلت أعداد مجاري الرتبة الأولى عن القيمة الافتراضية لها في حوض وادي اللاحجة ويمكن تفسير ذلك بقلة ارتفاعات الحوض وخاصة في الجهات الغربية مما قلل من هذه الأعداد.

كما يتضح من (الجدول ١٩) و(الشكل ١٨) الذي يشير إلى العلاقة بين رتب المجاري المائية ومتوسط طولها إلى أن هناك شذوذاً في متوسط طول مجاري الرتبة الرابعة والخامسة في حوض وادي الزاهر حيث تبدو الرتبة الرابعة أقل من قيمتها الافتراضية بينما تبدو الرتبة الخامسة بأكثر من قيمتها، ويرجع السبب في ضيق الحوض وشدة انحدار قطاعه العرضي اللذان لم يمكنا الرتبة الرابعة من زيادة طول هذه المجاري، بينما كان للامتداد الطولي للحوض على طول خط الصدع أن زاد طول الرتبة الخامسة إلى قيم مرتفعة جداً. وعلى العكس من ذلك في حوض وادي إبراهيم فإنه باستثناء الشذوذ البسيط في متوسط طول الرتبة الأولى حيث بدت بأقل من قيمتها فإن متوسط طول المجاري في الحوض يتناسب تماماً مع المتوالية الهندسية حسب هورتون وتبدو على هيئة خط مستقيم.

أما في كل من حوض وادي محسر ووادي اللاحجة فقد شذت مجاري الرتبة الثالثة عن قيمتها الافتراضية وبدت أكثر طولاً من بقية الرتب في وادي محسر، وذلك لأسباب بنيوية ذكرت عن أعداد الجاري. بينما قل متوسط طول الرتبة الثانية والرابعة عن قيمتيهما الافتراضية في حوض وادي اللاحجة وذلك لوقوع معظم الحوض في مناطق منخفضة نسبياً وأقل أمطاراً مما لم يسمح بتطوير مجاري الرتبة الثانية إضافة إلى تأثير العوامل البنيوية في شكل الحوض والذي أثر بدوره على متوسط طول الرتبة الرابعة.

ونخلص إلى انه بقدر ما توافقت رتب المجاري وأعدادها مع المتوالية الهندسية المعكوسة نجد العكس من ذلك بين رتب المجاري ومتوسط طولها حيث من المفترض أن تزداد أطوال هذه المجاري بمتوالية هندسية مباشرة مع ازدياد الرتبة. وإن دل ذلك على شيء فهو مدى تأثير العوامل البنيوية وخاصة الصدوع على أطوال المجاري.

ب - نسبة التفرع : Bifurcation Ratio

يمكن تعريف نسبة التفرع في أي حوض تصريف بأنها النسبة بين عدد المجاري في أي رتبة إلى عدد المجاري في الرتبة التي تليها ويشير الجدول ١٩ إلى نسبة التفرع بحسب هورتون أنها في حوض وادي الزاهر هي أعلى ما تكون وقد وصلت ٤,٨٢ تليها نسبة التفرع في حوض وادي ابراهيم ٤,٥٦ ثم حوض وادي اللاحجة ٤,٢٧ وأخيراً حوض وادي محسر ٣,٧ . وتعتبر هذه النسب غير متوافقة مع أرقام هورتون Horton والتي تتراوح بين ٢- ٤ (Horton ,1945,p.2b6)إلا أنها متوافقة مع ستريلر(Strahler,1975, p.450) الذي أعطى قيما تتراوح بين ٣- ٥ ولا تختلف إطلاقاً مع النسبة التي أشار إليها شم Schumm (Schumm, 1958, p.603) وتشير النتائج المرتفعة لكل من حوض وادي الزاهر ووادي ابراهيم عن حوضي وادي محسر واللاحجة الى زيادة تضرسهما. ومن المعروف ان نسبة التفرع تختلف من حوض لآخر تبعاً لعدة عوامل مؤثرة بنيوية ومناخية وعمرية ولذا فإن أحواض منطقة البحث لا تكاد تختلف كثيراً عن بعضها في مدى تأثرها بهذه العوامل.

ويمكن حساب نسبة التفرع الإجمالي لأحواض أودية الحرم المكي حسب طريقة ستريلر والتي يمكن استخراجها من مجموع عدد المجاري لكل رتبتين متتاليتين وضربه بنسبة التفرع بحسب هورتون ومن ثم تقسيم مجموع الناتج على مجموع عدد المجاري.

ويشير الجدول ٢٠ الخاص بمتوسط نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي الزاهر أن هذه النسبة قد انخفضت من ٤,٨٢ حسب هورتون إلى ٣,٨٤ وهي تتفق تماماً مع كل من متوسطات هورتون وستريلر.

جدول رقم (٢٠) متوسط نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي الزاهر

مجموع الرتب	عدد المجاري المائية لكل رتبتين متتاليتين	معدل التفرع بحسب هورتون	عدد المجاري× معدل التفرع
٢+١	٧٠٦	٣,٣	٢٣٢٩,٨
٣+٢	١٩٣	٥,٦	١٠٨٠,٨
٤+٣	٣٥	٤,٨	١٦٨
٥+٤	٧	٦	٤٢
	٩٤١		٣٦٢٠,٦

متوسط نسبة التفرع الإجمالي= ٣٦٢٠,٦ ÷ ٩٤١ = ٣,٨٤

وبتطبيق متوسط نسبة التفرع الإجمالي على حوض وادي إبراهيم والذي تظهر نتائجه في جدول(٢١) أن هذه النسبة قد انخفضت من ٤,٥٦ بحسب هورتون إلى ٣,٩٤.

جدول رقم (٢١) نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي إبراهيم

مجموع الرتب	عدد المجاري المائية لكل رتبتين متتاليتين	معدل التفرع بحسب هورتون	عدد المجاري× معدل التفرع
٢+١	٥٢١	٣,٤٥	١٧٩٧,٤٥
٣+٢	١٣٨	٥,٦	٧٧٢,٨٠
٤+٣	٢٥	٥,٢	١٣٠
٥+٤	٥	٤	٢٠
المجموع	٦٨٩		٢٧٢٠,٢٥

متوسط نسبة التفرع الإجمالي = ٢٧٢٠,٢٥ ÷ ٦٨٩=٣,٩٤

ويشير الجدول ٢٢ الذي يبين متوسط نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي محسر إلى أن هذه النسبة قد انخفضت أيضاً إلى ٣,١٢ بدلاً من ٣,٧ حسب متوسط نسبة التفرع لهورتون.

(جدول٢٢) نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي محسر

مجموع الرتب	عدد المجاري المائية لكل رتبتين متتاليتين	معدل التفرع بحسب هورتون	عدد المجاري× معدل التفرع
٢+١	٢٣٢	٣	٦٩٦
٣+٢	٧٤	٣,٦	٢٦٦,٤
٤+٣	٢١	٣,٢	٦٧,٢
٥+٤	٣	٢	٦
	٣٣٧		١٠٥٣,١

متوسط نسبة التفرع الإجمالي=١٠٥٣,١ ÷ ٣٣٧ =٣,١٢

أما الجدول ٢٣ فيشير إلى نسبة متوسط التفرع الإجمالي لحوض وادي اللاحجة ويتضح منه أيضاً انخفاض هذه إلى ٣,٣٤ بدلاً من متوسط نسبة التفرع ٤,٢٧ حسب هورتون .

جدول رقم (٢٣) نسبة التفرع الإجمالي لحوض وادي اللاحجة

مجموع الرتب	عدد المجاري المائية لكل رتبتين متتاليتين	معدل التفرع بحسب هورتون	عدد المجاري× معدل التفرع
٢+١	٢٦١	٣	٧٨٣
٣+٢	٨١	٤	٣٢٤
٤+٣	١٩	٥,٣	١٠٠,٧
٥+٤	٤	٣	١٢
	٣٦٥		١٢١٩,٧

متوسط نسبة التفرع الإجمالي =١٢١٩,٧÷ ٣٦٥=٣,٣٤

وهكذا يتبين من خلال ما سبق توافق نسبة التفرع ومتوسط نسبة التفرع الإجمالي لأحواض أودية الحرم المكي ، فالأحواض المرتفعة في نسبة تفرعها حسب هورتون هي نفس الأحواض المرتفعة في متوسط نسبة التفرع الإجمالي بحسب ستريلر وتفيد نسبة التفرع لأي حوض تصريف بتقدير سريع لأعداد مجاري الحوض إضافة إلى أنها تسمح بالتنبؤ بوقت الفيضانات في المجرى الرئيسي للحوض. حيث يزداد خطر الفيضان كلما قلت نسبة التفرع والتي غالباً ما تميز الأحواض قليلة التضرس كما هو الحال في حوض وادي محسر ويقل خطر الفيضانات السريعة كلما زادت نسبة التفرع وزادت نسبة التقطيع والتضرس كما هو الحال في حوض وادي الزاهر.

جـ . **كثافة التصريف** Drainage Density

تشير كثافة التصريف النهري لأي حوض عادة إلى العلاقة النسبية بين مجموع أطوال المجاري المائية في هذا الحوض ومساحته حسب ما أشار إليه هورتون (Horton,1945,p.283) . وتعتبر كثافة التصريف مؤشراً مهماً على مدى تأثر المناطق الحوضية بعمليات التعرية النهرية والتي بدورها تتأثر بكل من الظروف التضاريسية والجيولوجية والبيومناخية السائدة . ونتيجة لذلك تختلف كثافات التصريف النهري بين البيئات المختلفة وحتى في البيئة الواحدة مع اختلاف الظروف المؤثرة الأخرى .

وتنبع أهمية و دراسة كثافة التصريف في هذا البحث من ارتباطها الوثيق بكميات التصريف المائي في أحواض المنطقة المدروسة . كما أنها أحد العوامل المؤثرة في زمن الاستجابة للجريان في هذه الأحواض ، نظراً إلى أن زمن الاستجابة يتناسب طردياً مع طول الأحواض . وهو ما يعني أن هناك علاقة ما بين الكثافة والخصائص المساحية والشكلية لهذه الأحواض أيضاً . ويمكن حساب كثافة التصريف النهري باستخدام المعادلة التالية : $D = (\sum LUkm / AKm^2)$

(Schumm ,1956 ,p.607)

حيث أن D هي الكثافة ، و $\sum$ LU هي مجموع أطوال المجاري كم ، و A مساحة الحوض كم٢ ويوضح الجدول ٢٤ الذي يشير إلى كثافة تصريف الشبكة المائية لأحواض الحرم المكي (والتي نجمت عن قسمة مجموع أطوال المجاري في كل حوض على مساحته) إلى مجموعة من المؤشرات التي يمكن تلخيصها فيما يلي :

١- وصلت الكثافة العامة لأحواض أودية الحرم المكي ٢,٢٨ كم / كم٢ وهي بذلك تشبه كثافة التصريف النهري لأودية أخرى في الدرع العربي (بوروبه ، ٢٠٠٢م، صفحة ٤٠ – ٤١) وأكبر بكثير من كثافة تصريف أودية الحرم النبوي والتي تراوحت بين٢١، ٠ و ٠,٣٠ كم / كم٢ (الدوعان ، ١٩٩٩م، صفحة ٢٦) ، بينما تختلف كثيراً عن أودية أخرى في الوطن العربي حيث تختلف طبيعة الصخور الرسوبية ومدى استجابتها لعمليات التعرية عن صخور الدرع العربي مما يزيد من قيم هذه الكثافة (العقيل ، ٢٠٠١م، صفحة ٣٦٤).

٢- تكاد تتشابه قيم الكثافة بين أحواض أودية الحرم المكي نظراً للتشابه في الظروف الطبيعية المؤثرة في قيم هذه الكثافة .

٣- ترتفع كثافة التصريف نسبياً في بعض الأودية كوادي الزاهر ووادي اللاحجة وهو ما يشير إلى تأثر هذين الحوضين بعمليات التعرية بشكل أكبر من غيرها من أحواض منطقة الحرم المكي و تشير القيم المرتفعة لمعدل النسيج الطبوغرافي (جدول ٦) والتي وصلت إلى ٧,٦٩ و ٣٨ ، ٦ والقيم المرتفعة لتكرارية المجاري والتي وصلت إلى ٢٨ ، ٥ و٢٢ ، ٥ مجرى / كم٢ لكل من الحوضين على التوالي (جدول ١٨) إلى توافقها مع ارتفاع قيم الكثافة لهذين الحوضين .

٤- مقارنة بالارتفاع القليل نسبياً لقيم الكثافة في حوض الزاهر واللاحجة مقارنة بقيم النسيج الطبوغرافي أو تكرارية المجاري فإن قيم الكثافة تبدو أكثر ارتباطاً بأطوال المجاري منها بأعدادها في الحوضين المذكورين .

جدول رقم (٢٤) كثافة التصريف المائي ومعدل تكرارية المجاري لأحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	طول المجاري (كم)	مساحة الأحواض (كم٢)	كثافة التصريف كم / كم٢	تكرارية المجاري مجرى / كم٢
حوض وادي الزاهر	٣٤٥	١٤٦ ، ٨	٢، ٣٥	٥، ٢٨
حوض وادي إبراهيم	٢٧٦، ٣	١٢٧	٢، ١٧	٤، ٣٠
حوض وادي محسر	١٥٣ ، ٣	٦٧	٢، ٢٨	٣، ٧٦
حوض وادي اللاحجة	١٢٥، ٥	٥٤	٢، ٣٢	٥، ٢٢
المجموع	٩٠٠، ١	٣٩٤، ٨	٩، ١٢	١٨، ٥٦
الكثافة العامة والمتوسط			٢، ٢٨	٤، ٤٦

د . **تكرارية المجاري المائية** :

يعتبر معدل تكرارية المجاري المائية أحد المعايير الهامة في الدراسة المورفومترية ، فهي تشير إلى مدى تكرار المجاري المائية في وحدة مساحة ثابتة ، وعادة ما تكون مجرى/كم٢ . ولذلك فإن تغير مساحة الأحواض يلعب دوراً أساسياً في ارتفاع أو انخفاض معدل تكرارية المجاري المائية ، وعلى الرغم من التشابه بينها وبين كثافة التصريف النهري إلا أن تكرارية المجاري تتأثر بأعداد المجاري وليس

بمجموع أطوالها كما في الكثافة . على الرغم من العلاقة الكبيرة التي قد تربط بينها . ويمكن حساب معدل تكرارية المجاري باستخدام المعادلة التالية :

$$F = a / \sum Nu$$

(Chorley , 1967 , pp.146-47)

حيث أن F هي تكرارية المجاري و a المساحة الحوضية كم٢ بينما $\sum Nu$ تساوي مجموع أعداد المجاري من الرتب المختلفة كم . ومع تطبيق ذلك على أحواض منطقة البحث أمكن ملاحظة الآتي :

١- وصل أعلى معدل لتكرارية المجاري في حوض وادي الزاهر (٢٨ ، ٥ مجرى /كم٢) تلاه حوض وادي اللاحجة (٢٢ ، ٥ مجرى / كم٢) ، ثم حوض وادي إبراهيم (٣٠ ، ٤ مجرى / كم٢) . أما حوض وادي محسر فقد وصل إلى أقل معدل (٧٦ ، ٣ مجرى / كم٢) .

٢- يتبين من الجدول ٢٤ الخاص بكثافة التصريف المائي وتكرارية المجاري لأحواض أودية الحرم المكي أن تكرارية المجاري ترتفع في حوض وادي الزاهر ووادي اللاحجة حيث تصل إلى ٢٨ ، ٥ و ٢٢ ، ٥ مجرى / كم٢ على التوالي ، وهو ما يشير إلى مدى توافقها مع ارتفاع الكثافة نسبياً في هذين الحوضين .

٣- ينخفض معدل تكرارية المجاري بشكل واضح في حوض وادي محسر إلى ٧٦ ، ٣ مجرى / كم٢ وهو معدل منخفض مقارنة ببقية الأحواض . بينما تزيد كثافته عن حوض وادي إبراهيم ووصلت ٢٨ ، ٢ كم / كم٢ .

٤- يشير انخفاض معدل تكرارية المجاري في حوض وادي محسر مقارنة بحوض وادي إبراهيم والذي وصل ٣، ٤ مجرى / كم٢ بكثافة ١٧ ، ٢ كم / كم٢ إلى أن انخفاض معدل تكرارية المجاري في حوض وادي محسر ، إنما يرجع إلى زيادة متوسط طول المجرى في الحوض

(٦٠ ، ٠ كم . وهو أعلى متوسط طول في المنطقة كلها) أكثر من ارتباطه بكثافة التصريف النهري التي تفوق حوض وادي إبراهيم . مما يشير إلى أن امتداد المجاري لحوض وادي محسر لمسافات طويلة في بطاح مزدلفة ومنى و العزيزية والعوالي مما قلل من أعدادها وبالتالي من معدل تكرارها .

٥- ترتفع تكرارية المجاري في حوض اللاحجة عنه في محسر نظراً لزيادة أعداد المجاري في حوض اللاحجة عنه في حوض وادي محسر بنسبة ٩٪ وفي الوقت نفسه تفوق مساحة حوض وادي محسر مساحة حوض وادي اللاحجة بنسبة٢٠٪ مما يؤكد أن زيادة المساحة في الأول قد لعبت الدور الأساسي في انخفاض تكرارية المجاري فيه .

٦- يمكن الاستدلال من النقاط السابقة أن زيادة أطوال المجاري التي يمكن أن ترفع كثافة التصريف لا تؤدي بالضرورة إلى زيادة أعداد المجاري ومن ثم تكراريتها. ومن ثم ترتبط تكرارية المجاري بزيادة الأعداد وتغيرات المساحة أكثر من ارتباطها بالأطوال .

هـ . الجريان في أودية الحرم المكي :

تختلف العوامل المؤثرة في الجريان من منطقة إلى أخرى ، إلا أنها تشمل بشكل عام كل من المناخ والجيولوجيا والتضاريس والتربة والنبات الطبيعي . ويختلف تأثير كل عامل من هذه العوامل سلباً أو إيجاباً في تكوين الجريان السطحي .

ويبدأ الجريان عادة بعد تشبع التربة السطحية ، أو بشكل أدق في حال زادت شدة المطر على التسرب . وقد ينجم عن التساقط الكثيف للأمطار تماسك سطح التربة ، وهو ما يقلل من نفاذيتها ومن ثم انخفاض نسبة التسرب وازدياد الجريان . ويختلف ذلك بطبيعة الحال بين الترب الطينية والترب الرملية فالأولى غالباً ما يكون التسرب فيها ضعيفاً لقلة

نفاذيتها على العكس من الترب الرملية التي تسرب المياه بسهولة وفي وقت قصير إلى الأعماق ومن ثم تقلل من الجريان السطحي .

وتنتشر الترب الرملية والحصوية غالباً في معظم منطقة أودية الحرم المكي ، فهي إما في مجاري الأودية أو في جيوب أو شقوق الصخور المكونة لسفوح الجبال ... ورغم ذلك فهي لا تكاد تؤثر كثيراً على طبيعة الجريان الفجائي لمنطقة البحث نظراً لتغلب العوامل الأخرى المؤثرة في الجريان .

أما الغطاء النباتي فهو عادة على علاقة طردية مع التسرب بمعنى أنه كلما زادت كثافة الغطاء النباتي زاد تسرب ماء المطر وذلك نتيجة للدور الذي تقوم به الجذور والجذوع من تفكك لسطح التربة ، وبدلاً من تماسكها في حالة التساقط تؤدي إلى تسرب نسبة عالية من مياه الأمطار . وبالنظر إلى منطقة البحث فإن سطحها يكاد يخلو من الغطاء النباتي باستثناء ما ينمو من حشائش حولية عقب سقوط المطر أو أشجار شوكية تنمو في شقوق وجيوب الترب على السفوح الجبلية . وهو ما يعني أن دور الغطاء النباتي في الجريان هو دور سلبي في منطقة البحث عموماً ، باستثناء ذلك الغطاء الذي ينمو في مجاري الأودية على شكل أشجار متباعدة من السمر أو نباتات معمرة كنبات العشر .

أما عاملي التضاريس والجيولوجيا فهما من أهم العوامل المؤثرة في الجريان السطحي عموماً ومنطقة البحث بشكل خاص . فتضاريس أودية الحرم المكي تتميز بسفوح شديدة الانحدار وهو ما يؤدي إلى الجريان الفوري لمياه الأمطار الساقطة نحو شبكة التصريف المائي لأحواض المنطقة. وإذا أضفنا إلى عامل الانحدار نوعية الصخور النارية البلورية غير المنفذة والتي يتكون معظمها من الجرانيت والجرانوديوريت يصبح جلياً أن هذه السفوح الجبلية الصخرية غير المنفذة والمنحدرة بشدة والخالية من الغطاء

النباتي والتربة تؤدي جميعها إلى ما يسمى بالجريان السطحي المتطرف ، خاصة و أن أمطار منطقة البحث كما سبقت الإشارة إليه هو من النوع الفجائي والكثيف الذي يتسبب غالباً في سيول عارمة خلال فترة قصيرة لا تتعدى ساعات معدودة . وتصبح هذه النتيجة مؤكدة فيما إذا ساهمت السمات الشكلية والخصائص المورفومترية والهيدرولوجية لأحواض منطقة البحث .

و . **معامل الفيضان والاستجابة وسرعة الجريان لأحواض منطقة البحث:**

تؤثر السمات الشكلية والخصائص المورفومترية للأحواض بشكل كبير على خصائصها الهيدرولوجية ، فهي إما أنها تزيد من سرعة حركة الماء في المجاري ومن ثم وصول الفيضان إلى نهاية الحوض أو إلى أي موقع على امتداد المجرى الرئيسي لهذا الحوض ، أو أنها تعيق هذه الحركة. وعادة تتحكم العوامل السابقة ليس فقط في نمط الفيضان، بل و في الفاصل الزمني بين تساقط المطر و حدوث الفيضان . و يتبين من الجدول رقم ١٨ الذي يشير إلى الخصائص الموفومترية لأحواض أودية الحرم المكي أن متوسط معامل الفيضان لأحواض المنطقة وصل ٠٢، ١٦ و قد تم استخراج هذا المعامل من حاصل ضرب كثافة التصريف لكل حوض (كم/كم٢)في تكرارية مجارى الرتبة الأولى (مجرى/كم٢) .كما يشير الجدول إلى أن أعلى قيم لمعامل الفيضان كانت لحوض وادي الزاهر ووصلت ٢، ١٨ ، تلاه حوض وادي اللاحجة (١٨) ، ثم حوض وادي ابراهيم (٣، ١٤) و أخيراً حوض وادي محسر ٦، ١٣ . و يرجع السبب في ذلك إلى ارتفاع كل من عدد مجارى الرتبة الأولى في كل من حوض وادي الزاهر و حوض وادي اللاحجة إضافة إلى ارتفاع كثافة التصريف عند بقية الأحواض . و رغم ذلك فإن كل من زمن الاستجابة و سرعة الجريان هي الأكثر تحديداً للخصائص الهيدرولوجية لأحواض المنطقة . و يمكن قياس

زمن الاستجابة (التركيز) بالفترة الزمنية التي يستغرقها جريان الماء من أبعد نقطة في الحوض إلى نهايته أو إلى أي موقع على طول امتداد المجرى الرئيسي . و يمكن حساب زمن استجابة أحواض المنطقة من خلال المعادلة التالية :

$$Tc = 76.3 \sqrt{s}/\sqrt{i}$$

(Jaton,1980,p.41)

حيث أن Tc هي زمن الاستجابة (التركيز) ، و S مساحة الحوض (كم٢) و i معدل الانحدار (٪) . و بعد تطبيق المعادلة أعلاه على أحواض المنطقة و الذي تم تسجيله في الجدول رقم ١٧ فقد بين ما يأتي :

١. أن أعلى زمن استجابة هو لحوض وادي الزاهر ووصل إلى ٤ ساعات و ١٢ دقيقة، تلاه حوض وادي إبراهيم بحوالي٣ساعات، ثم حوض وادي اللاحجة (ساعة واحدة و٤٠ دقيقة)، بينما وصل حوض وادي محسر إلى ساعة واحدة و٣٣ دقيقة .

جدول رقم (٢٥) معدل سرعة الجريان و زمن الاستجابة لأحواض أودية الحرم المكي

اسم الحوض	مساحة الحوض كم٢	طول المجرى الرئيسي كم	أعلى منسوب للحوض م	أدنى منسوب للحوض م	معدل انحدار الحوض ٪	زمن التركيز (الاستجابة) دقيقة	سرعة الجريان السطحي م/ثا	معامل الفيضان
الزاهر	١٤٧	٣٩	٦٧٠	١٤٣	١٣ ،٥١	٢٥٢	٠و٧٠	**١٨ ،٢**
إبراهيم	١٢٧	٣٦	٩٨٧	١٥٣	٢٣ ،١٦	١٧٩	٠ ،٩٣	**١٤ ،٣**
محسر	٦٧	١٥	٩١٩	٢٣٨	٤٥ ،٤	٩٣	٠ ،٧٥	**١٣ و٦**
اللاحجة	**٥٤**	**١٦**	**٧١٩**	**٢١٣**	**٣١,٣٢**	**١٠٠**	**٠,٧٤**	**١٨**

٢. تشير قيم زمن استجابة الأحواض للجريان إلى علاقتها العكسية مع معدلات انحدار هذه الأحواض و التي بلغت أقصاها في حوض وادي محسر، حيث وصل معدل الانحدار فيه إلى حوالي ٤٥٪ .

أما سرعة الجريان السطحي التي يعبر عنها متر/ ثانية و التي تم استخراجها من خلال المعادلة التالية :

$$V = L\,(m) / 3{,}6\ TC\,(S)$$

(JATON , 7980 , P. 42)

حيث V هي سرعة الجريان السطحي، و L(m) هي طول المجرى الرئيسي بالأمتار، بينما TC (S) تمثل زمن الإستجابة بالثوان . فقد أظهرت نتائج تطبيق المعادلة الموضحة نتائجها في الجدول ٢٥ ما يلي :

١. أن أعلى معدل سرعة جريان سطحي كانت لوادي إبراهيم ووصل٠,٩٣ متر/ثانية، بينما أقلها كانت لوادي الزاهر ووصلت ٧٠، ٠ متر/ثانية ن بينما تساوت معدلات سرعة الجريان السطحي تقريباً لكل من وادي محسر ووادي اللاحجة ووصلت ٧٥، ٠ و ٧٤، ٠ متر/ثانية على التوالي.

٢. تعكس سرعة الجريان في أحواض المنطقة معدل انحدار هذه الأحواض و يظهر ذلك جلياً في حوض وادي الزاهر حيث تتوافق سرعان الجريان السطحي مع قيم معدل الانحدار المنخفض ، بينما يرتفع معدل سرعة الجريان كما يرتفع معدل الانحدار في حوض وادي إبراهيم .

٣. ترجع قلة معدل سرعة الجريان السطحي في حوض وادي محسر و حوض وادي اللاحجة ليس إلى انخفاض معدل الانحدار بقدر ما يرجع إلى المساحات الواسعة و المستوية في المجاري الدنيا لهذين الحوضين ، نظراً لتركيز الانحدارات الشديدة في الحوض في المجاري العليا لهذا الحوض .

رابعاً : اثر السمات الشكلية و المورفومترية على نشاة السيول العرمة :

تعد السمات التضاريسية و الشكلية و الخصائص المورفومترية لأي حوض هي الأساس الذي تتعامل معه سرعة الجريان السطحي و من ثم الفيضانات العرمة التي تحدث في المناطق الجافة و شبه الجافة و منها منطقة أودية الحرم المكي . و يصعب بشكل كبير الفصل بصورة كمية بين دور أي من هذه العوامل المتحكمة في سرعة الجريان و الفيضانات نظراً للتداخل الكبير فيما بينهما . و رغم أن السمات الطبيعية عموماً كالتضاريس والجيولوجيا يمكن تحديد دورها إلا أن بعضها منها كالنبات الطبيعي و استخدامات الأراضي داخل الأحواض لا يمكن تحديد دورها أو قياس مقدار مساهمته بشكل دقيق في الجريان و الفيضان، وذلك على العكس من دور السمات الشكلية والخصائص المورفومترية التي أمكن قياسها بدقة. كمساحة الأحواض وأشكالها ومعدل انحدارها وارتفاعها عن منطقة المصب .

وتعتبر مساحة الأحواض عادة من المسلمات التي تشير إلى أنه كلما زادت مساحة الحوض زادت مساحة شريحة الأمطار الساقطة عليه و بالتالي كمياتها، إلا أن ذلك لا يعني بالضرورة جريان سريع و سيول عارمة نظراً لأن العلاقة غالباً ما تكون عكسية بين ازدياد مساحة الأحواض و معدل انحدارها، فكلما زادت مساحة الأحواض قل انحدارها ومن ثم قلل ذلك من سرعة التدفق و الجريان .

أما عامل الشكل و هي نسبة معدل العرض إلى أقصى طول للحوض فقد تأكدت أهميته نظراً إلى أن المياه تقطع مسافات طويلة كلما زادت استطالة الأحواض قبل الوصول إلى مصباتها على العكس من الأحواض الدائرية أو الكمثرية النموذجية الشكل . فالمساحة الكبيرة لأحواض الزاهر وإبراهيم تعطي مؤشراً على الأحجام الكبيرة لمياه الأمطار التي تسقط عليها و على افتراض ثبات معدل الأمطار على الأحواض الأخرى

كحوض وادي محسر و حوض وادي اللاحجة ، وثبات العوامل المؤثرة الأخرى فإن عامل الشكل الذي يبلغ ١٢٠. ٠ و ١١٠. ٠ على التوالي لكل من حوضي وادي الزاهر ووادي إبراهيم هما أقل بكثير من عامل الشكل لحوضي وادي محسر ووادي اللاحجة و الذي يبلغ ٠,٣٩٠ و ٠,٣١٠ على التوالي . وهو ما ينطبق أيضاً على نسب الاستطالة و معامل الاستدارة (جدول ٩) و يدل ذلك بطبيعة الحال على فيضان أسرع في كل من محسر و اللاحجة ، على الرغم من أنهما لا يتمتعان بأعلى معدل لسرعة الجريان (انظر جدول ٢٥)، إلا أنه يمكن التأكيد على خاصية ذلك من خلال زمن الاستجابة لهذين الحوضين و الذي يقل عن نصف الفترة الزمنية لكل من حوضي الزاهر و إبراهيم .

أما ارتفاع الحوض و معدل انحداره فهو ذو أهمية قصوى في نشأة السيول العارمة ، فارتفاع الحوض فوق منطقة المصب يلعب دوراً هاماً في معدل ازدياد الأمطار مع الارتفاع ومن ثم كميات المياه التي ستساهم في الجريان إضافة إلى عوامل أخرى إيجابية أيضاً رغم الدور الثانوي لها كانخفاض درجات الحرارة وقلة التبخر ... أما أهمية الدور الذي يلعبه الانحدار في الجريان فلا تحتاج الكثير من العناء لتوضيحها إلا أن الكثير من الدراسات قد ركزت على أهمية انحدار المجرى الرئيسي للحوض أكثر من بقية المجاري الأخرى في تحديد زمن الاستجابة للأحواض (Jaton,1980,p.42) وهو ما أعتمده الباحثان في هذه الدراسة ، أيضاً (جدول ٢٥) ، وقد أظهرت نتائج زمن الاستجابة أن ارتفاع معدل الانحدار لأحواض محسر واللاحجة واللذان يتصفان بأعلى معدل انحدار (٤٥,٤ ٪ و٣١,٢ ٪ على التوالي) في منطقة أودية الحرم المكي أنهما أيضاً يتميزان بأسرع استجابة بين أحواض المنطقة (١ ساعة و٣٣ دقيقة و ١ ساعة و٤٠ دقيقة على التوالي) .

وعلى الرغم من الدور الذي تولاه الكثير من الدراسات لأثر الخصائص المورفومترية لشبكات التصريف المائي (النهري) إلا أن القليل منها ذو أهمية خاصة في ذلك . فقد تمت المبالغة في أثر كل من نسبة التفرع وكثافة التصريف وتكرارية المجاري في تحديد معامل الفيضان للأحواض. ومع تطبيق معامل الفيضان على أحواض المنطقة والذي يأخذ بعين الإعتبار كلاً من كثافة التصريف النهري للأحواض وتكرارية مجاري الرتبة الأولى نجد أن النتائج قد أظهرت عدم وجود علاقة بين معامل الفيضان للأحواض وزمن الاستجابة بل وربما تكون علاقة عكسية بينهما كما في حوض وادي الزاهر الذي يتصف بأعلى معامل فيضان في مقابل أعلى زمن استجابة وأقل سرعة في الجريان السطحي (جدول ٢٥) .

حالات السيول العرمة في أحواض أودية الحرم المكي :

تبنى المدن قديماً على ضفاف الأنهار نظراً لحاجتها للماء، إلا أن المدن القديمة قد شغلت مناطق مرتفعة على جانب النهر وغالباً ما تكون مدرجات نهرية وذلك خوفا من فيضان النهر . ويبقى النهر الذي يتوسط المدينة القديمة هو أخفض النقاط فيها ، وهو يصرف مياه أمطار حوضية سواء في الحالات العادية أو أثناء الفيضان ، كما يصرف مياه الأمطار الساقطة على المدينة نفسها وأحياناً مياه الصرف الصحي لهذه المدن .

ولم تكن تختلف الصورة كثيراً في مدينة مكة المكرمة عن باقي المدن الواقعة على ضفاف الأنهار ، فقد بنيت على هوامش الشعاب بعيداً عن مجرى وادي إبراهيم ، ومن ثم كان الفيضان محصوراً في المجرى الذي هو في نفس الوقت أخفض مناسيب المدينة المقدسة . ولم تكن الشوارع حتى مطلع القرن العشرين مرصوفة بالإسفلت ، ومن ثم فلم تتغير المدينة من طبيعة الجريان السطحي لوادي إبراهيم كبقية الأحواض الطبيعية الأخرى.

أما في العصر الراهن فقد اختلف الجريان السطحي بشكل كلي نظراً للنهضة الشاملة التي شهدتها أرجاء المملكة العربية السعودية ، ومنها التوسع العمراني الذي تمثل في المدينة المقدسة برصف الشوارع والتوسع العمراني الهائل .

فقد احتلت الشوارع المسفلتة مجاري أودية إبراهيم والزاهر وأجزاء من وادي محسر . ومن ثم ألغيت هذه المجاري التي نحتتها هذه الأودية أصلاً . وكأنه قد ألغي النهر الذي قامت على أطرافه المدينة المقدسة . كما استغلت أطراف المجرى للبناء سواء التجاري منها والسكني . كما رصفت مساحات شاسعة من مشعري مزدلفة ومنى في وادي محسر وتقدر المساحة المغطاة بطرق الإسفلت والمباني والكتل الجبلية الصخرية بحوالي ما نسبته ٥٩ ٪ من مساحة أحواض أودية الحرم المكي موزعة على أحواض وادي إبراهيم ٨٠ ٪ ووادي الزاهر ٦٥ ٪ ووادي محسر ٥٠ ٪ ووادي اللاحجة ٤٠ ٪ من المساحة الإجمالية لهذه الأحواض .

ورغم المعالجة القديمة التي هدفت إلى درء أخطار السيول عن الحرم المكي والتي تمثلت ببناء سد العدل وتحويل أعالي وادي إبراهيم إلى حوض وادي الزاهر ، وبناء السدود على وادي الزاهر ، وآخرها تشييد شبكة من مجاري تصريف السيول شملت مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة ، إلا أن ازدياد التوسع العمراني وتغطية مساحات متزايدة من أراضي أو مجاري الأودية قد أدى وما يزال إلى المزيد من السيول العرمة والكارثية أحياناً . وليس هناك شك في أن ما نشير إليه من نتائج خلال هذا البحث ينطبق على أحواض أودية الحرم المكي في حالتها الطبيعية أو تحتاج بلا شك إلى إضافة المتغيرات التي طرأت على هذه الأحواض .

لقد أدى رصف الطرقات بالإسفلت وتشييد المباني إضافة إلى استخدامات الأرض الأخرى إلى قلة النفاذية، بل إلى انعدامها (باستثناء الحدائق وما شابهه) مما يعني تحول جميع كميات الأمطار إلى جريان سطحي بنسبة ١٠٠٪ وهو ما يؤدي ليس إلى زيادة هائلة في أحجام الجريان فقط بل وفي سرعته أيضاً ومن ثم يقل كثيراً زمن الاستجابة للأحواض عما تم التوصل إليه خلال هذا البحث . وغالباً ما يساوي زمن الاستجابة في الأحواض النهرية الطبيعية ضعف الزمن الذي يستغرقه الجريان السطحي في المناطق الحضرية، ومن ثم يجب أن يتم مراعاة ذلك عند تصميم شبكات تصريف السيول كما يجب أن تتناسب هذه الشبكات مع الاتجاه الطبيعي للجريان السطحي حسب نظام الحوض المائي .

المراجـــع

أولاً : المراجع العربية :

١- آل سعود ، مشاعل بنت محمد (٢٠٠٠م) نمذجة التحليل المورفومتري لشعيب نساح، سلسلة بحوث جغرافية العدد (٤٥)، الجمعية الجغرافية السعودية ، قسم الجغرافيا ، جامعة الملك سعود بالرياض .

٢- أحمد ، بدر الدين يوسف محمد (١٩٩٢م) مناخ مكة المكرمة ، مركز بحوث العلوم الاجتماعية ، جامعة أم القرى ، مكة المكرمة .

٣- البارودي ، محمد سعيد (١٩٨٤م) منطقة الساحل السوري ، دراسة في جيمورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب – قسم الجغرافيا – جامعة عين شمس ، القاهرة .

٤- بوروبه ، محمد فضيل (٢٠٠٢م) الخصائص المورفولوجية لحوض وادي عركان ووادي غيرف رافدي وادي بيش بالمملكة العربية السعودية . بحوث جغرافية ، العدد (٥٣) الجمعية الجغرافية السعودية ، قسم الجغرافيا ، جامعة الملك سعود ، الرياض .

٥- الدوعان ، محمود ، إبراهيم (١٩٩٩م) الأودية الداخلة إلى منطقة الحرم بالمدينة المنورة ، سلسلة بحوث جغرافية ، العدد (٣٨) الجمعية الجغرافية السعودية ، قسم الجغرافيا ، جامعة الملك سعود ، الرياض .

٦- سلامة ، حسن (١٩٨٢م) التحليل الجيومورفولوجي للخصائص المورفوترية للأحواض المائية في الأردن ، دراسات العلوم الإنسانية ، مجلد ٧ عدد ١ ، عمان .

٧- سلامة ، حسن (١٩٨٢م) الخصائص الشكلية ودلالتها الجيومورفورلوجية ، الجمعية الجغرافية الكويتية ، قسم الجغرافيا ، جامعة الكويت ، العدد (٤٣) ، الكويت.

٨- الصالح ، محمد بن عبد الله (١٩٩٩م) استخدام صور الماسح الموضوعي المحسنة والخرائط الطبوغرافية للتحليل المورفومتري لوادي عنان ووادي مزيرعة بوسط المملكة العربية السعودية.

٩- الصالح ، أحمد سالم (١٩٨٥م) حوض وادي العريش ، دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة القاهرة .

١٠- عاشور ، محمود محمد (١٩٨٤م) التحليل المورفومتري لشبكات التصريف المائي ، مصادر البيانات وطرق القياس ، قسم الجغرافيا ، جامعة قطر ، الدوحة .

١١- العقيل ، هيا محمد (١٩٩٤م) حوض وادي البرة – دراسة جيومورفولوجية رسالة ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية التربية ، الرياض .

١٢- العقيل ، هيا محمد (٢٠٠١م) جيومورفولوجية حوض وادي لحاء بالمملكة العربية السعودية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية التربية ، الرياض .

١٣- القاسم ، ليلى عبد العزيز (١٩٩٣م) جيومورفولوجية المنطقة الواقعة بين الرياض والخرج – حوض وادي السلى وجبل هيت – رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية التربية ، الرياض .

١٤- مرزا ، معراج نواب (١٩٩٤م) جغرافية المياه في مكة المكرمة ، مصادر واستخدام، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب، جامعة الخرطوم .

١٥- مرزا ، معراج نواب والبارودي ، محمد سعيد (٢٠٠٤م) الأسس الجيولوجية ودورها في نشأة مظاهر السطح لمنطقة الحرم المكي ، مركز بحوث العلوم الاجتماعية ، جامعة أم القرى ، العدد (٥٦) ، مكة المكرمة .

١٦- مرزا ، معراج نواب ، وأحمد ، بدر الدين يوسف (٢٠٠١م) ، أحوال الطقس

والمناخ في الشتاء بمكة المكرمة ، الجمعية الجغرافية الكويتية – قسم الجغرافيا بجامعة الكويت ، العدد (٢٥٣) ، الكويت.

١٧- المشاط ، هند(١٩٩٥) حوض وادي ليه بالمملكة العربية السعودية ، دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية التربية ، جدة .

١٨- مصطفى ، أحمد السيد (١٩٨٢م) ، حوض وادي حنيفة بالمملكة العربية السعودية ، دراسة جيومورفولوجية ، رسالة دكتوراه غير منشورة ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية .

١٩- نجيم ، رقية حسين (١٤١٢هـ) ، البيئة الطبيعية لمكة المكرمة ، رسالة ماجستير غير منشورة ، مقدمة لقسم الجغرافيا ، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة أم القرى ، مكة المكرمة .

٢٠- الوليعي ، عبد الله بن ناصر ، (١٤١٣هـ) ، تعرج الأنهار والأودية ، دراسة جيومورفولوجية تطبيقية لبعض الأودية الجافة في المملكة العربية السعودية، سلسلة بحوث جغرافية رقم (١٢) ، الجمعية الجغرافية السعودية، الرياض .

ثانياً : المراجع الأجنبية :

1- Brown، G. F. , et al.,(1963), Geologic Map of the Southern Hijaz , Quadrangle , USGS. Geol. investing Map، I-210A 1: 500.000.

2- Chorley, R. J., (1969) Basin as the fundamental geomorphic unit in Fluvial Processes, London.

3- Horton, R. E (1945) “Erosional Developments of Streams and their Drainage Basins; Hydro physical Approach to Quantitative Morphology " Geol ., Soc .Am Bull , Vol. 56, Pp. 275-370.

4- Jado , A . Zotl . J., eds.، (1984) Quaternary period in Saudi Arabia (vol.2) Springer – New York.

5- Jaton, J.F. (1980) Hydrologic De surface (1 ere partie) : Ecoulement De Surface Et Debits des crues. Ecole. Polytechnique. Institute De Genine Rural. Lausanne, 129 Pages.

6- Leopold , L.B., and Miller , J.P ., (1954) , The Flood Control Controversy : Ronald press , New York , P.

7- Leopold , L.B , M.G Wolman , and J.P . Miller (1964) ,Fluvial processes in Geomorphology .San Francisco : W. H .Freeman and Co . P .522.

8- Maidment , David ., (1993) , Handbook of Hydrology New York : McGraw hill inc.

9- Melton, Mark (1985) "Correlation structure of Morphogenetic Properties of Drainage systems and their controlling Agents "Jour. Of Geol., Vol.66,No .4 Pp, 442-460.

10- Moor,A., Al – Rehaili .M.H.,(1989) .Geologic Map of The Makkah Quadrangle Sheet 21D . Kingdom of Saudi Arabia ,Ministry of petroleum and mineral Resources, Jeddah.

11- Sahl, M (1987) Geology of The Makkah Al – Mukarramah City aria: Saudi Arabian Deputy Ministry for Mineral Recourses Open file Report DGMR of 2.38p .

12- Schumm . S,A (1956) , The evolution of Drainage Systems and Slopes in Bad-lands at pert Amboy, New Jersey, Geol Soc. Amer. Bull., Vol. 67,pp 597-646.

13- Strahler, A.N ., (1952) , Hypsometric (area – altitude) Analysis of Erosional Topography, Geol. Soc. America ,Bull ., Vol. 63, pp 1117-1142.

14- Strahler, A.N ., (1958) Dimensional Analysis Applied to Fluvial Eroded Landforms , Geol . Soc .America , Bull, Vol .69, pp 279-30