استخلاص المتغيرات المورفومترية لحوض وادي جدالة شمال غرب العراق

م.م. وائل حازم ذنون احمد الجواري

وزارة التربية العراقية/ المديرية العامة لتربية نينوى

(قدم للنشر في ٢٠٢٠/١/١٤ ، قبل للنشر في ٢٠٢٠/٣/٨)

ملخص البحث:

تناول البحث التحليل المورفومتري لحوض جدالة الى جانب تحليل المعطيات الطبيعية من المكاشف الصخرية والمناخ والتربة ، يقع حوض الدراسة في القسم الشمالي الغربي من محافظة نينوى وهو من الاحواض الموسمية الجريان والغير المدروسة ، اذ يقع حوض جدالة بين دائرتي عرض ("0 '17 36) و("0 '20 36) شمالا ، وبين قوسي طول ('35 "30 41) و ("30 '43 41) شرقا ، وبهذا الامتداد فان الحوض يشكل مساحة تقدر بنحو (45.518) كم، توصل البحث ومن خلال توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية الى عدة حقائق ، فقد تبين ان (76.69%) من مساحة الحوض هي من تكوينات عليجي – سنجار ، وان نطاق المرتفعات العالية تشكل (42.78%) من مساحة الحوض ، وتبين ان تربة الليتسول مع الحجر الجيري والكلس تشكل (93.74%) من مساحة الحوض ، اما نتائج الموازنة المائية المناخية فقد بينت ان هناك فائض مائي في اشهر كانون الاول وكانون الثاني وشباط ، و بينت النتائج ايضا ان نطاق الاراضي ذات النموج الخفيف والمتموجة والمقطعة والمقطعة بدرجة عالية قد بلغت (67.52 %) من مساحة الحوض ، وان الحوض يتكون من (4) مراتب وانه اقرب الى الشكل المستدير وتجانس الحوض مناخيا وبنيويا اضافة الى نتائج مورفومترية اخرى.

Abstract:

This study include the morphometric analysis to the Gadalla besin and the analysis of natural data from the a irritation climat and soil,the location of the study is north western of Nineveh covernarate.It's aseasonal besisn's flow,the besin located between the display circles (36˚17' 0") and (36˚ 20' 0") to the north,and the arc length (41˚ 35' 30") and (41˚ 43' 30") to the east,according to this extention the besin form an area estimated of (45.518)KM^2.The research found several fact frome the Remonte sensation and geographic infomeation systems,it has been found (76.69%) from the besin area from Senjar- Eeliage configurations the higt land form (42.78%) from besin's area this study shown that the letsiol soil with the limeston and lime form (93.74%) from the besin,s area , the resulte of climal water balance have been shown that there are a water resurrection in December and January only. The result shown that rang of land have been reached (67.52%) from the besin,s area, the besin have circular shape and it's homoheneous stracturaly and cilimatically as well as the other morphometric results.

المقدمة :

تمثل الاودية المائية الجافة في مناطق تواجدها احدى الظاهرات الهيدرولوجية التي ما تزال في حاجة الى المزيد من الدراسات والابحاث التطبيقية للتعرف على خصائص احواضها ومؤشراتها الهيدرولوجية تمهيدا لاستغلالها والاستفادة من مياهها ، لذا يهدف البحث الى دراسة حوض وادي جدالة من خلال تحليل خصائصه الطبيعية من التكشفات الصخرية والطوبوغرافية والتربة والمناخ ، فضلا عن تحليل خصائصه المورفومترية (المساحية والتضاريسية والتصريفية) ، وتأتي اهمية البحث من خلال ان الموارد المائية المتأتية من حوض وادي جدالة تسهم في تغذية المياه الجوفية لمجموعة العيون والتي يعتمد عليها سكان المنطقة من الموارد المائية لأغراض الاستخدام البشري ، اما مشكلة البحث فقد انطلقت من التساؤلات الاتية :

_ هل ان الخصائص المورفومترية تعطي مؤشرات هيدرولوجية معينة .

_ هل ان الخصائص التصريفية للحوض المائي من المحددات الهامة لتحقيق الجريان السطحي او عدمها .

_ للخصائص الطبيعية للحوض المائي اهمية بالغة ومؤثرة في خصائص الجريان وتغذية المياه الجوفية ونوع المخزون الجوفي .

الموقع الجغرافي :

يقع حوض جدالة في منطقة سنجار في محافظة نينوى في القسم الشمالي الغربي منها ، وتنحدر وديانه من السطح الجنوبي لتحدب سنجار ، يشغل مساحة تقدر بنحو (45.518) كم^2 وبهذا الامتداد فهو ينحصر بين دائرتي عرض ("0 '17 °36) و("0 '20 °36) شمالا ، ، وبين قوسي طول ("30 '35 °41) و ("30 '43 °41) شرقا كما يظهر في الخارطة (١) ، يحده من جهة الشمال خط تقسيم المياه في تحدب سنجارمع الاحواض المنحدرة شمالا ، ومن جهة الجنوب وادي الثب ، ومن جهة الشرق حوض وردية ، ومن جهة الغرب وادي كندالة.

المعطيات الطبيعية لمنطقة الدراسة :

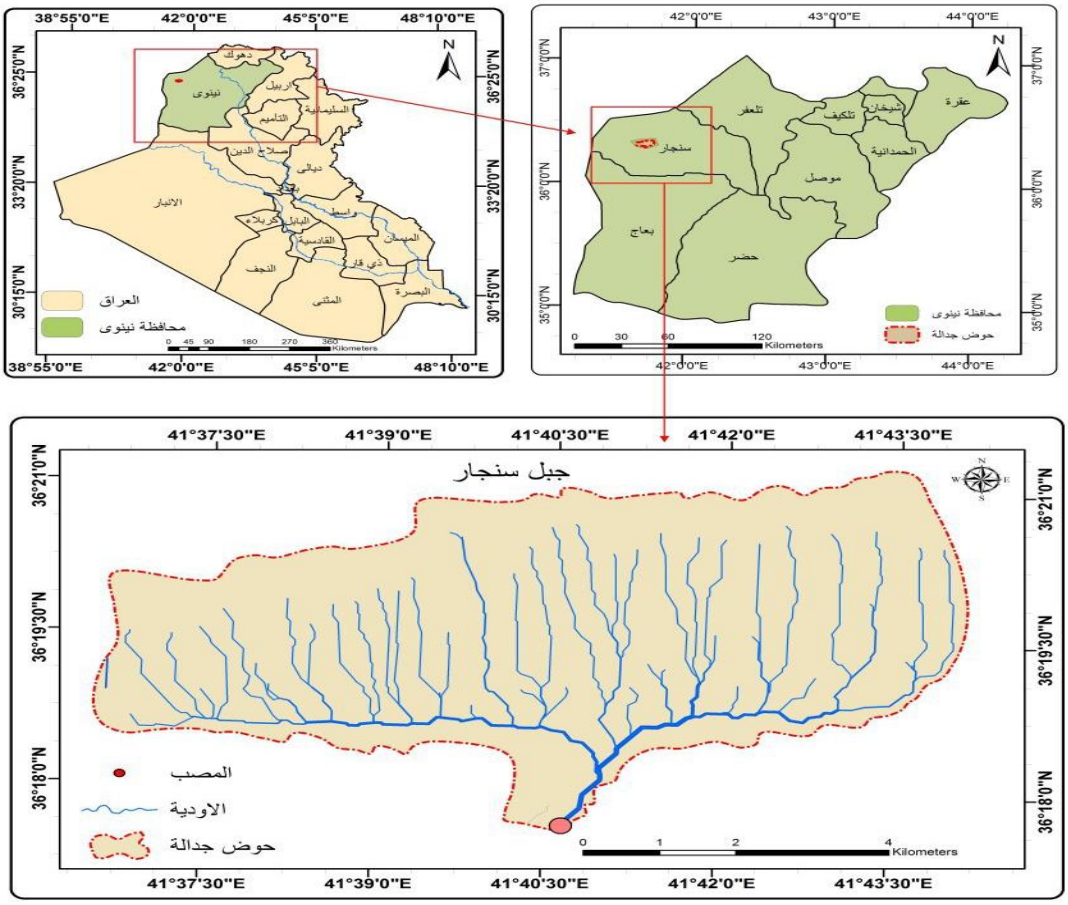
١– طباقية منطقة الدراسة :

تعد دراسة الطبقات الجيولوجية من الامور المهمة التي لها مردودات كبيرة تساهم في توضيح بعض المتغيرات الهيدرولوجية المهمة كالنفاذية والمسامية والتي لها تاثير كبير على كمية الجريان المائي في الاحواض ، وفي ما يلي دراسة التكوينات الجيولوجية السائدة في منطقة الدراسة وكما موضح في الجدول (١) والخارطة (٢) .

اولا : تكوين الشرانش :

يمتد عمر هذا التكوين الى الجزء الاعلى من العصر الكريتاسي ، ويتواجد هذا التكوين في الاجزاء العليا من الحوض ، ويشغل مساحة قدرها (5.57) كم٢ ما نسبته (11.98 %) من مساحة الحوض ، وان الصخارية لهذا التكوين تتالف من وحدات الصلصال والحجر الجيري الصلصالي وفتات الحجر الجيري [١] ، مما انعكس هيدرولوجيا ومورفو متريا على كثرة المسيلات المائية والقنوات المائية التي تقطع صخور هذا التكوين .

الخارطة (١) موقع حوض وادي جدالة بالنسبة لمحافظة نينوى وخارطة العراق



المصدر : اعتمادا على النموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج (Arc Gis) .

الجدول (١) نسبة التكوينات الجيولوجية لحوض جدالة .

التكوين	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية %
الشرانش	5.57	11.98
عليجي – سنجار	35.67	76.69
جدالة	2.83	6.09
الفرات	0.24	0.52
رواسب المنحدرات	2.18	4.69
المجموع	46.51	%100

المصدر: الخارطة (١) .

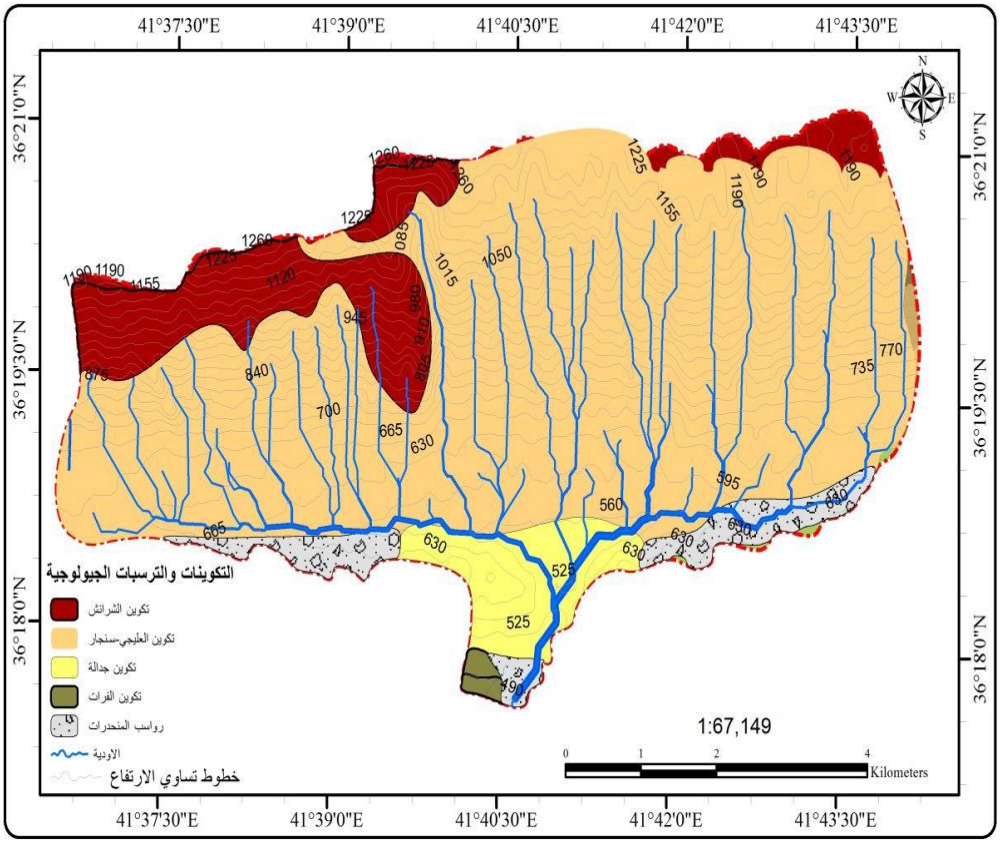
ثانيا : تكوين عليجي – سنجار :

يعتبر هذين التكوينين اهم مكاشف عصر الباليوسين ، ويظهران في اكثر اجزاء حوض الدراسة بمساحة تبلغ (35.67) كم٢ما نسبته (76.69 %) ، وتتالف صخور تكوين العليجي من حجر طيني رمادي مع حجر كلسي صلصالي [٢] ، مما جعله ذات مسامية ونفاذية قليلة ساعدت على تطوير المسيلات المائية على سطحه ، اما تكوين سنجارفيتالف من الحجر الجيري المعاد المتبلور[٢] ، وبذلك فهو تكوين صلب ولكن احتوائه على انظمة الشقوق والفواصل واسطح التطبق قلل من الكثافة التصريفية على سطحه .

ثالثا : تكوين جدالة :

من تكاوين عصر الايوسين ويتكون من الصلصال المتداخل مع الجبس الجيري الصلصالي والحجر الجيري [٢] ، ويتواجد التكوين في حوض الدراسة ضمن النطاق الجنوبي وبمساحة تبلغ (2.83) كم٢ وبنسبة (6.09 %) من مساحة الحوض ، وهو تكوين كتيم ساعد في تطور المسيلات المائية على سطحه وتطور المراتب النهرية .

الخارطة (٢) التكوينات الجيولوجية لحوض وادي جدالة



المصدر : : اعتمادا على الخارطة الجيولوجية للعراق بمقياس (١/٢٥٠٠٠٠)، ط١، الصادرة عن المؤسسة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين المعدني ، بغداد، ١٩٩٥ .

رابعا : تكوين الفرات :

يعود عمر هذا التكوين الى عصر المايوسين الاوسط (Midde Miocene) . وتتالف صخور هذا التكوين من صخور الحجر الجيري الطباشيري معاد التبلور وبسمك تقريبي (8) امتار [٣] . وكما يتضح من الخارطة (١) فان هذا التكوين يوجد في الاجزاء الجنوبية من الحوض عند نقطة مخرج الحوض ، ويشغل مساحة قدرها (0.24) كم٢ بما نسبته (0.52 %) من مساحة حوض الدراسة .

خامسا : رواسب المنحدرات :

وتتكون رواسبه من مواد طينية غرينية وحصى باحجام مختلفة فضلا عن الرمل وفتاة من الحجر الكلسي [١] ، وتنتشر هذه الرواسب في الاجزاء الجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية من الحوض ، وبامتداد مساحي محدد تقدر بنحو (2.18) كم٢ وبنسبة (4.69 %) من مساحة الحوض .

٢- تضاريس الحوض :

ان لدراسة تضاريس الاحواض اهمية كبيرة ، فهي تكشف العديد من الدلالات المتعلقة بالجريانات السطحية وسرعتها واتجاهها ، ويقسم حوض الدراسة من حيث الوحدات التضاريسية الى ثلاث مظاهر ارضية حسب النموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وكما موضح في الخارطة (٣) والجدول (٢) .

اولا : نطاق المرتفعات العالية :

وتتمثل في حوض الدراسة بتحدب سنجاروكما موضح من الخارطة (٣) فان هذا النطاق يتواجد في المناطق الشمالية من الحوض ، وينحصر ضمن الخط الكنتوري (1300-960) متر ، اذ تشكل هذه المرتفعات مناطق لتقسيم المياه ، حيث انشات العديد من مسارات التصريف والتي تنحدر مياهها باتجاه جنوبي تبعا لانحدار الارض ، ويشكل هذا النطاق مساحة قدرها (16.81) كم٢ من مساحة الحوض وما نسبته (36.14 %) كما موضح في الجدول (٢) .

الجدول (٢) اصناف الارتفاعات في حوض جدالة .

فئات الارتفاع	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية %
نطاق المرتفعات العالية	19.9	42.78
نطاق اقدام المرتفعات	9.8	21.07
نطاق الاراضي السهلي والوديان	16.81	36.14
المجموع	46.51	% 100

المصدر : الخارطة (٣)

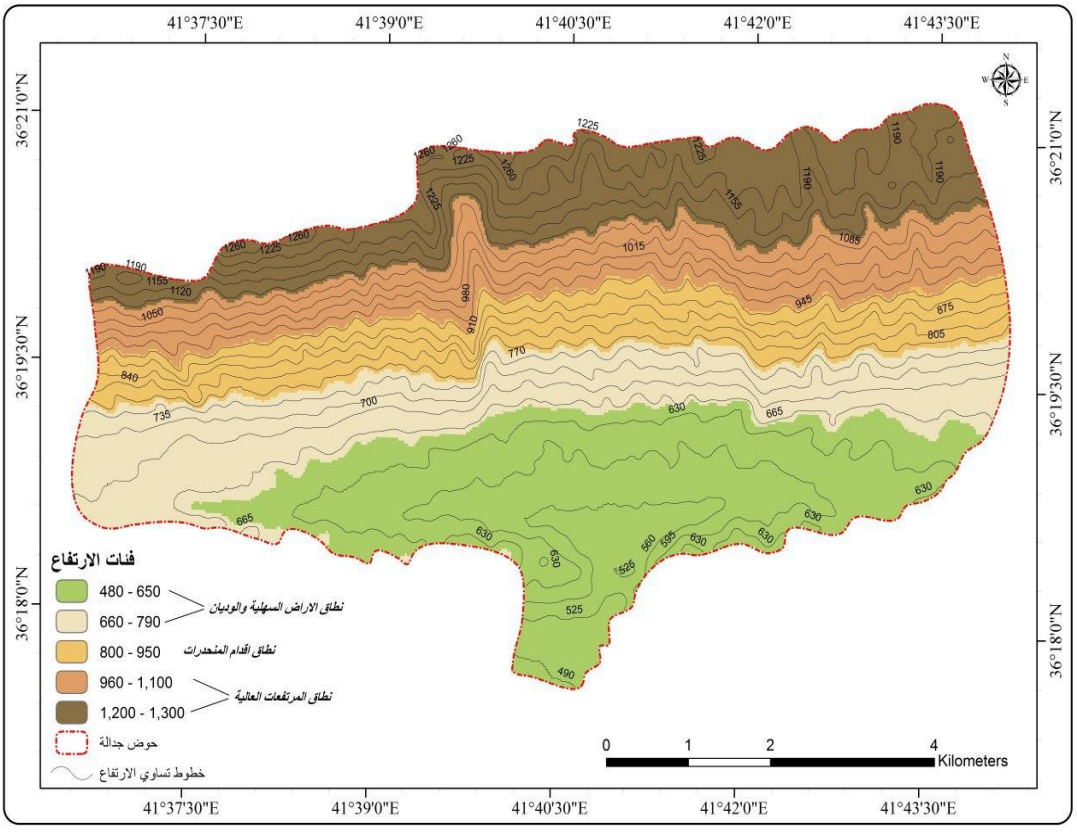
ثانيا : نطاق اقدام المرتفعات :

من خلال ملاحظة الجدول (٢) نجد ان هذا النطاق يشكل مساحة قدرها (9.8) كم٢ من مساحة الحوض وما نسبته (21.07%) ، وقد عمل النطاق على تطوير المسيلات المائية وتطوير المراتب المائية في الحوض، ويقع ضمن المناطق الواقعة بين خطي كنتور (800-950) متر .

ثالثا : نطاق الاراضي السهلية والوديان :

ويقع في الاقسام الجنوبية من الحوض ، وهو عبارة عن مناطق شبه مستوية تنحدر نحوها الشبكات التصريفية حيث مصب الحوض ، ويشغل هذا النطاق مساحة قدرها (16.81) كم٢ من مساحة الحوض بما نسبته (36.14 %) كما موضح في الجدول (٢) .

الخارطة (٣) الوحدات التضاريسية لحوض جدالة



المصدر : اعتمادا على النموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج (Arc Gis) .

٣- المناخ :

يعد المناخ من العناصر المهمة في دراسة الاحواض المائية ، ويظهر تاثير المناخ بصورة رئيسية من خلال عنصري الحرارة والامطار ، فالامطار تعد العامل الرئيسي للمياه وكذلك فان لدرجات الحرارة تاثير كبير على كميات وفاعلية الامطار وعملية التبخر/ النتح الممكن ، وقد تم الاعتماد على تحليل البيانات لبعض العناصر المناخية (درجات الحرارة ، الامطار ، سرعة الرياح ، التبخر/ النتح الممكن ، الرطوبة النسبية) لمحطة سنجار ولسنوات الرصد (1992-2010) .

تحليل العناصر المناخية :

اولا : درجات الحرارة :

تعد درجات الحرارة من العوامل المهمة في الدراسات الهيدرولوجية ، اذ ان فعالية التبخر/ النتح الممكن تتاثر بانخفاض درجات الحرارة وخصوصا في فصل الشتاء ، وهذا يأدي الى زيادة القيمة الفعلية للامطار في تغذية شبكة الصرف المائي خلال العاصفة المطرية ، وبلغ معدل درجات الحرارة في حوض جدالة (20.9مْ) ، كما يتبين من الجدول (٣) وانها متفاوتة خلال اشهر السنة ، فهي تنخفض في فصل الشتاء وتزداد خلال فصل الصيف ، حيث يمثل شهر كانون الثاني ابرد شهور السنة ، اذ تنخفض درجات الحرارة في هذا الفصل الى (7.4 مْ) ، في حين يعد شهر تموز من اكثر الشهور حرارة في الصيف، اذ تصل درجات الحرارة فيه الى (53.4مْ) .

الجدول (٣) المعدلات الشهرية السنوية للحرارة لمحطة سنجار للمدة (1992-2010)

الأشهر / المحطة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المعدل
سنجار	7.4	9.1	13.6	18.9	25.7	31.2	53.41	30.4	30.4	24.06	15.3	9.8	20.9

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

ثانيا : الرطوبة النسبية :

هي نسبة بخار الماء الموجود داخل الهواء ، ويعد ارتفاعها من العوامل المهمة في زيادة معدل الجريان السطحي ، ويوضح الجدول (٤) ان معدل الرطوبة النسبية بدأ بالارتفاع في حوض الدراسة في شهر تشرين الاول ثم يستمر هذا الارتفاع حتى شهر نيسان ، اذ بلغ اعلى معدل لها في شهر كانون الثاني ، اذ بلغ (68%) ثم بدأ بالانخفاض في فصل الصيف ويعود السبب في ذلك الى عامل الارتفاع في درجات الحرارة وانعدام تساقط الامطار في منطقة الدراسة ،اذ بلغ معدل الرطوبة النسبية (21%) في شهر تموز . ان ارتفاع معدلات الرطوبة النسبية في حوض الدراسة يؤدي الى ارتفاع نسبة التبخر من سطح التربة والنتح من النبات .

الجدول (٤) المعدلات الشهرية للرطوبة النسبية (%) لمحطة سنجار للمدة (1990-2010)

الأشهر / المحطة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المعدل
سنجار	68	62	52	47	37	23	21	22	25	36	51	64	42.33

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

ثالثا : الامطار :

بلغ مجموع التساقط المطري في محطة سنجار (342.95) ملم كما موضح في الجدول (٥) ، ويتركز سقوط الامطار في منطقة الدراسة في فصلي الشتاء والربيع بسبب وقوع منطقة الدراسة في مسار المنخفضات الجوية القادمة من منطقة البحر المتوسط ، وقد شكلت الامطار الشتوية نسبة (70.6%) من مجموع الامطار السنوية ، في حين شكلت الامطار الربيعية (28.2%) ، كما يتصدر شهر كانون الثاني كمية الامطار ، اذ بلغ معل الامطار فيه (72.0%) ملم واقلها في شهر ايار فقد بلغ(21.5%) ، لذلك فان السنة المائية في منطقة الدراسة تبدأ من شهر تشرين الاول ولغاية شهر ايار ، كما يتضح من الجدول (٦) ان تساقط الامطار في منطقة الدراسة يتسم بالتذبذب ما بين سنة

واخرى خلال سنوات الرصد (2013 -1992) ، اذ بلغت (663.0) ملم ، في حين شكلت سنة (2003) هبوطا كبيرا في اعلى نسبة لسقوط الامطار في عام (1996) ، اذبلغت كميات الامطار ، اذ بلغت (159.4) ملم .

الجدول (٥) المعدلات الشهرية و السنوية لكمية الأمطار الساقطة (ملم) في محطة سنجار للمدة (1992-2013)

الأشهر / المحطة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المجموع السنوي
سنجار	72.0	55.7	44.9	30.5	21.5	1.7	0.1	0.0	0.80	13.6	38.7	62.4	342.95

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

الجدول (٦) مجموع الامطار السنوية الساقطة في محطة سنجار للمدة (1992- 2013)

الأشهر / المحطة	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
سنجار	580.3	494.7	555.6	196.5	663.0	291.1	241.1	179.3	344.8	306.8	363.3	159.4	321.5	242.6	425.8	240.4	172.0	196.3	265.0	240.7	292.7	520.3

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

كما يبين الجدول (٧) حصول عواصف مطرية شديدة وفي اوقات زمنية قصيرة في منطقة الدراسة ساهمت في زيادة كميات التصريف في الحوض .

الجدول (٧) العواصف المطرية لمحطة سنجار.

تاريخ حدوث المطر	كمية التساقط المطري/ م	الزمن/ساعة	شدة المطر
15/1/1996	**229.4**	**24**	**9.55**
20/2/1996	**171.0**	**24**	**7.12**
14/1/2000	**164.2**	**24**	**6.84**

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

رابعا : سرعة الرياح :

تزداد نسبة التبخر/النتح الممكن عندما تزداد نسبة الرياح خلال اشهر الصيف ، لذلك تعد الرياح من العناصر المناخية المهمة في الجريان المائي السطحي ، اذ ان الرياح الشمالية الغربية هي الرياح السائدة في منطقة الدراسة ، ويظهر الجدول (٨) ان هناك تباين في سرعة الرياح بين اشهر السنة ، اذ تصل الى اقصى معدلات السرعة في اشهر الصيف ولا سيما في شهري تموز وحزيران ، اذ بلغت سرعة الرياح فيها (4) و (3.9) م/ثا على التوالي ، في حين سجلت ادنى معدل لها في شهري تشرين الثاني وكانون الاول ، اذ بلغت سرعة الرياح فيها (1.3) و(1.3) م/ثا الامر الذي يزيد من قيمة المياه الفعلية .

الجدول (٨) المعدلات الشهرية لسرعة الرياح (م/ثا) لمحطة سنجار للمدة(2010 -1992)

الأشهر / المحطة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المعدل
سنجار	1.6	2.1	2.4	2.9	3.4	3.9	4	3.4	3.1	1.9	1.3	1.3	2.60

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

خامسا : التبخر/ النتح الممكن :

تعتمد دراسة الموازنة المائية لاي حوض مائي على كمية التبخر/ النتح الممكن ، لذلك فان لها دورا مهما في الدراسات الهيدرولوجية من خلال التاثير في كميات المياه في الاحواض المائية عن طريق الضائعات المائية الى الجو من خلال سطح التربة ، فكلما زادت كمية التبخر/ النتح الممكن كلما قل منسوب الجريان المائي السطحي وتضيع كميات كبيرة من الامطار التي تسقط على الحوض .

وقد تم الاعتماد في هذه الدراسة على المعادلة التي اعدها نجيب خروفة لاستخراج قيم التبخر/النتح الممكن (1985) (Kharrufa) وفق المعادلة التالية [٤] :

$$PTE= C.P.T^{1.30} \text{ ----------(1)}$$

الجدول (٩) نتائج قيم التبخر/ النتح الممكن لمحطة سنجار للمدة (2010 -1992)

الأشهر / المحطة	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	المجموع السنوي
سنجار	30.35	43.10	80.62	135.56	217.64	289.58	335.59	258.45	236.94	157.71	79.88	42.65	1908.07

المصدر: المعادلة (١) للمزيد من المعلومات انظر الملحق (١) .

يبين الجدول (٩) ان هناك تباين في معدلات التبخر/ النتح الممكن في منطقة الدراسة ، اذ ترتفع هذه المعدلات خلال اشهر الصيف وتقل في اشهر الشتاء ، حيث يكون هذا الارتفاع واضحا مع بداية اشهر الصيف وتحديدا في شهر نيسان وتستمر حتى شهر تشرين الاول ، ويسجل شهر تموز اعلى معدلات التبخر/ النتح الممكن بمعدل (335.59) ملم وذلك بسبب الارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة وطول فترة السطوع الشمسي ، في حين يسجل شهر كانون الثاني اقل هذه المعدلات ، اذ بلغ (30.35) ملم وذلك بسبب انخفاض درجات الحرارة وقلة فترات السطوع الشمسي .

الموازنة المائية المناخية لحوض الدراسة:

وهي العلاقة الكمية بين التساقط والتبخر/ النتح الممكن ، فاذا كانت كمية التساقط اكثر من كمية التبخر/ النتح الممكن فسيكون هناك فائض مائي ، واذ كان العكس أي ان كمية التبخر/ النتح الممكن اكبر من كمية التساقط فسيكون هناك عجر مائي .

ويتم حساب الموازنة المائية المناخية على وفق المعادلة الاتية [٥] :

$$P- PET = \pm ----------(2)$$

اذ ان :

P : الامطار (ملم / شهر)

PET : التبخر/ النتح الممكن (ملم / شهر)

نتائج الموازنة المائية المناخية لحوض جدالة :

يتضح من الجدول (١٠) وجود فائض مائي في المعدلات الشهرية لاشهر كانون الاول وكانون الثاني وشباط ،اذ بلغت المعدلات (19.75) و (41.65) و(12.6) ملم على التوالي ، في حين سجلت الاشهر الاخرى عجزا مائيا ، مما له الاثر الكبير على حصول الجريان المائي في الحوض مقارنة مع شهري كانون الاول وكانون الثاني ، الا ان الامطار الساقطة على منطقة الدراسة تتميز بالتذبذب في نظام سقوطها مع حصول عواصف مطرية فجائية وميضية شديدة يؤدي الى حصول جريان مائي سطحي عالي .

٤- تربة منطقة الدراسة :

تعتبر التربة واحدة من اهم العوامل الطبيعية المؤثرة على عملية الجريان المائي السطحي من خلال درجة المسامية والنفاذية التي تحتويها ، وتبين الخارطة (٤) والجدول (١١) وجود نوعين من التربة في منطقة الدراسة بحسب تصنيف بيورنك وهي :

اولا: تربة الليتسول مع الحجر الجيري والكلس :

تتواجد هذه التربة في معظم اجزاء حوض الدراسة (نطاق المرتفعات العالية واقدام المرتفعات) وبمساحات واسعة قدرها (43.61) كم^2 وبنسبة (93.74 %) من اجمالي مساحة حوض الدراسة كما موضح في الجدول (١١) ، وتتكون من صخور الكلس وكبريتات الكالسيوم المتبلورة [٦] .

الجدول (١٠) الموازنة المائية المناخية لمحطة سنجار للمدة (1992-2010)

الأشهر / العناصر	ك٢	شباط	آذار	نيسان	آيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	ت١	ت٢	ك١	الكلي
الامطار (ملم)	72.0	55.7	44.9	30.5	21.5	1.7	0.1	0.0	0.80	13.6	38.7	62.4	342.95
التبخر/نتح الممكن PET	30.35	43.10	80.62	135.56	217.64	289.58	335.59	258.45	236.94	157.71	79.88	42.65	1908.07
الفائض المائي(ملم)	41.65	12.6										19.75	74
العجز المائي(ملم)			35.72	105.06	196.14	298.58	335.49	259.45	236.14	144.11	41.18		1651.87

المصدر: الملحق (١) والجدول(٩).

الجدول (١١) أنواع الترب في حوض جدالة بحسب بيورنك

ت	أنواع الترب	المساحة (كم٢)	النسبة المئوية %
١	تربة الليتسول مع الحجر الجيري والكلس	43.61	93.74
٢	التربة البنية الحمراء ذات السمك العميق	2.9	6.27
المجموع		46.51	%100

المصدر: الخارطة (٣).

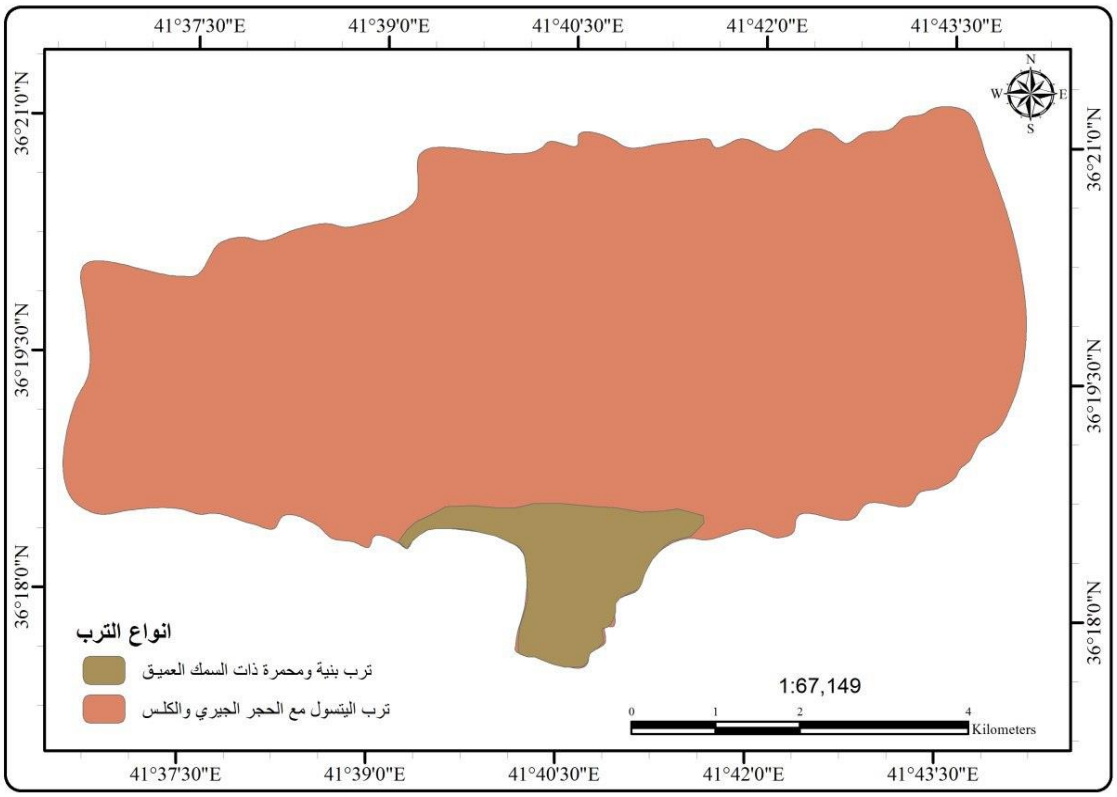
ثانيا : التربة البنية الحمراء ذات السمك العميق :

وهي تربة سطحية بنية مائلة الى الحمرة ، وتتكون مادتها الاساسية من الطين الرملي مع الكلس وتغلب عليها طابع الحداثة ومنقولة من نطاق الطيات المحدبة حيث مرتفعات سنجار بفعل المياه الجارية [٢]، وتنتشر هذه التربة كما يتبين من الخارطة (٤) في الاجزاء الجنوبية الوسطى من منطقة الدراسة عند مخرج الحوض ، وتشغل مساحة قدرها (2.9) كم٢ من مساحة الحوض بما نسبته (6.27 %) .

تحليل المظهر الارضي لمنطقة الدراسة :

١- تحليل الخصائص الانحدارية :

الخارطة (٤) تصنيف التربة بحسب بيورنك في حوض جدالة



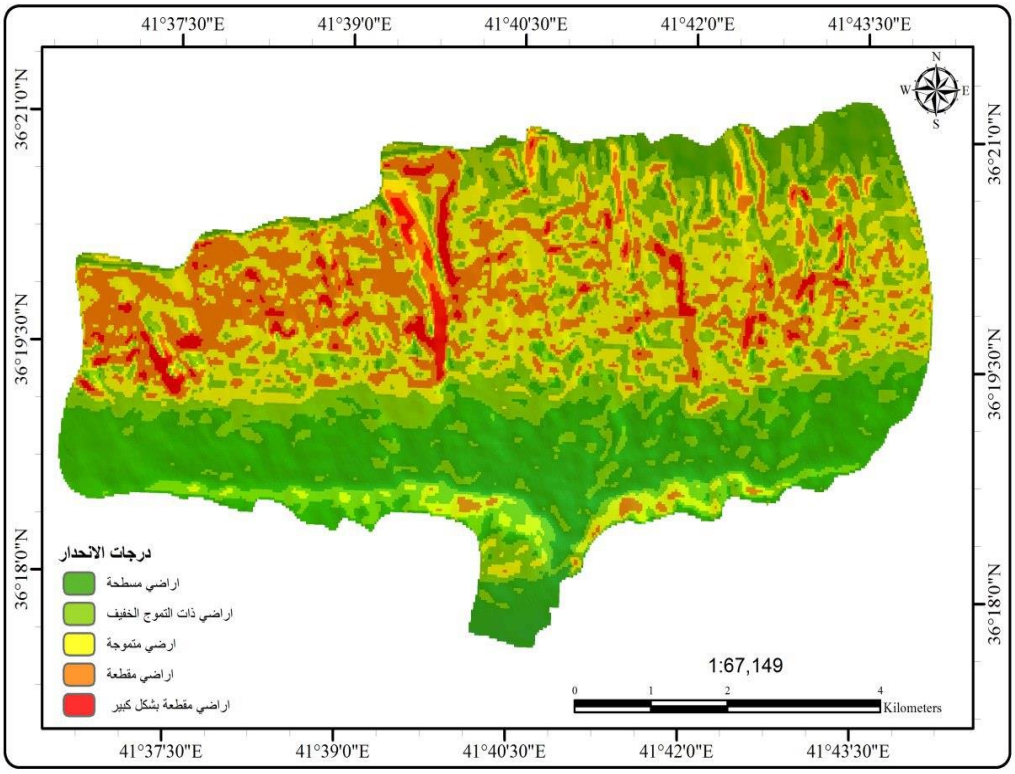
المصدر : اعتمادا على خارطة ارض العراق الاستكشافية بمقياس (100000/1) والصادرة عن وزارة الزراعة مديرية البحوث والمشاريع الزراعية لبيورنك لسنة 1957 .

تم الاعتماد على التصنيف المعد من قبل (Zink) لانه اكثر تطبيقا وملائمة في البيانات الجغرافية المختلفة ، وعند تطبيق هذا التصنيف على منطقة الدراسة والمتمثلة بحوض جدالة تبين وجود الانطقة الاتية وكما هو موضح في الخارطة (٥) والجدول (١٢) .

اولا : نطاق الاراضي المستوية او المسطحة :

ويتمثل هذا النطاق بالاراضي التي لا يزيد انحدارها عن (1.9) وهي اراضي سهلية واراضي ما بين الاودية والتي تتميز بوجود انحدار قليل ، اذ يشغل هذا النطاق مساحة قدرها (15.1) كم^{2} وما نسبته (32.4 %) من مساحة الحوض الاجمالية، ويتمثل في الاجزاء الجنوبية من الحوض ، وقد تطورت هذه الاراضي بفعل الترسبات المنقولة من المناطق المرتفعة لتصل الى اشكالها الحالية .

الخارطة (٥) درجات الانحدار لحوض جدالة بحسب تصنيف (Zink)



المصدر : نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج (Global Mapper Arc Gis) .

الجدول (١٢) أصناف الانحدارات ومستويات تضرس الأرض بحسب تصنيف (Zink)

ت	شكل التضرس	درجة الانحدار	تصنيف السطح	المساحة/كم٢	النسبة المئوية %
١-	مسطح-مستوٍ	0 -1.9	سهول-وديان	15.1	32.47
٢-	تموج خفيف	2 – 7.9	سهول نهرية-سفوح-أقدام جبال	8.6	18.49
٣-	متموج	8 – 15.9	تلال منخفضة	13.6	29.24
٤-	مقطعة-مجزأة	16 – 29.9	تلال مرتفعة	6	12.90
٥-	مقطعة بدرجة عالية	+30	جبال	3.2	6.88
المجموع				46.5	%١٠٠

Stam Marin Ed (1999),GIS Solution in Natural Resource Management, Tene wable Natural Resources Foundation and National Academy of Sciences-National Research Council, Washington. P88.

ثانيا : الانطقة المتمثلة بنطاق الاراضي ذات التموج الخفيف والاراضي المتموجة بالاضافة الى الاراضي الى الاراضي المقطعة والمقطعة بدرجة عالية :

يوضح الجدول (١٢) بان اراضي هذه الانطقة تشغل مساحة قدرها (31.4) كم ٢ بما نسبته (67.52 %) من مساحة الحوض ، وتنتشر هذه الانطقة في الاقسام الشمالية والوسطى من الحوض ، ويتمثل هذا النطاق بالسهول النهرية والسفوح واقدام الجبال والتلال المنخفضة والمرتفعة ، ويضم هذا النطاق مناطق تقسيم المياه في الحوض والتي تسبب عامل الانحدار في ان يجعل هذه الاراضي مناطق جرداء ، وعلى الرغم من وجود التربة ذات النفاذية الجيدة الا ان عامل الانحدار يحول دون تغلغل هذه المياه الى التكوينات تحت السطحية مع قلة توفر الغطاء النباتي وبالتالي زيادة في كميات الجريان السطحي وتطور المراتب المائية.

٢- الخصائص المورفومترية :

ان التحليل الكمي النوعي لشبكات التصريف المائي سيوفر معلومات هيدرولوجية مهمة ، وقد تم الاعتماد على طريقة (Strahler 1952-1958) للوصول الى شبكة الصرف المائي [٧] مع استخدام البيانات الرادارية (DEM) ، اذ تم التركيز على ثلاث متغيرات اساسية وهي (الخصائص المساحية والشكلية ، الخصائص التضاريسية ، خصائص الشبكة المائية) ، اذ تشكل

هذه الخصائص بمجملها الفاعلية الهيدرولوجية للاحواض المائية وقدرتها على تحقيق الجريان المائي السطحي، وفيما يأتي دراسة لهذه الخصائص المورفومترية .

اولا : الخصائص المساحية والشكلية :

١- الخصائص المساحية :

تتضح اهمية مساحة الحوض في الدراسات الهيدرولوجية في ما تحتويه من مياه ، اذ تتباين الاحواض بتباين مساحتها ، ويتضح من الجدول (١٣) ان مساحة حوض الدراسة يبلغ (46.518) كم^{٢} ، ويمكن تصنيفه ضمن الاحواض ذات الامتداد المساحي المتوسط وما يترتب على هذه المساحة من كمية امطار يمكن ان يستقبلها الحوض والتي سوف تنعكس على كمية حجم الجريان السطحي . و لطول الحوض اهمية كبيرة في عملية الجريان المائي السطحي وخاصة في المدة التي يستغرقها الحوض في عملية تصريف المياه والحمولة من الترسبات ، وقد بلغ الطول الحقيقي لحوض الدراسة (7.2) كم ، اما الطول المثالي فقد بلغ (6) كم وكما موضح في الجدول (١٣) .اما عرض الحوض فان له تاثير على كمية ما يتلقاه الحوض من مياه وما يفقده عن طريق التبخر/ النتح الممكن وكذلك التسرب ، ويشير الجدول (١٣) الى ان عرض حوض جدالة بلغ (6.46) كم . اما محيط الحوض فهو اطوال حدود الحوض المائي والتي تفصله عن حدود الاحواض المائية المجاورة الاخرى عن طريق خط تقسيم المياه ، وكلما زاد محيط الحوض ازداد اتساعه ، وقد وجد ان محيط حوض الدراسة بلغ (33.25) كم كما موضح في الجدول (١٣) .

٢- الخصائص الشكلية :

اما الخصائص الشكلية فانها تساعد في تحديد المعايير الهندسية للحوض واهمية ذلك في تحقيق جريانات مائية، وتم حساب تلك الخصائص اعتمادا على Horton 1932 & (Schumm 1956 & Millr 1953) الجدول (١٣) .

الجدول (١٣) القياسات المورفو مترية لحوض جدالة

مساحة الحوض (كم٢)	46.518
محيط الحوض (كم)	33.25
طول الحوض الحقيقي (كم)	7.2
طول الحوض المثالي (كم)	6
عرض الحوض (كم)	6.46
نسبة الاستدارة	0.52
نسبة الاستطالة	0.94
معامل شكل الحوض	0.89
نسبة التضرس (م/كم)	113.88
التكامل الهبسومتري (م/ كم٢)	0.056
اعلى نقطة في الحوض (م)	1300
اوطئ نقطة في الحوض (م)	480
نسبة التشعب	3.916
الكثافة التصريفية الطولية (كم/ كم٢)	2.08
الكثافة التصريفية العددية (مجرى/ كم٢)	1.28
نسبة التقطع	2.88
معامل الانعطاف	1.2

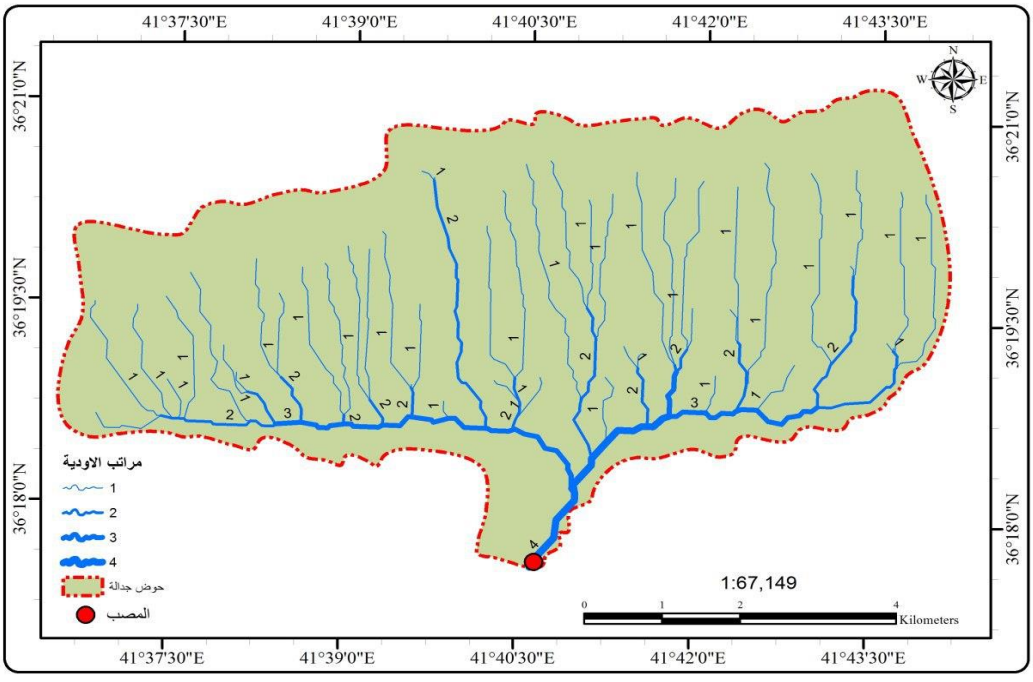
المصدر : القياسات المورفو مترية . وتم ادراج المعادلات المورفومترية في الملحق رقم (٢)

يبين الجدول (١٣) ان نسبة الاستدارة لحوض جدالة بلغت (0.52) ونسبة الاستطالة بلغت (0.94) ، ويستدل من ذلك ان منطقة الدراسة من حيث شكل الحوض يقترب من الشكل المستطيل وهذا ما تاكده الملاحظة البصرية انظر الخارطة (٦) . اما معامل شكل الحوض فانه يعكس مدى انتظام عرض الحوض المائي ، ويعد معامل شكل الحوض من المقاييس المهمة التي لها اثر واضح على الكثير من الخصائص بما فيها الخصائص الهيدرولوجية ، ويبين الجدول (١٣) ان معامل الشكل لحوض جدالة بلغ (0.89) وهي نسبة كبيرة نسبيا تدل على زيادة نسبة المساحة مقابل الطول.

ثانيا :الخصائص التضاريسية :

تعتبر الخصائص التضاريسية ذو اهمية كبيرة من خلال تحديدها للعلاقة بين تطور الاحواض المائية وعوامل التعرية والخصائص المساحية واثر ذلك في تشكيل خصائص سطح الارض داخل الحوض بالاضافة الى انه يعكس انواع الصخور السائدة في الاحواض المائية ،ويبين الجدول (١٣) بعض الخصائص التضاريسية.

الخارطة (٦) الشبكة التصريفية لحوض جدالة



المصدر : اعتمادا على النموذج الارتفاع الرقمي (DEM) وبرنامج (Arc Gis)

تعد نسبة التضرس من اهم العوامل التضاريسية للحوض ، وهي تعبر عن الفرق بين اعلى منسوب واوطئ منسوب للحوض وعلاقة ذلك مع طول الحوض ، وهي تسيطر على سرعة الجريان والتصريف وكمية سقوط الامطار ، وقد بلغت نسبة التضرس في حوض جدالة (113.88) م/كم وحسب تصنيف ستريلر فقد سجل الحوض تضرسا شديدا مما يزيد من سرعة الجريان المائي وقلة الفواقد عن طريق التسرب والتبخر . اما نسبة التكامل الهبسومتري في حوض الدراسة فقد بلغت (0.056) كما موضح في الجدول (١٣) وهي نسبة قليلة تدل على ان الحوض لا زال في مراحل حتية مبكرة .

ثالثا: خصائص الشبكة التصريفية :

وهي نتاج للعلاقة بين الصخور المشكلة للحوض وعوامل المناخ قديما وحديثا ، وتمثل المراتب النهرية جميع الروافد المائية التي تغذي القناة الرئيسية بالمياه والتي تشكل بمجموعها شبكة الصرف المائي السطحي ، وقد تم الاعتماد في حساب رتب مجاري شبكة التصريف لحوض الدراسة على طريقة (Strahler 1957) [٨] ، والمتضمنة ان المجاري المائية الصغيرة هي وديان من الرتبة الاولى وعند التقاء واديان من الرتبة الاولى تشكل واديا من الثانية وهكذا تتم العملية بواسطة الاسر النهري حتى تصل الى الوادي الرئيسي .

الجدول (١٤) أعداد وأطوال المراتب النهرية لحوض جدالة

المرتبة	عدد المجاري المائية	النسبة المئوية	طول المجاري المائية(كم)	النسبة المئوية
الأولى	45	75	69.6	71.67
الثانية	12	20	17	17.50
الثالثة	2	3.333	7.5	7.72
الرابعة	1	1.666	3	3
المجموع	60	%100	97.1	100%

المصدر: القوانين المستخدمة في اجراء القياسات المورفومترية.

ومن تحليل نتائج الرتب في حوض جدالة يتبين ان الحوض يصنف على انه حوض من الرتبة الرابعة كما هو موضح في الخارطة (٦) والجدول (١٤) ، اذ تتكون شبكة تصريفه من (60) مجرى ، وتشمل الرتبة الاولى ما نسبته (75%) من مجموع اعداد المجاري في الحوض ، وبلغ مجموع اعداد المجاري في الرتبة الثانية ما نسبته (20 %) ، ومجموع اعداد مجاري الرتبة الثالثة ما نسبته (3.33 %) ، ونسبة اعداد المجاري في الرتبة الرابعة (1.666%) ، ويظهر ان ما تشكله مجاري الرتبتين الاولى والثانية (95 %) من مجموع مجاري الرتب في الحوض ، في حين بلغ مجموع اطوال المجاري في حوض جدالة (97.1) كم كما هو موضح في الجدول (١٤) ، اذ بلغ طول مجاري الرتبة الاولى (69.6) كم بنسبة (71.67 %) من مجموع اطوال المجاري ، وبلغ طول مجاري الرتبة الثانية (17) كم بنسبة (17.50 %) ، اما الرتبة الثالثة فقد بلغ طول مجاريها (7.5) كم بنسبة (7.72%) ، والرتبة الرابعة (3) كم بنسبة (3 %) من مجموع اطوال مجاري الحوض .

يتبين مما سبق ان (71.67%) من اطوال مجاري الحوض تتركز في الرتبة الاولى والباقي تتوزع على بقية المراتب ، في حين ان (89.17%) من مجموع اطوال المجاري تتركز في الرتبتين الاولى والثانية ويعزى ذلك لزيادة عدد المجاري في الرتبتين الاولى والثانية ، وكلما زادت اعداد المجاري المائية زادت اطواله . اما نسبة التشعب فهي النسبة بين عدد المجاري في رتبة معينة الى عدد المجاري في الرتبة التي تليها ، وقد بلغت نسبة التشعب لحوض جدالة (3.916) كما موضح في الجدول (١٥) وهي ضمن النسبة الطبيعية التي تتراوح بين (3 -5) والتي حددها (Strahler) وهذا يأكد تجانس الحوض مناخيا وبنيويا .

الجدول (١٥) نسب التشعب لمراتب حوض جدالة

المرتبة الأولى/ الثانية	3.82
المرتبة الثانية/ الثالثة	4
المرتبة الثالثة/ الرابعة	3.55
المعدل	3.56

المصدر: القوانين المستخدمة في اجراء القياسات المورفومترية .

اما الكثافة التصريفية فهي مدى انتشار الشبكة النهرية وفروعها في مساحة معينة ، وتتضح اهمية الكثافة التصريفية في التاثير في سرعة الجريان والمعدلات التصريفية اثناء فترة سقوط الامطار وهي على نوعين :

- الكثافة التصريفية الطولية والتي كلما ارتفعت زادت كفاءة الشبكة في نقل المياه وحصول الجريان في الحوض المائي ، وكما موضح في الجدول (١٣) فان الكثافة التصريف الطولية في حوض جدالة بلغت (2.08) كم/ كم^{2} ، وعند مقارنة هذه النتيجة مع الحدود التي وضعها (Strahler) نجد ان هذه القيمة منخفضة وهذا يدل على ان اطوال شبكة الصرف قصيرة مقارنة بمساحة الحوض .

- الكثافة التصريفية العددية ولهذه الكثافة اهمية اكبر من الكثافة الطولية في تقدير حجم التصريف ، اذ تشير القيم العالية لعدد المجاري المائية في الحوض الى امكانية عالية لتجمع الميا داخل الحوض ، ومن خلال ملاحظة الجدول (١٣) يتضح ان الكثافة العددية لحوض جدالة بلغت (1.82) مجرى/كم ، وهي نسبة منخفضة تدل على قلة اعداد المجاري المائية في الحوض بالنسبة للمساحة .

وتعبر نسبة التقطع عن بعد المجاري المائية او قربها من بعضها ، وترتبط نسبة التقطع ارتباطا وثيقا بعدة عوامل منها عامل المناخ ونوعية التربة والغطاء النباتي والتكوينات الجيولوجية ، وقد بلغت نسبة التقطع لحوض جدالة (2.88) كما موضح في الجدول (١٣) وهو بذلك من الاحواض التي تتميز بنسيج طوبوغرافي خشن والسبب في ذلك يعود الى وجود طبقات صخرية ذات مسامية ونفاذية عالية في الحوض تسهم في نفاذ جزء كبير من المياه السطحية اثناء سقوط الامطار بالاضافة الى قلة النبات الطبيعي والانحدار .

ويمثل معامل التعرج العلاقة بين الطول الحقيقي الى الطول المثالي ، ولمعامل التعرج اهمية كبيرة في دراسة الاحواض المائية ، فكلما زادت درجة الانعطاف زادت كميات التبخر والترشيح ، وقد بلغ مؤشر تعرج حوض الدراسة (1.2) كما هو موضح في الجدول (١٣) وبناء على التصنيف الذي وضعه (Morisaw) فان مجرى حوض جدالة يكون بدرجة متعرج لكونه تبع مناطق الضعف الصخري بفعل شدة الانحدار.

الاستنتاجات :

١- تم التوصل الى مجموعة من النتائج من خلال دراسة المعطيات الطبيعية لحوض الدراسة ، اذ تبين ان التكوينات الجيولوجية هي من تكوين (الشرانش (11.98%)- عليجي - سنجار(76.69 %) - جدالة(6.09 %)- الفرات(0.52 %) - ترسبات

المنحدرات (4.69 %)) ، ومن حيث التضاريس فقد تبين ان حوض الدراسة يتكون من ثلاث مظاهر تظاريسية وهي نطاق المرتفعات العالية الذي يسود في الجزء الشمالي من حوض الدراسة متمثلا بتحدب سنجار ، ونطاق اقدام المرتفعات ، ونطاق الاراضي السهلية والوديان وهي اراضي شبه مستوية قليلة الانحدار . اما العناصر المناخية فقد تبين من تطبيق معادلة (Kharrufa) لحساب الموازنة المائية المناخية ان هناك فائض مائي في شهرين فقط وهما شهر كانون الاول وكانون الثاني ، في حين سجلت الاشهر الاخرى عجزا مائيا . اما نوعية التربة فقد تبين وجود نوعين من التربة حسب تصنيف بيورنك ، وهي تربة الليتسول مع الحجر الجيري والكلس (93.74 %) ، اضافة الى التربة البنية الحمراء ذات السمك العميق (6.27 %) من مساحة الحوض .

٢- ومن خلال التحليل المورفومتري بينت النتائج ان حوض الدراسة من المرتبة الرابعة على وفق نظام (Starhler) ، وان مساحته بلغت (46.518) كم^{٢}، ومن حيث شكل الحوض وجد ان الحوض يقترب من الشكل المستطيل بمعامل (0.89) ، وقد سجل الحوض نسبة تضرس عالية بلغت (113.88) م/ كم ، اما الشبكة التصريفية فقد وجد انها تتكون من (60) مجرى ، وان مجاري الرتبتين الاولى والثانية تشكل ما نسبته (95%) من مجموع مجاري الرتب في الحوض ، وقد لوحظ ان هناك انخفاضا في قيم الكثافة التصريفية الطولية والعددية ، اذ بلغتا على التوالي (2.08) كم /كم^{٢}و(1.28) مجرى / كم^{٢}، انعكست هذه النسبة على تميز الحوض بنسيج خشن ، اذ بلغ معدل التقطع (2.88) . اما نتائج تحليل الخصائص الانحدارية وحسب تصنيف (Zink) ، فقد لوحظ ان (67.52 %) من مساحة الحوض هي اراضي ذات التموج الخفيف والاراضي المتموجة والاراضي المقطعة والمقطعة بدرجة عالية .

المقترحات :

١- الاستفادة من نتائج الدراسة الحالية من لدن القائمين في ادارة الموارد المائية .

٢- اجراء دراسات مماثلة كون ان هناك العديد من الاحواض المائية الموسمية الجريان في العراق والتي تجري فيها كميات كبيرة من المياه وتذهب دون الاستفادة منها .

المصادر

١– السياب، عبد الله وآخرون، جيولوجيا العراق، دار الكتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، العراق، ١٩٨٢، ص ١١٧ .

٢– العمري ، فاروق صنع الله ، علي صادق ، جيولوجيا شمال العراق ، مطبعة دار الكتب للطباعة والنشر ، جامعة الموصل ، ١٩٧٧، ص ٩٧ .

٣– المولى ، محمد فتحي محمد حمزة ، دراسة مورفومترية لاختيار موقع سد في حوض وادي الثرثار شمال مدينة الحضر باستخدام تقنيات التحسس النائي ، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية العلوم ، جامعة الموصل ، ص ١٨ .

4- Khrrufa, N. S., (1985). Simplified equation for exporanspiration in arid vigions Beitrage zun Hydrologie, Sounderhet, 5.1.39- 47.

٥– محمد ، خضر جاسم ، الموازنة الاشعاعية والموازنة المائية المناخية لمحطات مختارة في محافظة نينوى والمناطق المجاورة لها ، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية التربية ، جامعة الموصل ، ٢٠١٠ ، ص ٥٨ .

٦– المحسن ، اسباهية يونس ن المياه الجوفية في منطقة سنجار واستثمارها ن رسالة ماجستير غري منشورة ، جامعة بغداد ، ١٩٨٥ ، ص ص ٦٥–٦٦ .

7- Straler, A. N. (1975). Physical Geography, John Weily & Son. Inc. New York 4thed.

8- Strahler, A. N. (1957). Quantitative Analysis OF watershed Geomorphology. AM Geography. Union. Trans. Vol. 36, NO. 6.pp 913-920 .

٩– أبو العينين، حسن سيد أحمد، حوض وادي دبا في دولة الإمارات العربية المتحدة، الجغرافية الطبيعية وأثرها في التنمية الزراعية، الكويت، ١٩٩٠، ص ص ٦٥–٩٨ .

١٠– أبو راضي، فتحي عبدالعزيز، الأصول العامة في الجيمورفولوجيا (علم دراسة أشكال يابس سطح الارض)، دار النهضة العربي، بيروت، لبنان، ٢٠٠١، ص ص ١١٩–١٤٩ .

١١– عبدالله، حميد حسن، المتغيرات المورفومترية للجزء الأسفل من حوض الزاب بإستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة ديالى للعلوم الصرفة، المجلد ٧، العدد ٢، نيسان، ٢٠١١، ص ١٣٩ .

١٢- الطائي، بسمان يونس، إستخدام تقنيات التحسس النائي في تقييم المواقع لتطوير الغابات في نينوى، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية الزراعة، جامعة الموصل، ٢٠٠٣، ص ص ٧٤-٧٥ .

الملاحق

الملحق (١)

الجدول (١) المعدلات الشهرية للسطوع الشمسي ومعامل وارتفاع الموقع لمحطة سنجار للمدة (2000 -2018)

المتغيرات / الأشهر	السطوع الفعلي (ساعة/يوم) (n)	السطوع النظري (ساعة/يوم) (N)(*)	معامل الموقع (c)(**)	ارتفاع المحطة عن مستوى سطح البحر (م)
ك٢	5.4	9.82	0.33	465
شباط	6.2	10.66		
آذار	7.1	11.82		
نيسان	7.9	12.96		
آيار	9.4	13.68		
حزيران	11.5	14.31		
تموز	11.7	14.08		
آب	10.9	13.25		
أيلول	10.6	12.19		
ت١	7.9	11.06		
ت٢	7.2	10.15		
ك١	5.7	9.69		
المعدل	8.5	12		

المصدر: جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

(*) خضر جاسم محمد، الموازنة الإشعاعية والموازنة المائية المناخية لمحطات مختارة في محافظة نينوى والمناطق المجاورة لها، اطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية التربية، جامعة الموصل ، ٢٠١٠، ص١٢٢.

(**) المعادلة (١).

الملحق (٢)

المعادلات الرياضية للقياسات المورفومترية مع مصادرها

معادلة عرض الحوض	**WBD = A/L** (١١)
معادلة الاستدارة	**ACR = A/AC** (١١)
معادلة الاستطالة	**ER = DI/TL** (١٠)
معادلة معامل الشكل	**F = A/L** (١٠)
معادلة التضرس	**GR = DHL/LB** (١١)
معادلة التكامل الهبسومتري	**FH =A/RRP** (١٠)
معادلة نسبة التشعب	**BR =NU/NU +1** (١١)
معادلة الكثافة التصريفية الطولية	**LDD= ΣL /A** (١٠)
معادلة الكثافة التصريفية العددية	**NDD = N/Ab** (١٠)
معادلة التقطع	**R = N/Db** (١٢)
معادلة معامل الانعطاف	**Mf = L/STL** (١٠)

انظر المصادر (9-10-11-12)