مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

تحديد الغزارات الأعظمية اللازمة لتصميم العبارات الطرقية باستخدام تقنيات GIS

الدكتورة شذى إبراهيم أسعد*

(تاريخ الإيداع 3 / 4 / 2012. قُبِل للنشر في 24/ 2 / 2013)

∇ ملخّص ∇

تعتمد معظم الدراسات الهيدرولوجية في سوريا على الطرائق الكلاسيكية في تحديد الأحواض الساكبة التي تغذي العبارات الطرقية الملحقة بالطريق أو في تقدير شدة العاصفة المطرية التصميمية لهذه الأحواض، وهي في الغالب عمليات معقدة وتحتاج إلى وقت وجهد كبيرين لإنجازها الأمر الذي يدعو إلى من وضع تصوّر واضح لواقع المسيلات المائية المتقاطعة مع الطريق واستنتاج حدود الأحواض الساكبة لها بهدف تقدير قيمة الغزارة الأعظمية المتوقع حدوثها نتيجة العواصف المطرية المسببة للفيضانات بما يوافق درجة الطريق ونوع المنشأة الطرقية، دون أن تؤدي هذه الفيضانات إلى غمر للطريق أو تخريب لمنشآته.

تم استخدام تقنيات ال GIS لاستنتاج الأحواض الساكبة لجميع المخارج المائية المتقاطعة مع الطريق وتقدير خواصها المورفولوجية، كما تم بناء نموذج هيدرولوجي لمنطقة الدراسة بالاستعانة بالنموذج الارتفاعي العددي للمنطقة، واستنتاج المجاري المائية الرئيسية فيها اعتماداً على رسم المسيلات المائية وباستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية **GIS**، ومن ثم تحديد جميع الأحواض المغذية للمخارج المائية المتقاطعة مع هذا الطريق مع تحديد الصفات المورفولوجية لها.

إن النموذج الهيدرولوجي المطوّر والخاص بالمسيلات على الطريق المعتمد في الدراسة يسمح للمصممين بوضع حلول مختلفة وأكثر دقة من أجل اختيار الموقع الأمثل لهذه المنشآت وتقدير الشدة التصميمية للعاصفة المطرية وحساب الغزارات التصميمية لكل هذه المخارج، بالإضافة إلى حساب جميع المواصفات الهندسية والبارامترات التصميمية مثل: الميول الطولية المناسبة للعبارات والموافقة لميول المسيلات، مساحة كل حوض، المجاز المناسب لكل عبارة، عدد فتحات العبارة وزاوية تقاطع المسيل مع مسار الطريق....الخ، بالشكل الذي يسمح أيضاً بوضع حلول اقتصادية مختلفة بهدف اختيار الحل الأمثل من الناحيتين الهندسية والاقتصادية، وبما يوافق درجة الطريق واحتمالية التكرار المناسبة للغزارات الفيضانية.

الكلمات المفتاحية: نموذج هيدرولوجي، نظم المعلومات الجغرافية، عبّارات طرقية، أحواض ساكبة،غزارة الفيضان.

* مدرّس – قسم هندسة المواصلات والنقل – كليّة الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقيّة – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (2) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (2) 2013

Building hydrological model for designing culverts using GIS Technique

Dr. Shaza Ebrahim Assaad*

(Received 3 / 4 / 2012. Accepted 24 / 2 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

Hydrological studies in Syria- in general- based on classical methods to derive catchment areas of road culverts or estimating the design storm for these catchments. Such operations have a significant degree of complexity, effort and time costing, up to implementing clear concept about streams crossing the road and deriving the catchments boundaries to estimate the designing storm discharge according to road classification and passing facility type preventing road inundation or demolition.

In this study the GIS technique was used to derive catchments for all outlets on this road and the morphological properties were estimated. The developed hydrological model for studied road allows designers to evaluate more accurate solutions in such engineering cases like determiningthe best locations for culverts on roads, estimating design storm and design discharge for those outlets and all other engineering characteristics "designing parameters" such as longitudinal slope, span, area, number of openings. as it allows the development of various economic solutions in order to choose the best one from both engineering and economic view points, according to road classification and storm probability.

Keywords: Hydrological Model, Geographic Information System, Culverts, Catchment area, Storm Discharge

***Assistant prof, Transportation Engineering Department, Civil Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تشكل الهيدرولوجيا أساساً مهماً لمعظم الدراسات المتعلقة بالمشاريع الهندسية الطرقية، إذ لابد من تقدير قيم الفيضانات المحتمل حدوثها لعدد من السنين عند إقامة المنشآت الطرقية في أماكن تقاطع المجاري المائية مع مسارات الطرق،وتعتمد سلامة هذه المنشآت التي تكلف الملايين على مدى صحة تقديرات الهيدرولوجيين ومدى دقة الدراسات الهيدرولوجية، ولعلّ النقص الكبير في المعلومات اللازمة قبل البدء بالتصميم يعدّ أكبر عقبة تصادف المهندس عند دراسة المشاريع الهندسية المتعلقة بالمنشآت التصريفية[1]، ممّا يجعل المهندس الطرقي في بلادنا مضطراً عند تصميم الطرق ودراسة منشآتها إما إلى الاعتماد على فرضيات موضوعة لمنطقة مشابهة مناخياً لبلادنا وتتوفر فيها القياسات، أو إلى اتخاذ بعض الفرضيات لحل المسائل التي يعالجها،وبما أن الفيضانات هي ظواهر طبيعية تحدث بأشكالٍ مختلفة وتؤثر في تصميم واختيار أبعاد وفتحات المنشآت التصريفية،لذلك لا بد من بناء نموذج هيدرولوجي للمسيلات المائية التي تظهر على شكل سيول تشكلها الأمطار الغزيرة، ودراسة امتداد وحجم الغمر فيها، والمتعلقين بالتدفقات الأعظمية المحتملة وبشكل الأودية واتساعها وبالكثير من العوامل الأخرى.

أهمية البحث وأهدافه :

يهدف البحث إلى وضع تصورٍ واضح للمسيلات المائية المتقاطعة مع مسار الطريق الذي يربط بين خربة عياش وأبو حكفة واستنتاج الأحواض الساكبة التي تغذيها، ومن ثم تحديد المواصفات المورفولوجية لهذه الأحواض بهدف تقدير الغزارات الأعظمية المتوقع حدوثها نتيجة العواصف المطرية، الأمر الذي يتصف بأهمية بالغة من الناحيتين الهندسية والاقتصادية لوضع الحلول التصميمية في اختيار نوع المنشآت الطرقية، ومن ثم حساب فتحاتها بما يحقق عدم غمر الطريق بمياه الفيضانات الناتجة عن الأمطار.

طرائق البحث ومواده:

للوصول إلى الهدف المطلوب من الدراسة، فقد تم بناء نموذج هيدرولوجي للمنطقة بالإستعانة بالمعطيات المناخية لمحطة السلمية التي تبعد **6 km** عن المسار المدروس، وتمت الاستعانة بنموذج ارتفاعي عددي **DEM** لمنطقة الدراسة في جملة إحداثيات جغرافية **WGS 84** وبنظام إسقاط مركاتور التربيعي الحزمة**37N** (هذا النظام معتمد بشكل أساسي من قبل الهيئة العامة للاستشعار عن بعد)، وقد تم استنتاج المجاري المائية الرئيسة اعتماداً على رسم المسيلات المائية في المنطقة، ومن ثم استنتاج الأحواض الساكبة الجزئية عند كل نقطة تقاطع مع المسار، وأخيراً حساب المواصفات المورفولوجية لكل منها.

موقع منطقة البحث:

يصل الطريق المدروس بين تجمعين سكنيين هما خربة عياش وأبو حكفة على مسافة 45Km إلى الشمال الشرقي من مدينة حمص، بين خطي طول " 3.02 ′ 08 ° 37 و" 38.9 ′ 11 °37و بين خطي عرض ′ 50 ° 34 " 32.37 و" 30.15 ′ 53 ° 34، ويوضح **الشكل (1)** الموقع العام لمنطقة البحث.

الشكل (1): الموقع العام لمنطقة الدراسة عن برنامج Google earth

الخصائص المناخية والطبيعية :

انطلاقاً من خصوصيات التضاريس والجغرافية المائية السورية[2]، فإنه يمكن تقسيم سورية تبعاً للظروف المناخية إلى: المنطقة الساحلية، المنطقة الجبلية، المنطقة الداخلية، المنطقة الجافة، وأخيراً المنطقة الصحراوية، كما

توجد في الأراضي السورية شبكات هيدروغرافية واضحة تتعلق أشكالها بالعوامل الآتية: 1- التضاريس، 2- نظام الأمطار، 3- التشكيلات الجيولوجية، ونتيجةً لذلك قسمت الأراضي السورية إلى سبعة أحواض مائية رئيسية هي حوض الجزيرة(الفرات الأوسط)، حوض حلب، حوض الساحل، حوض العاصي، حوض البادية، حوض دمشق(بردى والأعوج)، حوض اليرموك، وحوض الخابور.

يتصف حوض العاصي (الذي تقع فيه منطقة الدراسة)بوفرة أمطاره وبخصوبة تربته[3]، كما تبلغ مساحته (الحوض العلوي والأوسطKm^2 21624)،ومن أهم أنهاره: نهر العاصي – نهر عفرين – سيل الساروت، أما ملخص البيانات المناخية لمنطقة الدراسة فهو كما يأتي:البيئة المناخية للمنطقة جافة والقارية هي 40%؛ متوسط ارتفاع الهطول السنوي 300 mm ؛متوسط حجم الهطول السنوي 6350 مليون متر مكعب؛المعدل السنوي للحرارة الجافة 17 درجة مئوية؛ المعدل السنوي للحرارة العظمى24 درجة مئوية؛ المعدل السنوي للحرارة الصغرى 10 درجات مئوية؛ المعدل السنوي للرطوبة النسبية 60%؛ معدل التبخر السنوي 1800 mm؛اتجاه الرياح السائد غربية إلى شمالية غربية، ويبين الجدول (1) القيم الشهرية للبيانات المناخية الخاصة بمحطة السلمية.

الجدول (1): القيم الشهرية الوسطية للبيانات المناخية في محطة السلمية[2]

الشهر	معدل الهطل mm	الحرارة الجافة (درجة مئوية)	الحرارة العظمى (درجة مئوية)	الحرارة الصغرى (درجة مئوية)	الرطوبة النسبية %
كانون الثاني	75	6	11	2	80
شباط	37	8	13	3	75
آذار	35	11	17	5	70
نيسان	25	15	22	8	60
أيار	20	20	28	12	50
حزيران	< 5	25	34	16	40
تموز	< 5	27	36	18	45
آب	< 5	27	36	18	50
أيلول	< 5	24	33	15	50
تشرين أول	12	19	27	10	55
تشرين الثاني	30	13	20	6	65
كانون الأول	50	8	13	4	75

نظام المعلومات الجغرافية (GIS) Geographic Information System:

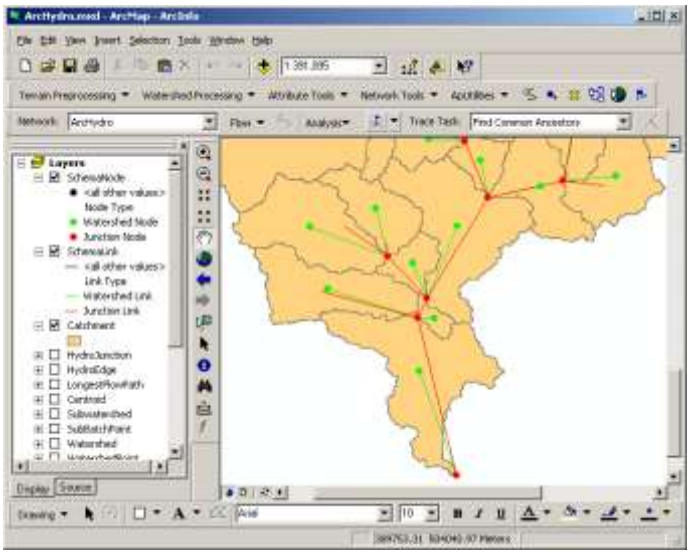
يعدّ نظام المعلومات الجغرافية أداةً فعالةً لتطوير الحلول المتعلقة بالموارد المائية، كإدارة الأحواض الصبابة وتحسين الحسابات الخاصة بخصائصها وبالجريانات فيها، وهو عملية تكامل بين خمسة عناصر أساسية وهي الأشخاص، البيانات، الأجهزة، البرامج، وأخيراً الإجرائيات، (انظر الشكل: 2)[4].

تعدّ االبيانات العنصر الأساسي من عناصر نظام المعلومات الجغرافية، ويجب أن تكون هذه البيانات ذات مصادر موثوقة، ويمكن الحصول عليها بعدة طرائق أهمها:

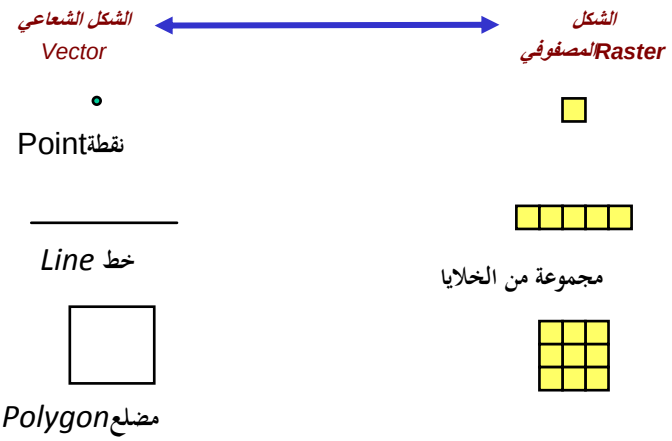
- الخرائط الورقية، حيث يتم إجراء مسح لها وإعادة إدخالها بشكل رقمي عن طريق عملية الرقمنة (DIGITIZING).
- البيانات الرقمية (DigitalData)، أي عن طريق بيانات رقمية مثل ملفات (Auto CAD)، أو ملفات من برنامج آخر.
- الحصول على البيانات بوساطة جهاز **GPS**، لتحديد الموقع الجغرافي لأية نقطة على سطح الأرض من خلال تخزين إحداثيات مجموعة من نقاطه، ويتم تخزين البيانات بأحد الشكلين (الشكل: 3) الآتيين:

1) الشكل الشعاعي (**VECTOR FORMAT**)، وهو سلسلة من الإحداثيات المستوية (X,Y)، تمثل مجموعة نقاط متفرقة أو نقاط مسار معين.

2) الشكل المصفوفي (**RASTER FORMAT**)، حيث يتم التخزين عن طريق خلايا (**CELLS**)، ولكل خلية قيمة معينة لتمثيل الواقع.



الشكل (2): إدارة الأحواض الساكبة



الشكل (3): تخزين البيانات بالشكلين الشعاعي والمصفوفي

نمذجة الأحواض الساكبة باستخدام أداة النمذجة الهيدرولوجية ArcHydro:

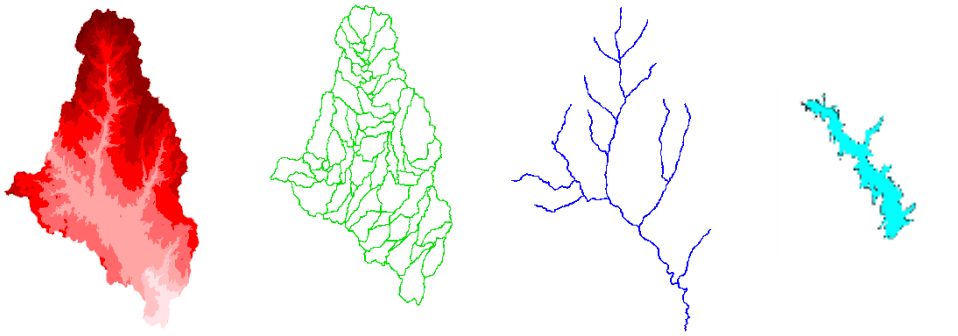
وهي نمذجة تستخدم توابع الهيدرولوجيا الهندسية ضمن أداة النمذجة الهيدرولوجية ArcHydro في نظام GIS للتنبؤ بسلوك المياه السطحية اعتماداً على طبقة الارتفاعات الرقمية DEM، حيث يحدد شكل سطح الأرض كيفية جريان الماء[5].

يمكن تلخيص مراحل نمذجة المياه السطحية وبالتالي التوابع اللازمة بما يأتي:

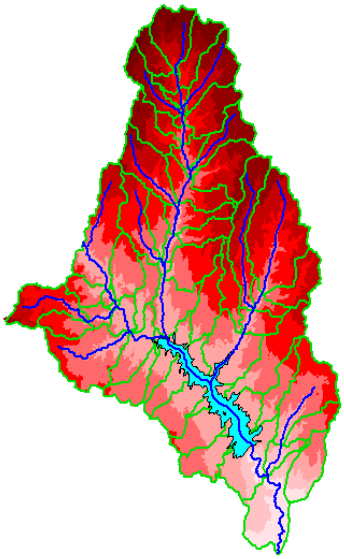
- أداة FLOWDIRECTION: تستخدم لتحديد اتجاه الجريان لكل خلية؛
- أداة FLOWACCUMULATION :تستخدم لحساب الجريان المتجمع في كل خلية؛
- أداة STREAM DEFINITION : تستخدم لاستنتاج المسيلات المائية اعتماداً على اتجاه الجريان وتجمعه في الخلايا؛
- أداة CATCHMENT DELINEATION: تستخدم لاستنتاج الأحواض الصبابة بناءً على المسيلات المائية، ويبين الشكل(4) تكامل قاعدة البيانات ذات التنسيقين الشعاعي والمصفوفي.

معالجة خارطة الارتفاعات للمنطقة المدروسة:

إن الخطوة الأولى في عملية التحليل هي الحصول على خارطة الارتفاعات للمنطقة المدروسة بتنسيق مصفوفي **DEM**، وعند عدم توافرها إلا بتنسيق شعاعي يمكن إجراء عمليات استيفاء وتحويلها إلى تنسيق مصفوفي.



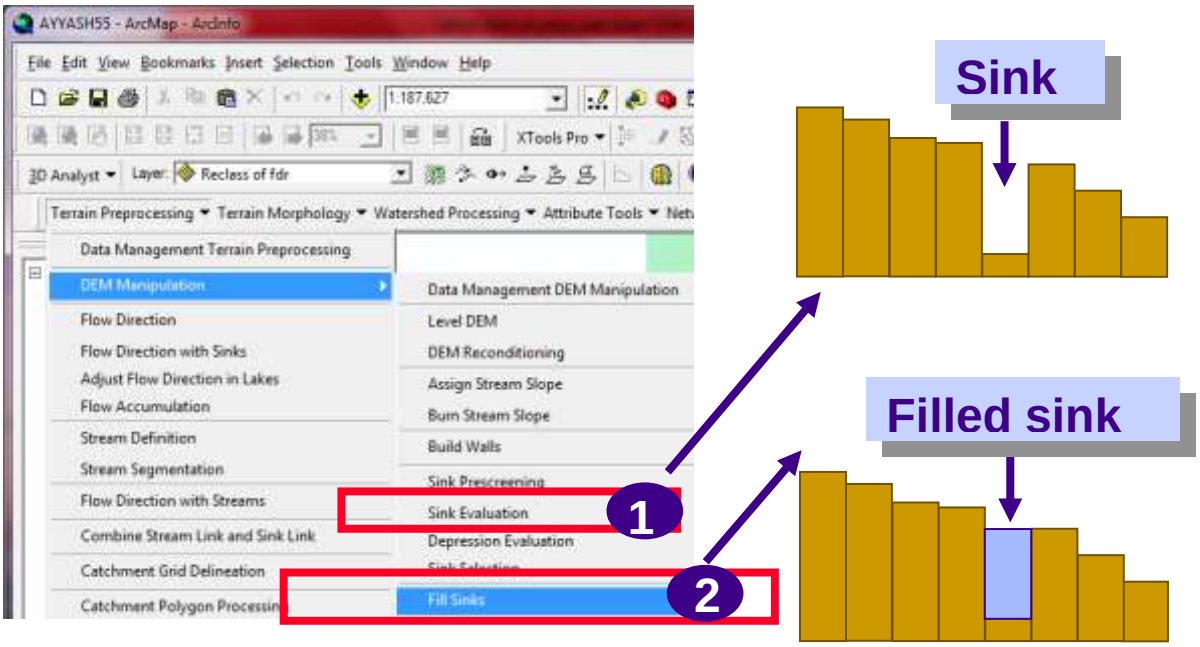
نموذج ارتفاعي رقمي	حويضات مائية	مسيلات مائية	مسطح مائي
Digital Elevation Model	Watershes	Streams	Waterbodies



الشكل (4): تكامل قاعدة البيانات ذات التنسيقين الشعاعي والمصفوفي

تهيئة السطح:

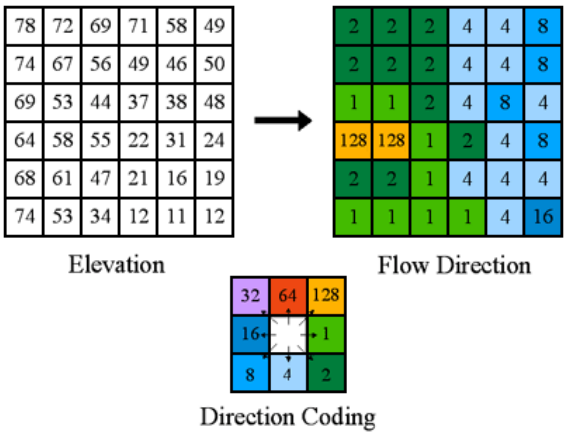
تحتوي معظم السطوح الطبوغرافية على نقاط منخفضة، (قد تكون أحياناً عبارة عن أخطاء ناتجة عن المعالجة أثناء تحويل السطح إلى تنسيق مصفوفي)، ولذلك يجب إملاؤها قبل القيام بأية عملية تحليل، كما هو موضح **بالشكل(5)**.



الشكل (5): إملاء المنخفضات

تحديد شبكة اتجاه الجريان:

تحسب شبكة الجريان ذات التنسيق المصفوفي مباشرةً من شبكة الارتفاعات الرقمية ذات التنسيق المصفوفي كما يوضح الشكل (6)، ويقوم التابع Flow direction بحساب اتجاه الجريان لكل خلية حسب ميلها بالنسبة للخلايا المجاورة، وتعدّ هذه الشبكة أساساً تتطلبه كافة العمليات والتحليلات التي تليها[4].

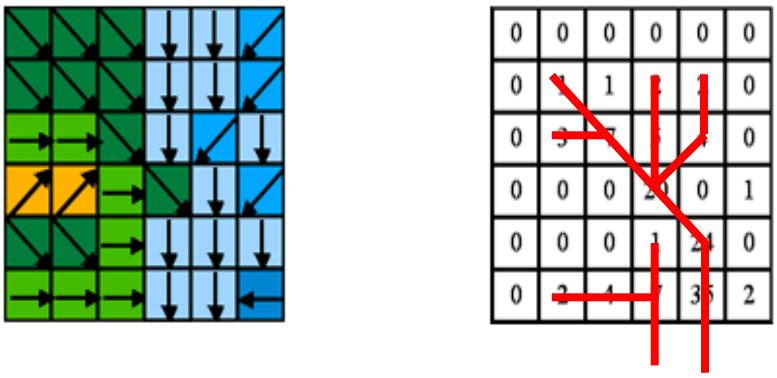


الشكل (6): تحديد اتجاه جريان المياه للخلايا

حساب الجريان المتجمع:

بعد الحصول على شبكة اتجاه الجريان، يمكن مباشرةً البدء باستنتاج طبقة الجريان المتجمع في خلايا النموذج، وفي هذه المرحلة تأخذ كل خلية قيمتها استناداً إلى عدد الخلايا التي تصب فيها وفق خريطة اتجاهات الجريان، وهذه المرحلة ضرورية لاستنتاج خريطة المسيلات المائية.

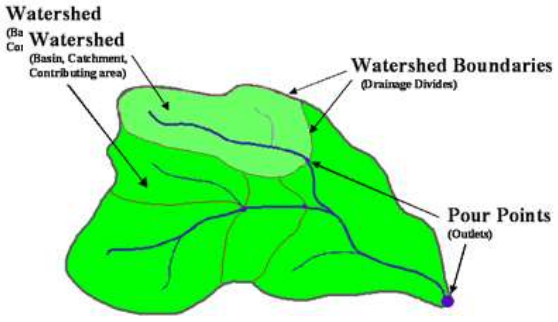
يمكن استنتاج شبكة المسيلات المائية في النموذج انطلاقاً من قيم الخلايا في خارطة الجريان المتجمع[4]، كما يوضح الشكل(7)، حيث تمثل الخلايا التي تملك أكبر القيم لتجمع الجريان شبكة المسيلات المائية.



الشكل (7): الجريان المتجمع وشبكة المسيلات المائية

تحديد الأحواض الصبابة الرئيسية والأحواض الصبابة الفرعية:

بعد الحصول على شبكة اتجاه الجريان ذات التنسيق المصفوفي، فإنه يمكن الاعتماد عليها لتحديد الأحواض الصبابة ونقاط التصريف لهذه الأحواض.إن نقطة التصريف هي أخفض نقطة واقعة على حدود الحوض الصباب الفرعي، وتحدد الأداة **Catchment Delineation** الأحواض الصبابة الفرعية والرئيسية، ويتم تحويل هذه الطبقة عن طريق عدة عمليات متتالية من معطيات مصفوفية إلى أخرى شعاعية، ممّا يمكّن من وضعها ضمن قاعدة بيانات رقمية وربطها بشبكة المسيلات المائية من جهة ونقاط التصريف (مخارج الأحواض) من جهة أخرى[6]، وصولاً إلى إعطاء كل عنصر في المنظومة المائية لمنطقة الدراسة رقماً تعريفياً فريداً مميزاً لهذا العنصر (**Assigning Unique Hydro ID**)، (انظر الشكل:8).

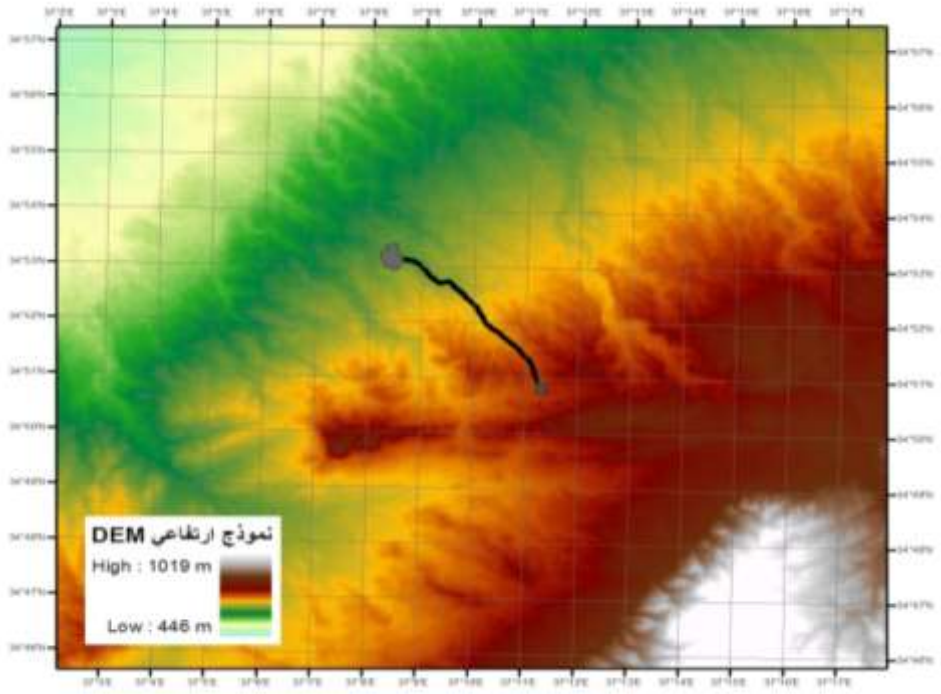


الشكل (8): تحديد الأحواض الصبابة الفرعية ونقاط التصريف

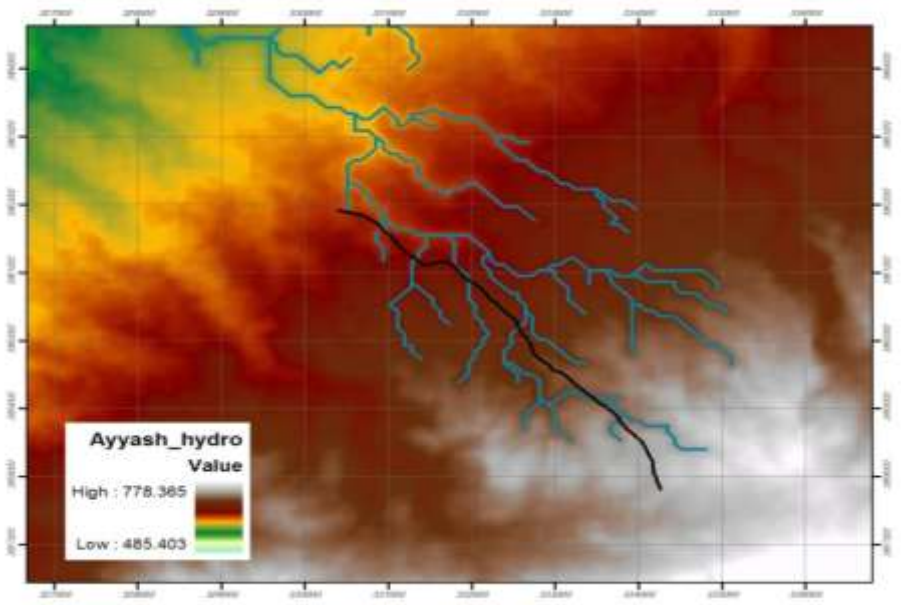
النتائج والمناقشة :

لقد قمنا أولاً بتهيئة النموذج الارتفاعي العددي لمنطقة الدراسة كما هو واضح بالشكل (9)، حيث يبدو من النموذج خطوط الطول والعرض المحددة للمنطقة، كما يبين مجال تغير الارتفاعات التي يمر فيها الطريق من الارتفاع **700m** إلى الارتفاع **600m** لمسافة تقريبية **6Km**، واستناداً إلى هذا النموذج فقد تم رسم أهم المجاري المائية كطبقة خطية يتطلبها البرنامج كما هو واضح بالشكل(10)، لتكون أساساً لاستنتاج المسيلات المائية.

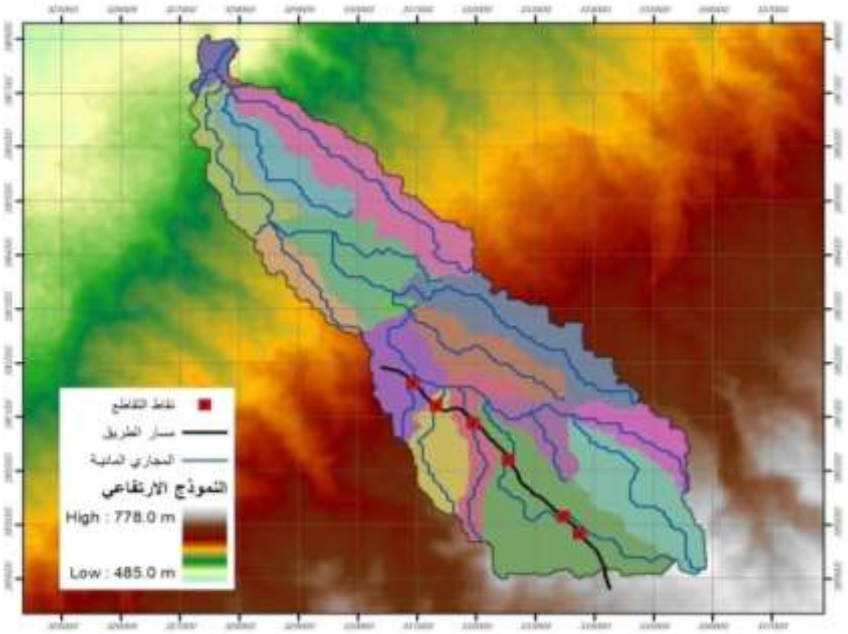
ومن أجل استنتاج الأحواض الساكبة الرئيسية في منطقة الدراسة، تمّ اتباع منهجية متسلسلة ضمن برنامج نظم المعلومات الجغرافية **ArcGIS** لاستنتاج طبقة المسيلات المائية وتحديد الأحواض الساكبة لهذه المسيلات[6]، وبناءً عليه فقد تم عزل الحوض الساكب الرئيسي ليتم العمل عليه كما يبين الشكل(11)، ومن ثم استنتاج الأحواض الساكبة الجزئية لنقاط التقاطع مع الطريق.



الشكل (9): النموذج الارتفاعي العددي لمنطقة الدراسة

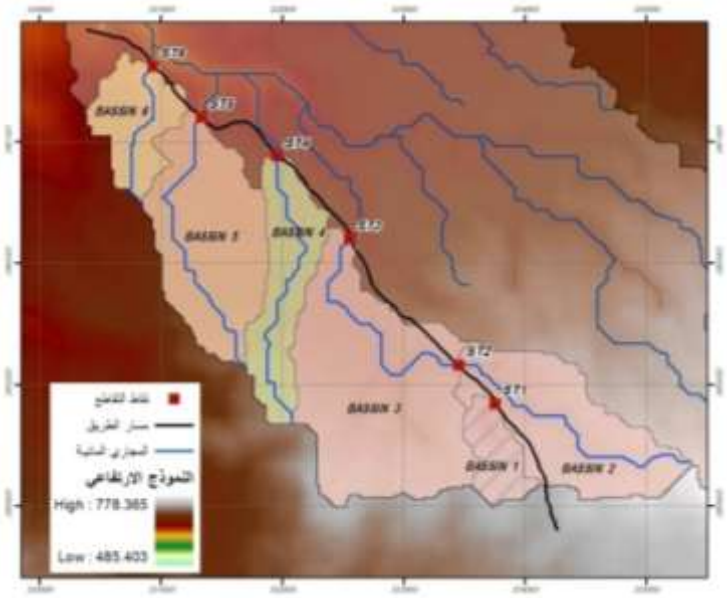


الشكل (10): طبقة خطية توضح المجرى المائي الرئيسي في منطقة الدراسة



الشكل (11): حدود الحوض الساكب الرئيسي وعلاقته مع الطريق في منطقة الدراسة

ومن خلال بناء النموذج الهيدرولوجي لمسار الطريق تم استنتاج الأحواض الساكبة الجزئية الستة لمنشآت التصريف،بعد أن تبين حتمية تقاطعه مع المسيلات المائية في ست نقاط تقاطع تشكل كل منها مصرفاً مائياً هيدرولوجياً (Outlet) كما يوضح الشكل(12)، وذلك من خلال أدوات البرنامج وانطلاقاً من مخطط متجهات الجريان FlowDirection.



الشكل (12): مخطط توزع الأحواض الساكبة عند نقاط التقاطع مع مسار الطريق

ومن أجل تقدير الغزارة الأعظمية المتوقع تمريرها عبر كل منشأة عند كل تقاطع مع الطريق للمسيلات المائية لا بد من تحديد المواصفات المورفومترية لكل حوض ساكب جزئي[6,7]، أي تحديد مساحته وطوله ومحيطه بالإضافة إلى الارتفاع الوسطي له،ومن ثم حساب زمن التركيز وتحديد العاصفة المطرية التصميمية باحتمالية التكرار المطلوبة.

- **الارتفاع الوسطي للأحواض الساكب**

من أجل حساب الارتفاع الوسطي لكل حوض، يقسم الحوض إلى مجموعة من مجالات الارتفاع، ثم تحسب المساحات المحصورة ضمن تلك المجالات كما هو موضح في الجدول(2)، وذلك وفق العلاقة الآتية[8]:

$$H_{av} = \frac{\sum_{1}^{n} F_i * H_I}{\sum F_i}$$

حيث:

F_i– مساحة الشريحة من الحوض؛ H_i– الارتفاع الوسطي للشريحة.

الجدول(2): حساب الارتفاع الوسطي للحوض الساكب، مثال(BASSIN 1)

الارتفاع الوسطي للحوض m	المساحة × الارتفاع الوسطي m^3	المساحة التراكمية m^2	مساحة الشريحة m^2	الارتفاع الوسطي m	الارتفاع الأعظمي للشريحة، m	الارتفاع الأدنى للشريحة، m
	3216000	4800	4800	670	672	668
	3230400	9600	4800	673	675	672
	1354000	11600	2000	677	679	675
	6528000	21200	9600	680	682	679
	18331200	48000	26800	684	686	682
	21465600	79200	31200	688	689	686
	27640000	119200	40000	691	693	689
	62828000	209600	90400	695	696	693
	49697600	280800	71200	698	700	696
693.1	27518400	320000	39200	702	704	700

- **حساب زمن التركيز(Time of concentration)**

يتعلق زمن التركيز بعوامل عدّة، أهمها طول المجرى والميل الطولي له، وخشونته، وسرعة جريان الماء فيه بالإضافة إلى مقدار التدفق، ويحسب زمن التركيز بمعادلات تجريبية كثيرة، منها معادلة سوكولوفسكي، معادلة ألكسييف، ومعادلة جياندوتي[8,9]، التي تعطى بالشكل:

$$t_C = \frac{1{,}5\,L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0{,}8 \cdot \sqrt{\overline{H} - H_o}}$$

حيث: A – مساحة الحوض [km^2] ؛ L – طول المجرى الرئيسي [km]؛ $\overline{H}$ – الارتفاع الوسطي للحوض [m] ؛H_o – منسوب مخرج الحوض[m]؛t_c– زمن التركيز[hour].

واعتماداً على علاقة جياندوتي، تم حساب أزمنة التركيز للأحواض الساكبة الجزئية الستة، ويبين **الجدول(3)** المواصفات المورفومترية لهذه الأحواض مع أزمنة التركيز الخاصة بها.

الجدول(3): المواصفات المورفومترية العامة للأحواض الساكبة الجزئية وأزمنة التركيز التابعة لها

المخرج المائي	X-mercator	Y-mercator	الحوض الساكب	محيط الحوض، km	مساحة الحوض، Km^2	الارتفاع الأصغري، m	الارتفاع الأعظمي، m	الارتفاع الوسطي، m	الميل الوسطي، %	طول المجرى الرئيسي، km	زمن التركيز hour
ST1	333758	3858838	*BASSIN 1*	3.32	0.320	668	704	693.1	6.93	2.4	1.46
ST2	333458	3859158	*BASSIN 2*	7.24	1.598	659	725	695.9	6.95	1.96	1.64
ST3	332558	3860198	*BASSIN 3*	12.36	3.832	630	725	683.7	6.82	4.63	2.52
ST4	331958	3860878	*BASSIN 4*	6.20	0.823	618	687	656.9	6.57	2.58	1.50
ST5	331338	3861198	*BASSIN 5*	6.84	1.433	608	676	647.8	6.47	2.52	1.7
ST6	330938	3861618	*BASSIN 6*	4.64	0.582	599	644	626.5	6.26	1.35	1.21

- **طرائق الحساب المعتمدة في ايجاد الغزارات التصميمية للمنشأة الطرقية**

لقد قام الكثير من الباحثين بدراسة التدفقات الأعظمية الناتجة عن الهطولات المطرية عند عدم توفر القياسات وذلك باستخدام الطرائق التجريبية، ووضعوا علاقات تجريبية خاصة بكل منطقة دراسة، لذلك يجب الاحتراس عند استخدامها، ولكن يوجد عدد من العلاقات، التي أثبتت نجاحها عند استخدامها في مناطق مختلفة ومتنوعة منها علاقة شدة التدفق الحدية (الطريقة المنطقية)[8]، وتعدّ الطريقة المنطقية أكثر الطرائق شيوعاً عند حساب التدفقات الأعظمية في الأنهار ذات الأحواض الساكبة الصغيرة المساحة عندما تكون المساحة أصغر من $12\ Km^2$،ولتطبيق العلاقة المنطقية يجب أولاً حساب زمن الجريان الأعظمي والذي يعادل زمن التركيز، وحساب الشدة المطرية الأعظمية الناتجة عن هطول مطري مدته تساوي زمن تركيز الحوض الساكب، بالإضافة إلى حساب معامل الجريان الأعظمي الذي يرتبط بزمن التكرار.

يتم تقدير الغزارات الأعظمية للأحواض الساكبة الموافقة لكل منشأة بحسب موقعها باستخدام المعادلة المنطقية ذات الشكل[8,9,10]:

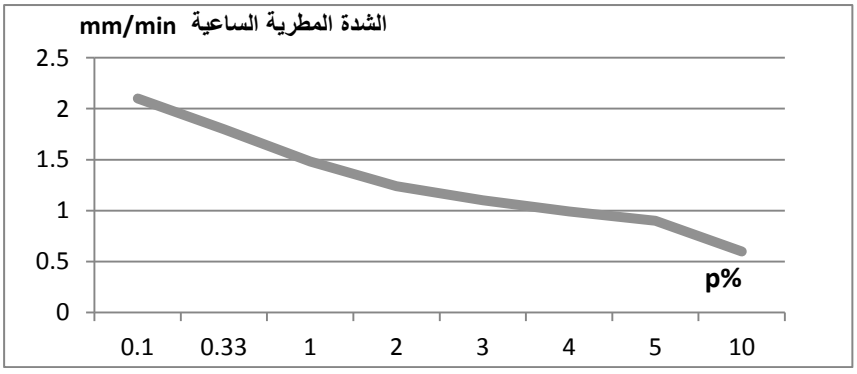
$$Q=16.7 * C * I * A$$

حيث:A– مساحة الحوض[km^2]، I– شدة الهطول[mm/min]، C – معامل الجريان السطحي.

تم تقدير مدخلات المعادلة المنطقية **(A, I, C)** لكل عبارة (أو حوض ساكب جزئي) وفق اعتبارات عامة مشتركة لجميع الأحواض وبناءً على المواصفات المورفومترية إضافة إلى استخدامات الأراضي التي تم استنتاجها من خلال الصورة الجوية لمنطقة الدراسة والمدعمة بالزيارات الميدانية، ،ونظراً لعدم توفر بيانات عن الهطولات المطرية الساعية لتقدير الشدة المطرية التصميمية في محطة السلمية، فقد تم الاعتماد على نتائج دراسة معدة سابقا[11]، والتي تعطي قيماً تصميمية للشدات المطرية باحتمالات تكرار مختلفة انطلاقاً من المعطيات الوسطية لهذه المحطات، (الجدول: 4) وكما يوضح الشكل (13).

الجدول (4): البارامترات الهيدرولوجية الأساسية لمحطة السلمية وباحتمالات مختلفة[11]

احتمالية التكرار %	0.1	0.33	1	2	3	4	5	10
الهطل السنوي mm	695	635	575	530	505	485	470	420
الهطل الشهري mm	282	245	210	185	170	160	153	130
الهطل اليومي الأعظمي mm	145	123	101	85	74	68	63	50
الشدة المطرية الساعية mm/min	2.1	1.8	1.48	1.24	1.1	0.99	0.9	0.6

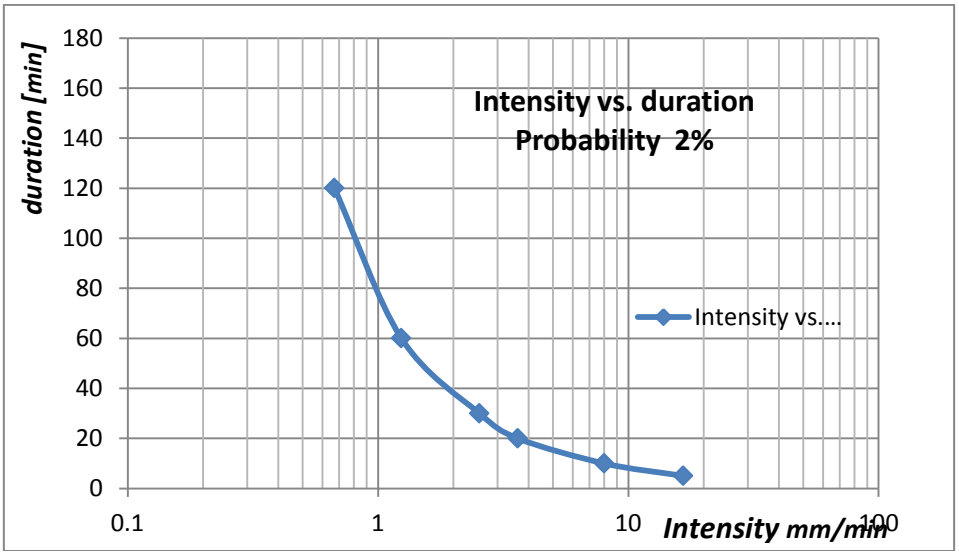


الشكل (13): مخطط حساب الشدة الساعية للعاصفة المطرية باحتمالات مختلفة

ونظراً لأن الطريق من المرتبة الرابعة، فإنه سيتم تصميم العبارات من أجل عواصف مطرية باحتمال تكرار 2%، (الشكل 14)[12]، وبما أن مسار الطريق يمر في منطقة زراعية ريفية، ومع ملاحظة أن الميول الوسطية لهذه الأحواض كانت متقاربة ولاتزيد عن 7%، فقد تم استنتاج عامل الجريان السطحي لها وكانت قيمته C=0.25، ويبين الجدولان (6،7) الحسابات الهيدرولوجية للأحواض الستة مع إحداثيات المخارج المائية عند توضع العبارات

الجدول (5): تغير الشدة المطرية بحسب مدة العاصفة المطرية وباحتمالات تكرار مختلفة[11]

10%	5%	3%	2%	1%	duration [min]	Intensity [mm/min]
8	10.8	13.5	16.6	20	5	I_5
5.2	5.84	6.85	8.01	9.26	10	I_{10}
2.42	2.7	3.07	3.62	4.3	20	I_{20}
1.52	1.74	2.08	2.54	3.02	30	I_{30}
0.6	0.9	1.1	1.24	1.48	60	I_{60}
0.38	0.46	0.55	0.67	0.8	120	I_{120}



الشكل (14): تغير الشدة المطرية بدلالة استمرارية العاصفة باحتمال تكرار2%

الجدول (6): الحسابات الهيدرولوجية للأحواض الجزئية الستة

BASSIN 6	BASSIN 5	BASSIN 4	BASSIN 3	BASSIN 2	BASSIN 1	اسم الحوض
0.58	1.43	0.823	3.83	1.6	0.320	مساحة الحوض KM^2
4.64	6.84	6.2	12.36	7.24	3.32	محيط الحوض KM
6.26	6.47	6.57	6.82	6.95	6.93	الميل الوسطي %
1.35	2.52	2.58	4.6	1.96	2.4	طول المجرى الرئيسي KM
72	102	90	151	99	88.0	زمن التركيز للحوض min
1.15	0.8	0.88	0.52	0.8	0.90	الشدة المطرية الحسابيةmm/min
2.8	4.8	3.0	8.3	5.3	1.20	غزارة المخرج المائي m^3/sec
ST6	ST5	ST4	ST3	ST2	ST1	المخرج المائي – العبارة

الجدول (7): إحداثيات المخارج المائية(العبارات) بنظام إسقاط ميركاتور المعترض الحزمة 37 شمال

المخرج المائي	X-mercator	Y-mercator
ST1	333758	3858838
ST2	333458	3859158
ST3	332558	3860198
ST4	331958	3860878
ST5	331338	3861198
ST6	330938	3861618

الاستنتاجات والتوصيات :

✓ وفر النموذج الارتفاعي المستخدم في هذه الدراسة (بدقة تمييز 90m) قاعدة جيدة ومناسبة لبناء النموذج الهيدرولوجي للمنطقة المدروسة واستنتاج التقاطعات الطرقية مع المجاري المائية باستخدام تقنيات GIS.

✓ يمكن حساب قيمة الغزارة الأعظمية في أية نقطة من المسيل المائي عند نقطة تقاطعه مع مسار الطريق بما يوافق قيمة الغزارة الأعظمية لمساحة الحوض الساكب الذي يغذي هذا المسيل، حتى الوصول إلى نقطة التقاطع مع هذا الطريق.

✓ يجب تدقيق القيم المعتمدة في حساب الشدة المطرية الأعظمية بناءً على معطيات ذات مدة زمنية طويلة، وايجاد القيم التصميمية للشدة المطرية باحتمالات تكرار مختلفة ليكون هناك إمكانية لتصميم المنشآت الطرقية المختلفة حسب صنف الطريق وحسب نوع المنشأة.

✓ يوصى بوضع معايير تصميمية خاصة بالشدة المطرية لكافة محطات سوريا المناخية، وذلك لتسهيل عمل المهندس في دراسة وتصميم المنشآت الطرقية بناءً على احتماليات تكرار مختلفة للغزارة الفيضانية.

✓ يوصى بوضع معايير خاصة في سوريا تتعلق بدرجة الطريق وباحتمالية التكرار المناسبة.

✓ إن التحليل الاحتمالي للمعطيات الهيدرولوجية هو مركب هام أو نموذج هام للدراسات الهيدرولوجية الحالية وتفسح المجال للمهندس لاتخاذ القرارات المناسبة للتصميم، لأن الحوادث الهيدرولوجية تعالج كإجراءات عشوائية أم تحلّ بالطرائق الإحصائية للحصول على احتمالات مختلفة لوقوعها.

المراجع :

1. أسعد؛ شذى إبراهيم، الطرق 1، جامعة تشرين– 2009، 466.
2. المديرية العامة للأرصاد الجوية، مديرية المناخ، *الأطلس المناخي لسورية*. دمشق–1977، 80.
3. جعفر؛ رائد سلمان، *تحديد منحنيات الشدة المطرية بدلالة مخططات الهطول المطري لتصميم شبكات الصرف الصحي*. أطروحة ماجستير – قسم الهندسة البيئية–2001، 278
4. النجار ؛ محمد هشام، سليمان؛ أمين، الشريف ؛ منجد.*تقدير الموارد المائية* – 2006، 311.
5. Beddient. P.B, Huber.wyne، C.*Hydrology and Floodplain Analysis*. United states-1992، 692.
6. Errin. Kemper, E.I.T, Todd .Wagner, P.E.*GIS and Urban HydrologyFlood Hazard Mapping With GIS*.http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc04/docs/pap1225.pdf
7. Kenneth. N.Brooks Peter. F. Folliott, Hans. M. Gregersen، LeonardF.*Hydrology and the Management of Watersheds*. Debano-1997. 502.
8. الأسعد؛ علي محمد، عمار؛ غطفان عبد الكريم. الهيدرولوجيا، جامعة تشرين– 2007، 405.
9. الأسعد؛ علي محمد، وعلاء الدين؛ محمد دريد.*الهيدرولوجيا* ، جامعة تشرين–1998، 320.
10. Ray K. Linsley,JR. Max .A. Kohler,JosephL، H. Paulhus.*Hydrology for engineers*-1982, 508.
11. أسعد، شذى إبراهيم.*وضع قوانين إقليمية للغزارات المطرية في سورية لاستخدامها في تصميم المنشآت الطرقية*، أطروحة دكتوراه من موسكو–، 278.
12. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Highway Drainage Design Manual Hydrology,1993. 338.