

تأثير تغير الميل والشدة المطرية للجابية على السيح

الدكتور باسل خضر داؤد*

الدكتور يونس نجيب سعيد**

(تاريخ الإيداع 18 / 5 / 2009. قُبل للنشر في 2009/10/1)

□ ملخص □

للميل والشدة المطرية على جابية معينة تأثير مباشر على كمية السيح . ولدراسة هذا التأثير تم تنفيذ (25) تجربة باستخدام جهاز تمثيل المطر صناعيا (Basic hydrology system) وعلى جابية بأبعاد (2 * 1 م²) ولتربة غرينية مزيجية (Silty loam) وذلك باخذ خمس شدات مطرية (135 , 200 , 255 , 300 , 380) ملم ساعة وخمسة ميول هي (1 , 2 , 3 , 4 , 5) بالمئة وتم قياس عمق الجريان الذي يحصل في الجابية مع تحديد لكمية السيح الأعظم (Qmax) في منفذ الجابية . اشتقت من ذلك الكثير من العلاقات الرياضية التصميمية، حيث استخدم فيها رقم رينولدز والذي بين نوع الجريان، هل هو صفائحي أو مضطرب والذي تراوحت قيمه بين (183.836 - 62.267) ثم طبقت في معادلة سانت فينانت بعد أن تم إجراء حل تحليلي لها (Analytical solution) هذه المعادلة تتعامل مع الجريان السطحي الضحل غير المستقر وغير المنتظم. وهذه نقاط مهمة يجب أخذها بعين الاعتبار في رسم مخطط السيح الدقيق لأي جابية .

الكلمات المفتاحية: الشدة المطرية - تغير الميل - معادلة سانت فينانت - رقم رينولدز

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الموارد المائية-كلية الهندسة-جامعة الموصل-العراق.

**مدرس مساعد-مركز بحوث السدود والموارد المائية-جامعة الموصل-العراق.

Effect of slope and Rainfall intensity changes on the Runoff of a Catchment

Dr. Basil Khether Dawood *

Dr. Younis Najib Saeed **

(Received 18 / 5 / 2009. Accepted 1 / 10 / 2009)

□ ABSTRACT □

Slope and Rainfall intensity have direct effect on the quantity of runoff . To study this effect (25) experiments have been done using the Basic hydrology system on a catchment of dimensions (2 * 1 m²) , and for a silty loam soil . Five intensities (135 , 200 , 255 , 300 , 380) mm / hr , and Five slopes (1% , 2% , 3% , 4% , 5%) were used , the depths of flow were measured in the catchment through the experiment and finally the maximum discharge at the outlet of the catchment .

Many mathematical equations which Reynolds number were used in to determine the type of flow which was either laminar or turbulent and its values ranged from (62.267 – 183.836) , these values used in the analytical solution of Saint-Venant equations since the equation used in estimating the accurate hydrograph of a catchment because it dealt with unsteady and nonuniform flow .

Key words : Rainfall intensity – Change of slope – Saint-Venant equations – Reynolds number .

* Assistant Prof., Water Resources Engineering Dept., College of Engineering, University of Mosul, Iraq.

** Assistant Lecturer, Dam and Water Resources Research Center, University of Mosul, Iraq.

مقدمة:

إن الجريان السطحي هو الجزء الأهم في ردة الفعل المتحركة للجابية إلى الزخات المطرية، ويمكن تعريفه بأنه حركة الماء فوق الأرض (الجريان الشريطي) إلى منظومة القنوات والجداول في الجابية، وعمق الماء هذا يكون قليلاً، وبالتالي فإن حجم الماء الذي يغطي الأرض كطبقة رقيقة تكون كبيرة نسبياً وهي تؤثر على شكل الهيدروغراف وأغلب الفيضانات الوميضية (Flash Flood) تحدث بسبب الجريان السطحي الوميضي (Flash Runoff) المباشر من الأمطار. ولهذا فإن أغلب منشآت السيطرة المنفذة كمقاييس غير إنشائية هي لتقدير أثر وضرر الفيضان، وهذا الذي تحتاجه مدينة الموصل على سبيل المثال لغرض معرفة حالة الجريان وقيمتها لنهر الخوصر الذي يخترق المدينة ويمر في الكثير من الأحياء السكنية والتجارية لها، وما الفيضان الذي حصل في (3 آذار عام 1988) الا خير مثال ودليل على ذلك .

عدد من الباحثين في هذا المجال تطرق إلى دراسة تأثير بعض العوامل على شكل مخطط السيلح منهم الباحث (Kengo , et al. , 1988) حيث بين تأثير بعض العوامل الطبوغرافية على خصائص السيلح المباشر، منها طول الجابية وشكلها وخشونتها (Roughness) ونفوذية السطح، ودرس تأثير هذه العوامل على خصائص الجريان وشكل المخطط . أما الباحث (Younis , 1996) فقد تطرق إلى الحل التحليلي لمعادلة سانت فينانت، والتي تعتبر من أهم المعادلات التي تحكم الجريان الشريطي (Overland flow) على السطوح المختلفة الخشونة وعادة تحل هذه المعادلات بمختلف الطرق العددية. وقد احتوى الحل الذي اعتمده الباحث جميع عناصر المعادلة تقريباً، وقد اثبت الباحث أن الطريقة المقترحة للحل في تحديد زمن الوصول إلى تصريف الذروة بأنها دقيقة مقارنة بين القيم النظرية والعملية . أما الباحث (Alan D., et al. , 2004) فقد درس تأثير الجريان الشريطي على ظاهرة تقنيت التربة وعلاقتها بظاهرة الزحف التي تحدث فيها في جابية تقع شمال فينتام، ولهذه الغاية قام بحساب وقياس الإيصالية الهيدروليكية للتربة، إضافة لتوليد معلومات عن السيلح الوميضي . أما الباحث (Haggard , et al , 2005) فقد درس تأثير الميل على السيلح لجوابي صغيرة مختبرية ذات ميل متغير، حيث قيمت هذه الدراسة تأثير تغير الميل على ظاهرة معدل الارتشاح وإنتاج معدل السيلح حيث كانت العلاقة طردية بين المتغيرين (السيلح ، الميل) ولاحظ أيضاً أن ظاهرة الارتشاح الحاصلة في السطح لها تأثير كبير على حجم الجريان السطحي . هذا التأثير احتاج أيضاً إلى معرفة الرطوبة المسبقة للتربة (Antecedent soil moisture) والتي تم قياسها خلال التجربة .

أهمية البحث وأهدافه:

إن الجريان السطحي الوميضي ذو طبيعة معقدة، ولا يمكن التكهن به ومعرفة قيمته بسهولة، بسبب التعقيدات الفيزيائية الموجودة في الجابية، حيث تلعب العوامل منها : نوع التربة في الجابية ، وهل الجابية جرداء ام مزروعة؟ ونوع الزرع هل هو طويل أو قصير؟ وكذلك مستوى الماء الجوفي، إضافة إلى طبوغرافية الجابية في زيادة أو نقصان هذه التعقيدات . وبناء عليه فإن من الأمور المهمة التي يجب الانتباه إليها في رسم مخططات السيلح، هي معرفة الكثير من المتغيرات المهمة، مثل رقم رينولدز ومعامل الاحتكاك (f)، ومعامل جيزي (C^*) والتي تعتبر من العوامل التي تؤثر على حركة السيلح داخل الجابية، ومن ثم تربط هذه المتغيرات مع بعضها في معادلة سانت فينانت (Saint-Venant equations) بعد إجراء الحل التحليلي لها لغرض الحصول على مخطط لهذا السيلح . ومن الأمور

المؤثرة أيضا على السيح الخارج من منفذ الجابية هو ميل الجابية، والذي يؤثر بدوره على الارتشاح وقيمة الجريان السطحي، وكذلك قيمة الشدة المطرية، فيما إذا كانت قيمتها صغيرة أم كبيرة أو بينهما، وهذه تؤثر على شكل الهيدروغراف .

لهذا فإن الغاية من البحث الحالي هي دراسة تأثير الميل والشدة المطرية على السيح، حيث نفذت لهذه الدراسة (25) تجربة لشدات مطرية مختلفة عددها (5) وميول مختلفة عددها (5) واشتقت منها الكثير من العلاقات بين المتغيرات، ثم جري تطبيقها في حل معادلة سانت فينانت لغرض رسم مخطط السيح الوميضي لجابية ذات تربة غرينية مزيجية بأبعاد (2 * 1 م²) وهذه يستفاد منها في التطبيق الحقيقي بعد عمل مقارنة بين التجربة والتطبيق .

طرائق البحث ومواده :

يعتبر العمل المختبري جزءاً مهماً في هذا البحث لغرض الحصول على المعلومات الضرورية لقياسات الأعماق والتصريف، ومقدار الشدات المطرية اللازمة لإتمام البحث . تم إجراء التجارب على جهاز تمثيل المطر صناعياً (Basic hydrology system) . حيث كان الهدف من العمل المختبري الحصول على نتائج قياسات لأعماق الجريان السطحي في نهاية المجرى المائي للجهاز، وحساب كمية تصريف الذروة الخارج . وذلك بعد الوصول الى حالة التوازن (Equilibrium Condition) حيث تثبت عندها كمية التصريف الخارج وعمق الجريان، والنواتج من تسليط شدة مطرية على الجهاز، موزعة بالتساوي على ثمانية مرشات (Nozzels) . ويمكن تقسيم العمل المختبري إلى :

1- وصف الجهاز المستعمل :

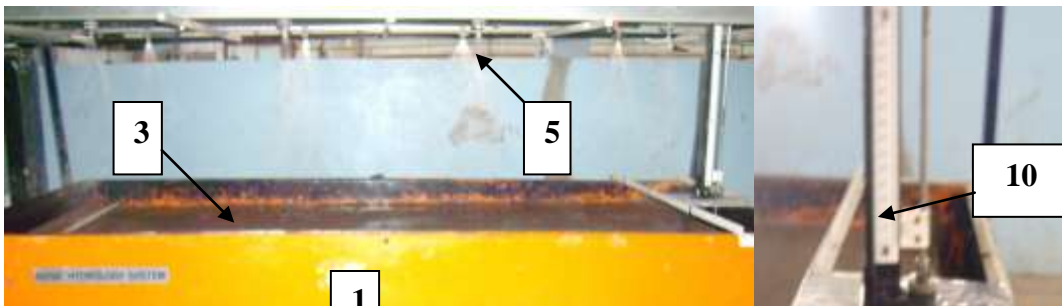
ويتكون الجهاز من قاعدة حديدية مثبت عليها قناة حديدية، وهي بشكل متوازي مستطيلات، وتحوي في نهايتها على فتحة دائرية بقطر (5 سم) لغرض خروج الماء منها . والقناة مثبتة فوق قاعدة الجهاز على ارتفاع (101 سم) كما في اللوحة (1) . وأبعاد القناة الحديدية هي (220 * 100 * 23 سم) كطول وعرض وارتفاع. ويوضع نموذج التربة بداخل القناة بأبعاد (200 * 100 * 16 سم) كطول وعرض وارتفاع أيضا . ويحتوي الجهاز على مرشات وعددها (8) مثبتة فوق حامل حديدي بارتفاع (66 سم) على أسفل قاعدة القناة وبواقع اربع مرشات من كل جهة، والمسافة بين مرشة وأخرى (50 سم) والبعد العمودي بين المرشات وسطح التربة (50 سم) . ويوجد خزان ماء حديدي مثبت أسفل القناة بأبعاد (123 * 63 * 46 سم) كطول وعرض وارتفاع . والجهاز مزود بمضخة تدفع الماء من الخزان الى المرشات ، وبوسيلة لقياس التصريف (لتر ١ دقيقة) موضوعة على مسار الأنبوب الناقل على هيئة أسطوانة مدرجة يمر خلالها الماء، وتحوي على مؤشر لقيمة التصريف ، وكذلك يحوي الجهاز على صمام للتحكم بالتصريف وبالتالي السيطرة على مقدار الشدة المطرية من حيث الزيادة والنقصان ، ومزود بمسطرة لقياس عمق الجريان (Point gauge) في نهاية المجرى تصل دقتها إلى أجزاء المليمتر .

2- طريقة اختيار النموذج :

من الأمور المهمة في إنجاز العمل المختبري، هو اختيار نوع التربة المناسبة لإجراء التجارب عليها، لما لها من تأثير على عمق وحالة الجريان داخل القناة . تم اختيار نموذج التربة من موقع قريب من جامعة الموصل ، حيث كان نوع التربة غرينية مزيجية (Silty Loam) بعد إجراء الفحص المختبري عليها .

3- طريقة التنفيذ :

- 1- **تهيئة التربة :** لغرض تهيئة أسفل القناة (الجزء الذي سيتم عليه الجريان السطحي) يتم فرش التربة ورسها بشكل مستو ومنتظم داخل القناة الحديدية، وبأبعاد (2 * 1) متر مربع .
- 2- **ضبط الميل :** لغرض ضبط ميل الجهاز على مقدار معين يتم رفع قاعدة الجهاز من مقدمتها (جهة بداية القناة الحديدية) بأرتفاع معين عن طريق استخدام مساند وذلك للحصول على الميل المطلوب .
- 3- **ملء الخزان بالماء :** حيث يتم ذلك عن طريق مصدر مائي .
- 4- **تصفير مسطرة القياس :** تصفر المسطرة بحيث يلامس مؤشرها سطح التربة .
- 5- **تشغيل مضخة الماء :** يتم تشغيل مضخة الماء لرفع الماء من الخزان الى المرشات .
- 6- **التحكم بالتصريف الداخل إلى الجهاز :** يتم استخدام وسيلة التحكم بالتصريف عن طريق فتح الصمام (القفل) ليسمح للماء بالمرور من مضخة الماء إلى الأسطوانة المدرجة (وسيلة قياس التصريف) ومن ثم إلى المرشات . حيث يستمر فتح الصمام (القفل) الى الحد الذي يثبت عنده مؤشر قياس التصريف في الأسطوانة المدرجة عند قيمة محددة، يتم تعيينها مسبقاً، وذلك للحصول على الشدة المطرية المطلوبة .



7- قياس التصريف الخارج من الجهاز : بعد تشغيل المضخة وخروج الماء من المرشحات وجريانه على سطح التربة داخل القناة الحديدية لفترة من الزمن إلى حين الوصول الى حالة التوازن (Equilibrium Condition) حيث يصبح التصريف الخارج من الجهاز عن طريق الفتحة الدائرية في نهاية القناة أعلى مايمكن ، عند هذا الزمن فما فوق يتم قياس التصريف الخارج من الجهاز (Qmax) عن طريق جمع الماء الخارج في وعاء لفترة زمنية محدودة، ومن ثم حساب حجم الماء المتجمع في الوعاء بوحدة (لتر) ويقسمه الحجم على الزمن المحدد (بالدقيقة) الذي استغرقه الماء ليتجمع في الوعاء، يتم الحصول على مقدار التصريف مقدرا بوحدة (لتر \ دقيقة) . وتم قياس الزمن اللازم للوصول الى تصريف الذروة (Peak Discharge) مختبريا، وكذلك قيمة التصريف الخارج عن طريق أخذ عدة قياسات للتصريف الخارج من الجهاز باوقات متتالية إلى أن تثبت قيمة التصريف الخارج من الجهاز، حيث يمكن اعتمادها كونها أعلى تصريف خارج (Peak Discharge) .

8- قياس عمق الجريان : بعد قياس أعلى تصريف خارج من القناة (Peak Discharge) بالطريقة المشار إليها بالفقرة (7) أي بعد حصول حالة التوازن (Equilibrium Condition) تم قياس أعلى عمق للجريان في نهاية المجرى المائي للقناة عن طريق استخدام مسطرة القياس الخاصة بذلك (Point gauge) حيث يلامس المؤشر فيها سطح الماء في مؤخرة القناة، ويؤخذ عندها قياس العمق .

9- قياس الشدة المطرية : يتوزع التصريف الداخل إلى الجهاز على (8) مرشحات موزعة على أبعاد متساوية فوق القناة الحديدية ، وعلى فرض أن الماء الخارج من المرشحات يتوزع بالتساوي على جميع أجزاء القناة، لهذا فإن الشدة المطرية يمكن حسابها من المعادلة التالية :

$$I = \frac{Q}{A} * 60 \quad \text{----- (1)}$$

حيث أن : I = الشدة المطرية (ملم \ ساعة) .

Q = معدل التصريف الداخل إلى القناة (لتر \ دقيقة) .

A = المساحة، وتمثل مساحة سطح الجريان ($2 * 1$ م 2) .

وبحسب معدل التصريف الداخل إلى القناة عن طريق أخذ قراءة المؤشر داخل الأسطوانة المدرجة المعدة لقياس التصريف الداخل الى القناة، ومن ثم يحسب معدل التصريف الداخل إلى القناة عن طريق حساب حجم التصريف الخارج من مرشحة واحدة مع الزمن وضرب الناتج في (8) لغرض التحقق .

النتائج والمناقشة:

النتائج المختبرية : أجريت هذه التجارب على خمسة ميول للجابية (1% , 2% , 3% , 4% , 5%) ولخمس شدات مطرية (135 , 200 , 255 , 300 , 380) ملم \ ساعة وتم فيها قياس أعلى تصريف خارج (Qmax) بوحدة (لتر \ دقيقة) والعمق النهائي للسبح (d) بوحدة المليمتر، وكما في الجداول (1a , 1b) .

الجدول (1a) النتائج المختبرية لكل من التصاريف العظمى (Qmax) والعمق النهائي (d) ولميول مختلفة (3% , 2% , 1%)

الميل (S) = 3%		الميل (S) = 2%		الميل (S) = 1%		الشدة المطرية (I) (mm / hr)	رقم التجربة
d (mm)	Qmax (L/min)	d (mm)	Qmax (L/min)	d (mm)	Qmax (L/min)		
3.2	4.4	4	4.3	4.8	4.3	135	1
3.6	6.48	4.5	6.4	5.3	6.3	200	2
4.1	8.22	5	8.2	5.6	8.3	255	3
4.2	9.8	5.4	10	6	9.58	300	4
4.5	12.1	5.7	12.1	6.4	12	380	5

الجدول (1b) النتائج المختبرية لكل من التصاريف العظمى (Qmax) والعمق النهائي (d) ولميول مختلفة (5% , 4%)

الميل (S) = 5%		الميل (S) = 4%		الشدة المطرية (I) (mm / hr)	رقم التجربة
d (mm)	Qmax (L/min)	d (mm)	Qmax (L/min)		
2	4.48	2.5	4.48	135	1
2.8	6.6	3.2	6.5	200	2
3.3	8.34	3.6	8	255	3
3.5	10	4	9.8	300	4
3.8	12.67	4.2	12.2	380	5

التحليل الهيدرولوجي : تضمن التحليل فقرات عدة وهي :

1- حساب رقم رينولدز (Rn) : فكما هو معروف، فان هذا الرقم شائع الاستخدام في الهيدروليك أكثر منه في الهيدرولوجيا إلا أنه تم التطرق إليه لمعرفة حالة الجريان، هل هي مضطربة (Turbulent) ام صفائحية؟ (Laminar) ولما لها من تأثير على رسم الهيدروكراف المتعلق بالسيح . ورقم رينولدز (Rn) إذا كانت قيمته أكبر أو يساوي (300) فالجريان مضطرب (Turbulent flow) وإذا كان أقل من هذا الرقم، فهو صفائحي (Laminar flow) (Woolhiser , et al. , 1970) . والمعادلة التي تحسب رقم رينولدز (Rn) هي (8) :

$$Rn = \frac{VR}{\nu} \quad \text{----- (2)}$$

حيث ان :

V = معدل سرعة الجريان (متر \ ثانية) .

R = نصف القطر الهيدروليكي = $\frac{A}{P}$.

A = مساحة مقطع القناة (متر مربع) = $d * Wi$.

P = محيط مقطع القناة المبثل (متر) = $2d + Wi$.

Wi = عرض القناة، ويمثل عرض القناة الحديدية (متر) .

d = عمق الماء في القناة، ويمثل العمق النهائي للجريان (متر) .

$\nu =$ اللزوجة الكينماتيكية، وتستخرج من جداول خاصة وبدرجة حرارة للماء هي 15 درجة مئوية
 $= 1.14 \cdot 10^{-6}$ (متر مربع \ ثانية) .

ويبين الجدول التالي قيم رقم رينولدز لمختلف الميول التي تم الحصول عليها

الجدول (2) قيم رينولدز (Rn) لمختلف الميول (S) (5% , 4% , 3% , 2% , 1%)

قيم رينولدز (Rn)					رقم التجربة
S = 5%	S = 4%	S = 3%	S = 2%	S = 1%	
65.236	65.171	63.918	62.366	62.267	1
96	94.424	94.06	92.732	91.139	2
121.13	116.122	119.198	118.696	120	3
145.182	142.137	142.08	144.636	138.397	4
183.836	176.876	175.322	174.906	173.221	5

2- العلاقة بين الميل (S) ورقم رينولدز (Rn) : تم ايجاد العلاقة بين الميول المختلفة للجابية ورقم رينولدز، وبشكل علاقة متعددة الحدود من الدرجة الثالثة وباستخدام برنامج أكسل (2003) والذي كان معامل التحديد (R^2) فيه أعلى مايمكن ، فكانت العلاقة التي تربط الميل (S) ورقم رينولدز (Rn) هي بالصيغة التالية :

$$Rn = aS^3 + bS^2 + cS + D \quad \text{-----} (3)$$

حيث ان :

$c, b, a =$ معاملات الميل .

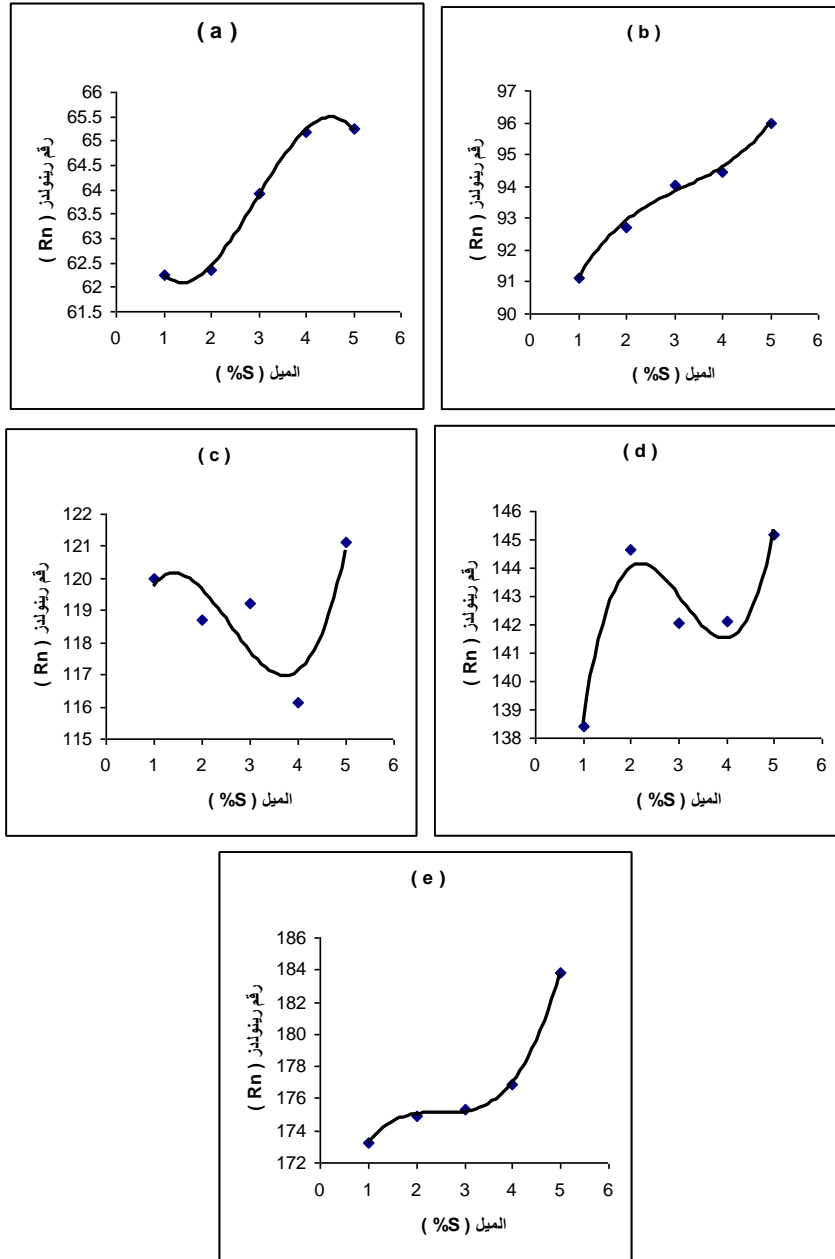
$D =$ قيمة ثابتة .

$S =$ ميل القناة وتراوحت قيمة الميل من (1%) الى (2%) .

وكانت النتائج، وكما هي مبينة في الجدول (3) وعند ثبوت الشدة المطرية وكما في الشكل (1) ادناه :

الجدول (3) العلاقة بين الميل ورقم رينولدز عند شدات مطرية مختلفة

رقم التجربة	الشدة المطرية (I) (ملم \ ساعة)	معامل S^3 (a)	معامل S^2 (b)	معامل S (c)	الرقم الثابت (D)	R^2
1	135	-220083	19545	416.24	64.683	0.9987
2	200	123083	11790	447.39	87.68	0.9912
3	255	523167	40624	843.85	114.86	0.7024
4	300	981917	91069	2589.8	120.78	0.9398
5	380	556250	41714	1043.8	166.37	0.9993



شكل (1) العلاقة بين الميل (S) ورقم رينولدز (Rn) عند شدات مطرية مختلفة
 (a) 135 ملم ١ ساعة ، (b) 200 ملم ١ ساعة ، (c) 255 ملم ١ ساعة ،
 (d) 300 ملم ١ ساعة ، (e) 380 ملم ١ ساعة

3- العلاقة بين الشدة المطرية (I) ورقم رينولدز (Rn) : كانت العلاقة بين الشدة المطرية ورقم رينولدز خطية التي أعطت قيمة عالية لمعامل التحديد (R^2) وعند ميول مختلفة . والمعادلة هي بالشكل التالي :

$$Rn = EI \quad (4)$$

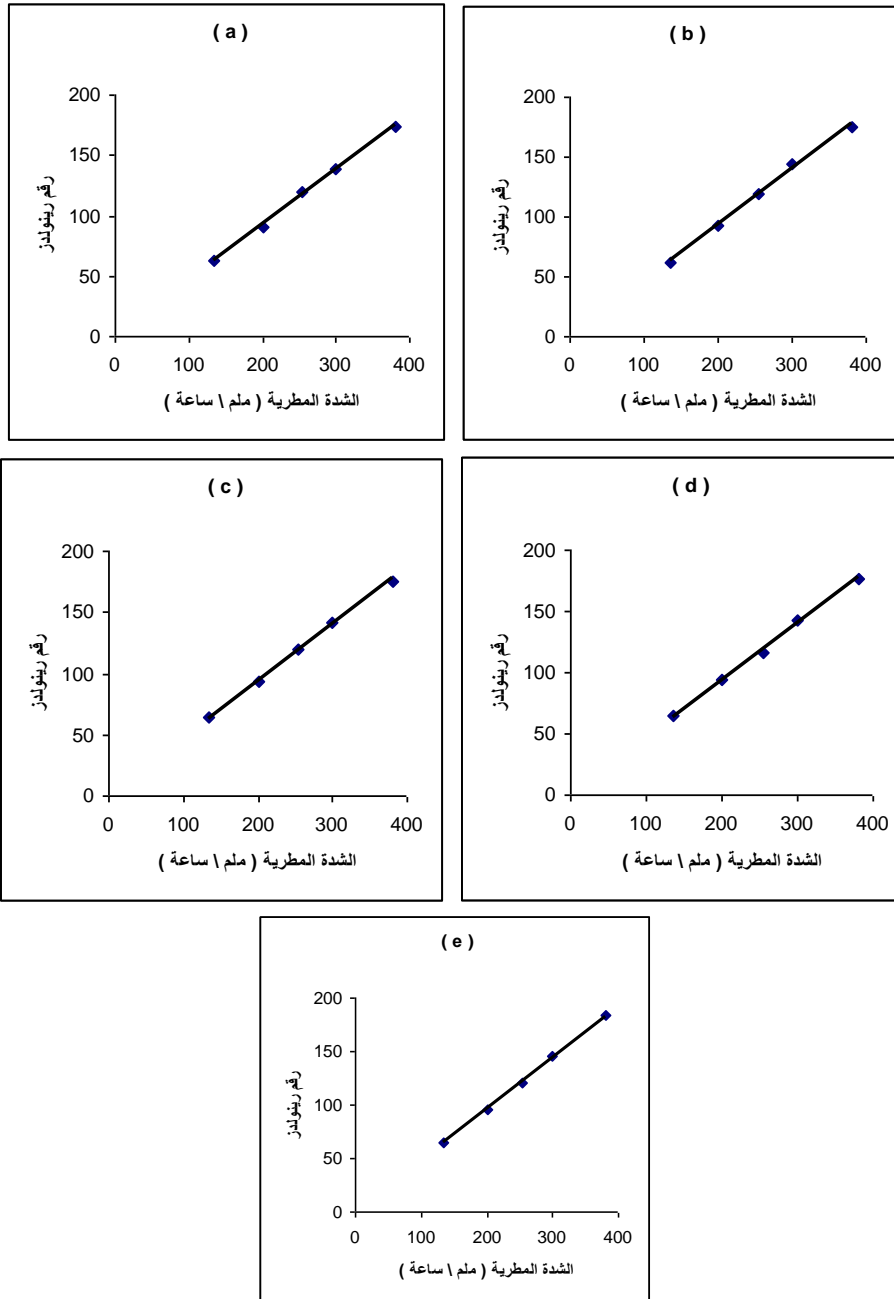
حيث ان :

E = قيمة ثابتة .

والنتائج هي مبينة في الجدول (4) وممثلة بالشكل (2) وكما يلي :

الجدول (4) العلاقة بين الشدة المطرية (I) ورقم رينولدز (Rn) عند ميول مختلفة

R^2	معامل (I) (E)	الميل (%) (S)	رقم التجربة
0.9986	0.4602	1	1
0.9963	0.4672	2	2
0.9987	0.4672	3	3
0.9975	0.4674	4	4
0.9995	0.4818	5	5



شكل (2) العلاقة بين الشدة المطرية (I) ورقم رينولدز (Rn) عند ميول مختلفة
1% (a) ، 2% (b) ، 3% (c) ، 4% (d) ، 5% (e)

4- العلاقة بين الميل (S) وعمق الجريان (d) : حيث ارتبط هذان المتغيران بعلاقة أسية، وكانت قيمة معامل التحديد (R^2) فيه أعلى مايمكن وتمثلت العلاقة بالشكل التالي :

$$d = Fe^{-KS} \text{----- (5)}$$

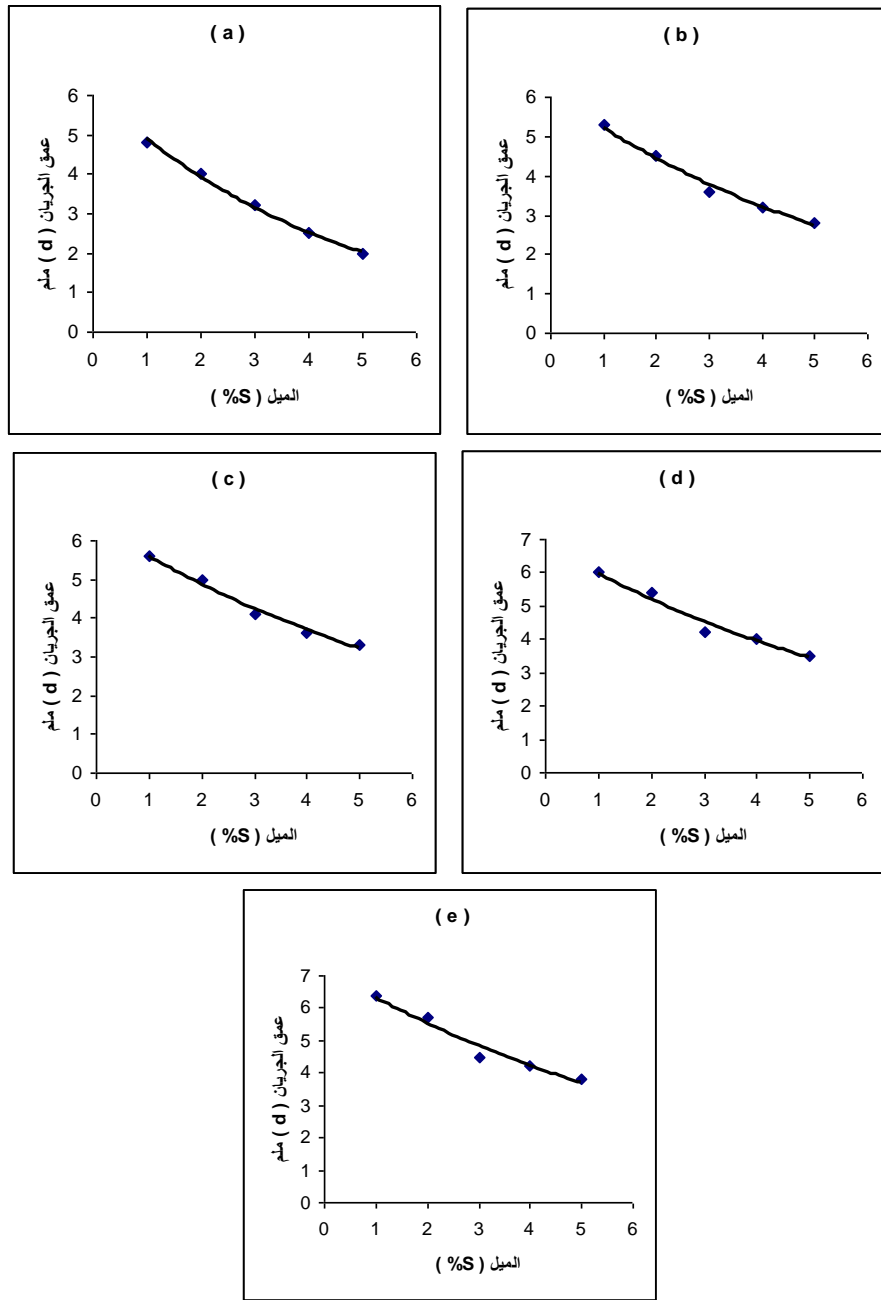
حيث أن :

$$K, F = \text{معاملات الميل}$$

ويبين الجدول (5) نتائج التحليلات، وعند شدات مطرية مختلفة، وكذلك يبين الشكل (3) هذه العلاقة بين الميل وعمق الجريان وكما يلي :

الجدول (5) العلاقة بين الميل (S) وعمق الجريان (d) عند شدات مطرية مختلفة

رقم التجربة	الشدة المطرية (I) (ملم \ ساعة)	قيمة (F)	قيمة (K)	R^2
1	135	6.1213	22.209	0.9975
2	200	6.1363	18.171	0.9875
3	255	6.4203	13.862	0.9839
4	300	6.8475	13.781	0.9612
5	380	7.2325	13.48	0.9629



شكل (3) العلاقة بين الميل (S) وعمق الجريان (d) عند شدات مطرية مختلفة
 (a) 135 ملم ساعة ، (b) 200 ملم ساعة ، (c) 255 ملم ساعة ،
 (d) 300 ملم ساعة ، (e) 380 ملم ساعة

5- العلاقة بين الشدة المطرية (I) ومعدل السيخ (Q) : وهذه العلاقة مهمة جدا، والتي تربط قيم المتغير (I) مع قيم المتغير (Q) وقد تبين وباستخدام برنامج أكسل (2003) أن العلاقة بين هذين المتغيرين كانت خطية ويقوم عالية لمعامل التحديد (R^2) وكانت صيغة المعادلة كما يلي :

$$Q = Z I$$

$$----- (6)$$

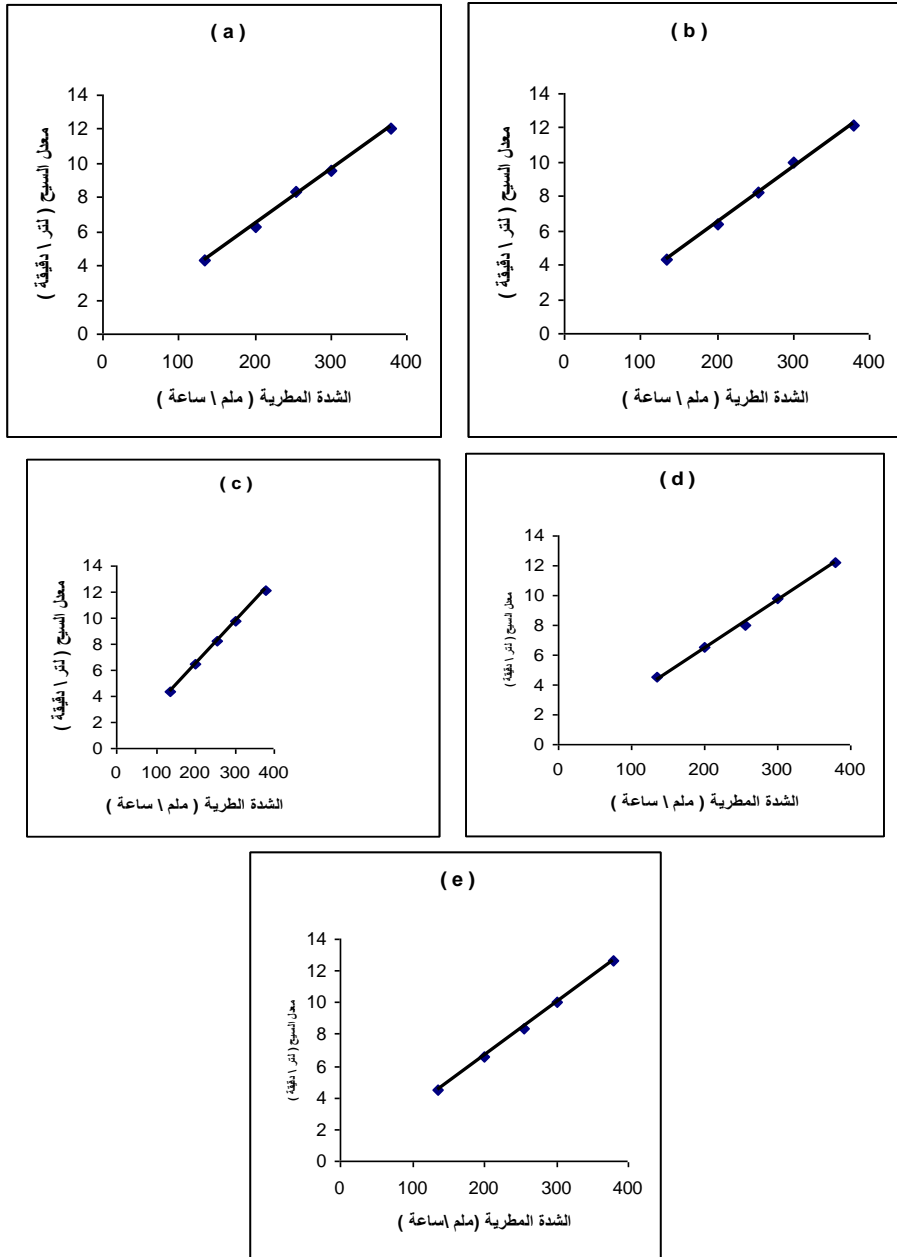
حيث أن :

Z = معامل الشدة المطرية وهي كمية ثابتة .

وننتائج التحليل مبينة في الجدول (6) والشكل (4) وكما يلي :

الجدول (6) العلاقة بين الشدة المطرية (I) ومعدل السيح (Q) عند ميول مختلفة

رقم التجربة	الميل (S %)	قيمة (Z)	R^2
1	1	0.0318	0.9986
2	2	0.0323	0.9963
3	3	0.0322	0.9988
4	4	0.0322	0.9975
5	5	0.0332	0.9994



شكل (4) العلاقة بين الشدة المطرية (I) ومعدل السيح (Q) عند ميول مختلفة

1% (a) ، 2% (b) ، 3% (c) ، 4% (d) ، 5% (e)

التطبيق :

لغرض رسم هيدروغراف السبوح لأي جابية وباستخدام العلاقات المشار إليها في الأشكال من (1) إلى (4) متكونة من تربة غرينية مزيجية، فيمكن سلوك الخطوات التالية :

1- من معرفة الشدة المطرية والميل لجابية معينة، حيث أنه باستخدام العلاقة بين الميل ورقم رينولدز (معادلة (3)) والعلاقة بين الشدة المطرية ورقم رينولدز (معادلة (4)) يمكن إيجاد هذا الرقم في كلتا الحالتين وإيجاد المعدل لهما .

2- بعد تحديد رقم رينولدز يمكن التكهن بحالة الجريان، هل هو مضطرب ام صفائحي؟ لغرض تطبيقها في معادلة سانت فينانت (St.Venant) حيث يستخدم الحل التحليلي (Analytical solution) للمعادلة وبالاعتماد على معادلة جيزي (Chezy equation) (2 , 5 , 9)

3- إيجاد عمق الجريان من المعادلة (5) .

4- استخدام المعادلة التالية لحساب التصريف الاعظم (Qmax) :

$$Q_{max} = C.I.A \quad \text{----- (7)}$$

حيث ان :

I.A = I * L (لوحة العرض) * 1 (طول ممر الجريان)

وتم أخذ (C ≈ 1) لأن خلال التجربة كانت (Qin ≈ Qout) .

ولكن قيمة (C) تختلف عن الواحد في الواقع؛ إذ يجب معرفة نوع التربة ونوع المزروعات وميل الجابية.

5- إيجاد معدل سرعة الجريان من حاصل قسمة (Qmax) على مساحة مقطع الجريان .

6- إيجاد معامل الاحتكاك (f) من العلاقة التالية (8) :

$$f = \frac{(8gDS)}{V^2} \quad \text{----- (8)}$$

حيث ان :

g = التعجيل الأرضي .

7- بواسطة المعادلة التالية يتم إيجاد معامل جيزي (C*) (8) :

$$C^* = \left(\frac{8g}{f} \right)^{1/2} \quad \text{----- (9)}$$

8- أصبحت قيم كل من الشدة المطرية ومعامل جيزي (C*) معلومة ، فلغرض رسم مخطط السبوح للجابية

يتم الاعتماد في ذلك على الحل التحليلي لمعادلة سانت فينانت (والتي تستخدم في تتبع الموجة في حالة الجريان السطحي الضحل (Shallow surface flow) والتي تسمى بالجريان الشريطي، والذي يكون غير منتظم وغير مستقر مع الزمن (nonuniform and unsteady flow) وهي تتكون من معادلة الاستمرارية (قانون حفظ الكتلة) ومعادلة الزخم (قانون توازن القوى) ويمكن الرجوع إلى المصدر (2 , 9) الذي يبين تفاصيل أكثر عن المعادلة)، لغرض إيجاد أعماق الجريان مع الزمن في الحالين ارتفاع موجة الفيضان (أثناء سقوط المطر) وانخفاضها (عند توقف المطر) :

(a) الحل التحليلي لمعادلة سانت فينانت في حالة ارتفاع موجة الفيضان :

$$\frac{1}{6a} Ln \left[\frac{v^2 - av + a^2}{(v+a)^2} \right] + \frac{1}{a\sqrt{3}} \tan^{-1} \left[\frac{2v-a}{a\sqrt{3}} \right] - k = \frac{\Pi}{4WL} C^* S^{1/2} (\Gamma - t) \text{ ----- (10)}$$

حيث ان :

$$k = \frac{1}{6a} Ln \left[\frac{v_{\Gamma}^2 - av_{\Gamma} + a^2}{(v_{\Gamma} + a)^2} \right] + \frac{1}{a\sqrt{3}} \tan^{-1} \left[\frac{2v_{\Gamma} - a}{a\sqrt{3}} \right],$$

$$b = \left[\frac{2g_{\Gamma}L}{\Pi C^* S^{1/2}} \right] \Rightarrow a = -(b)^{1/3}, W = \left(1 - \frac{Ei}{G} v_{\Gamma}^2 \right) Ei = - \left[\frac{C^*}{2gS^{1/2}} \right], G = - \frac{4L}{\Pi C^* S^{1/2}}$$

$$g_{\Gamma} = \frac{\Pi}{2L} \int_0^L Idx \text{ ----- (11)}$$

$$h_1 = v^2$$

h_1 = عمق الجريان في نهاية المجرى المائي عند أي زمن (t) (متر) .

Δt = الفترة الزمنية (ثانية) .

Γ = الزمن الابتدائي (ثانية) .

t = الزمن النهائي (ثانية) .

v^2 = قيمة عمق الجريان في نهاية المجرى المائي عند الزمن النهائي (t) (متر مرفوع للأس نصف) .

v_{Γ}^2 = قيمة عمق الجريان في نهاية المجرى المائي عند الزمن الابتدائي (Γ) (متر مرفوع للأس نصف) .
 W, G, Ei, a, b, K = كميات ثابتة .

(b) الحل التحليلي لمعادلة سانت فينانت في حالة انخفاض موجة الفيضان :

حيث يتم إيجاد عمق الجريان في نهاية المجرى ($h_1(t)$) عند اي زمن (t) باستخدام المعادلة التالية :

$$h_1(t) = \left[\frac{4Lv_{\Gamma}W}{4LW - \Pi v_{\Gamma} C^* S^{1/2} (t_{\Gamma} - t)} \right]^2 \text{ ----- (12)}$$

حيث ان : $W = \left(1 + \frac{E}{G} v_{\Gamma}^2 \right)$ وهي تختلف عن ما ورد أعلاه في الإشارة فقط .

ويشير الجدول (7) (a , b , c , d , e) إلى النتائج التي تم حسابها والحصول عليها لقيم (C^*)

ولكل شدة مطرية (I) وميل (S) والتي يتم تعويضها في المعادلة (10 , 12) في حالتي الارتفاع والانخفاض

علما بأن قيمة (g_{Γ}) تكون مساوية لقيمة الشدة المطرية (I) مضروبة في ($\frac{\Pi}{2}$) .

الجدول (7a) الحسابات المطلوبة لمعادلة سانت فينانت ولشدة مطرية مختلفة وميل (1%)

S = 1%						الشدة المطرية (I) (ملم \ ساعة)
C^*	f	V متر \ ثانية	Qmax لتر \ دقيقة	d (ملم)	Rn	
2.185	16.427	0.0153	4.5	4.9	61.2	135
3.04	8.507	0.0217	6.67	5.1	91.57	200
3.26	6.83	0.0253	8.5	5.59	118.55	255
3.6	6	0.0279	10	5.96	138.3	300
4.2	4.445	0.0334	12.67	6.32	174	380

الجدول (7b) الحسابات المطلوبة لمعادلة سانت فينانت ولشادات مطرية مختلفة وميل (2%)

S = 2%						الشدة المطرية (I) (ملم / ساعة)
C*	f	V متر / ثانية	Qmax لتر / دقيقة	d (ملم)	Rn	
2.156	16.87	0.019	4.5	3.9	62.74	135
2.82	9.86	0.026	6.67	4.26	93.16	200
2.95	8.97	0.029	8.5	4.86	119.4	255
3.14	7.94	0.032	10	5.2	142	300
3.64	5.9	0.038	12.67	5.52	176.26	380

الجدول (7c) الحسابات المطلوبة لمعادلة سانت فينانت ولشادات مطرية مختلفة وميل (3%)

S = 3%						الشدة المطرية (I) (ملم / ساعة)
C*	f	V متر / ثانية	Qmax لتر / دقيقة	d (ملم)	Rn	
2.46	12.95	0.0238	4.5	3.14	63.45	135
3.03	8.52	0.0313	6.67	3.55	93.62	200
2.97	8.87	0.0334	8.5	4.23	118.43	255
3.18	7.72	0.037	10	4.5	141.58	300
3.64	5.9	0.043	12.67	4.82	176.34	380

الجدول (7d) الحسابات المطلوبة لمعادلة سانت فينانت ولشادات مطرية مختلفة وميل (4%)

S = 4%						الشدة المطرية (I) (ملم / ساعة)
C*	f	V متر / ثانية	Qmax لتر / دقيقة	d (ملم)	Rn	
3	8.72	0.03	4.5	2.5	64.15	135
3.45	6.58	0.0375	6.67	2.96	94	200
3.17	7.79	0.0385	8.5	3.68	118.14	255
3.37	6.9	0.0423	10	3.94	140.86	300
3.87	5.21	0.05	12.67	4.2	177.3	380

الجدول (7e) الحسابات المطلوبة لمعادلة سانت فينانت ولشادات مطرية مختلفة وميل (5%)

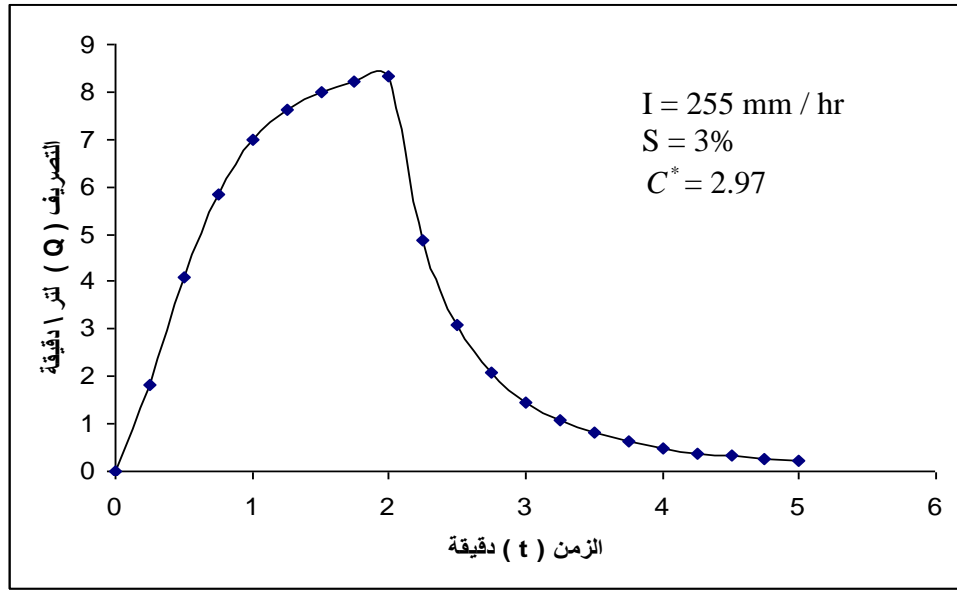
S = 5%						الشدة المطرية (I) (ملم / ساعة)
C*	f	V متر / ثانية	Qmax لتر / دقيقة	d (ملم)	Rn	
3.75	5.58	0.0375	4.5	2	65.13	135
4	4.78	0.045	6.67	2.47	96.16	200
3.48	6.467	0.044	8.5	3.21	121.86	255
3.71	5.7	0.0485	10	3.43	145	300
4.23	4.38	0.057	12.67	3.68	183.44	380

- إن طريقة حل المعادلة (10) تكون بواسطة المحاولة والخطأ وكما يلي :
- 1- استخراج قيمة الثابت (K) بفرض العمق في بداية الجريان = صفر فتكون قيمة ($v_r = \text{صفر}$) عندها يتم إيجاد قيم كل من (W , G , Ei , a , b , K) .
 - 2- يتم اختيار الفترة الزمنية لتتبع الموجة (Δt) ولتكن 15 ثانية مثلاً .
 - 3- أصبحت قيمة الطرف الأيمن من المعادلة (10) معلومة، عندها يتم فرض عدة قيم للمقدار (v) بوحدة متر مرفوع للأس نصف واستخدام طريقة المحاولة والخطأ، إلى أن يتم الحصول على قيمة صحيحة للمقدار (v) عندما يتساوى الطرف الأيمن والأيسر من المعادلة (10) .
 - 4- يتم إيجاد عمق الجريان في نهاية المجرى المائي عند الزمن (t) بواسطة ($h_1 = v^2$) (متر) .
 - 5- في المحاولة الثانية تصبح قيمة ($v_r = v$) ثم تعاد الخطوات المذكورة في (1 , 2 , 3 , 4) .
 - 6- تتوفر في هذه الحالة عدة قيم لـ (h_1) والمساوية للعمق (d) مع الزمن (t) (متر) .
 - 7- إيجاد قيم السرعة (V) من معادلة جيزي (Chezy equation) مع الزمن (متر ثانية) .
 - 8- تحويل السرعة الى تصريف بضربها بمساحة مقطع الجريان .
 - 9- يتم رسم مخطط السيح من معرفة قيم التصريف مع الزمن (t) (لتر دقيقة) .

وبيين الجدول (8) حسابات أعماق الجريان مع الزمن لشدة مطرية معينة (255 ملم ساعة) وميل (3%) كنموذج للحسابات ثم بعد ذلك حسابات السرعة ومن ثم التصريف لغرض رسم مخطط السيح للجابية وكما في الشكل (5) .

الجدول (8) حسابات أعماق الجريان والسرعة والتصريف مع الزمن لشدة مطرية (255 ملم ساعة) وميل (3%)

الزمن (t) (دقيقة)	عمق الجريان (d) (ملم)	السرعة (V) (متر ثانية)	التصريف (Q) (لتر دقيقة)
0	0	0	0
0.25	1.52	0.02	1.829
0.5	2.6	0.02623	4.092
0.75	3.3	0.02955	5.85
1	3.72	0.03137	7
1.25	3.94	0.03229	7.633
1.5	4.07	0.03281	8
1.75	4.14	0.0331	8.22
2	4.18	0.03325	8.34
2.25	2.92	0.0278	4.87
2.5	2.15	0.02385	3.077
2.75	1.658	0.0209	2.083
3	1.31	0.01861	1.463
3.25	1.065	0.01678	1.07
3.5	0.88	0.01526	0.8
3.75	0.74	0.014	0.62
4	0.633	0.01294	0.49
4.25	0.54	0.01195	0.387
4.5	0.476	0.01122	0.32
4.75	0.419	0.0105	0.264
5	0.37	0.01	0.22



شكل (5) مخطط السيج (hydrograph) للجابية بابعاد (2 * 1 م²)
ولترية غرينية مزيجية (Silty loam)

الاستنتاجات والتوصيات:

في البحث الحالي تم إيجاد علاقات مهمة من الممكن تطبيقها في الحياة العملية، ومن هذه العلاقات حساب رقم رينولدز الذي يبين نوع الجريان في الجابية، هل هو صفائحي ام مضطرب؟ وعلاقة بين الميل ورقم رينولدز التي تفيد في معرفة هذا الرقم فيما إذا كان الميل للجابية معلوماً ولشدة مطرية معينة . وكذلك علاقة الشدة المطرية مع رقم رينولدز عند ميول معينة، ومن ثم علاقة الميل مع عمق الجريان عند شدة مطرية مختلفة، وأخيراً علاقة الشدة المطرية مع معدل السيج . هذه العلاقات بمجمليها تفيد في رسم مخطط السيج عند تطبيقها في معادلة سانت فينانت التي تأخذ عامل الزمن بنظر الاعتبار وقد اعتبرت فترته في البحث الحالي (15) ثانية فتم الحصول على مخطط السيج للجابية المختبرية بابعاد (2 * 1 م²) وكانت قيمة تصريف الذروة (Qmax) هي (8.34) لتر / دقيقة في الزمن (2) دقيقة ولترية غرينية مزيجية .

إن طريقة الحل التحليلي لمعادلة سانت فينانت هي طريقة دقيقة في رسم مخطط السيج وهي أدق من الكثير من الطرق المستخدمة في الرسم، مثل طريقة سنايدر وطريقة كلارك وناش (6 , 9) حيث أن الطريقة الأولى تعتمد على فرضيات كثيرة تعطي نتائج غير دقيقة أما طريقة ناش فتعتمد على نموذج وهمي باعتبار أن الجابية متكونة من مجموعة من الخزانات تربطهم علاقة خطية، وهذا غير واقعي في الحقيقة وكذلك الحال بالنسبة إلى كلارك التي تفترض بان الجريان الخارج لاي عاصفة مطرية يعتمد على خاصية الخزن والنقل للجابية ولكل مساحة ثانوية فيها .

إن مخططات السيج الوميضية (Flash Runoff) هذه والتي ترسم للزخات المطرية التي تسبب الفيضان الوميضي (Flash flood) تعتبر الأساس لكثير من التصاميم مثل تصاميم مجاري مياه الامطار ، والقناطر والجسور الصغيرة للطرق الخارجية، وتعتبر هذه الفائدة الرئيسية لهكذا نوع من البحوث .

المراجع:

- 1- ALAN, D. Z.; THOMAS, W. G. *Hydrological consequences of landscape fragmentation in mountainous northern Vietnam : evidence of accelerated overland flow generation* . Journal of Hydrology , Vol.287 , 2004 , 124 – 146 .
- 2- GOVINDARAJU , R.S.; KAVVAS , M.L. *Approximate Analytical solutions for overland flow* . Water Resour. Res. , Vol.26 , No.12 , 1990 , 2903 – 2912 .
- 3- HAGGARD , B.E. ;MOORE JR , P.A. ; BRYE , K.B. *Effect of slope on runoff from a small variable-slope box* . Journal of Environmental Hydrology (Abstract) <<http://www.Hydroweb.com> .>
- 4- KENGO , S. ; TIN , F.H. *Effect of slope conditions on direct runoff characteristics by the interflow and overland flow model* . Journal of Hydrology , Vol.102 , 1988 , 323 – 334 .
- 5- KIBLER , D.F. ; WOOLHISER , D.A. *Unsteady one dimensional flow over a plane ; Partial equilibrium and recession hydrograph* . Water Resour.Res. , Vol.16 No.2 , 1970 , 355 – 360 .
- 6- MUTREJA , K.N. *Applied Hydrology* . Tata Mc.Graw-hill , Pupliching company limited , New Delhi , 1980 .
- 7- RAO, S. G. *Non-dimensional analysis of a physically based Rainfall-Runoff-Erosion model over steep slopes* . Journal of Hydrology , Vol.173 , 1995 , 327 – 341 .
- 8- STREETER , V.L. ; WYLIE , E.B. *Hydraulic Transients* . McGraw-Hill , Newyork , 1967 .
- 9- YOUNIS N. S. *Asimplified Analytical solution of Saint-Venant equations for overland flow* . M.Sc. thesis in water resources , Univ. of Mosul . Mosul , Iraq .