

**Design of storm water Drainage Systems Storm water  
Drainage Systems in Middle Eastern Cities  
" A new Approach"**

**تصميم مجاري الأمطار في مدن الشرق الأوسط (تداول جديد)**

**Zaher S. Khaiel**

**زاهر سعدي كحيل\***

**ABSTRACT**

It is a tradition among the Arab designers not to consider the effect of sediments in their design of drainage systems which would give a wrong design , especially according to the lack of maintenance of drainage systems. Ignoring the effect of sediments leads to ignoring a major factor affecting the hydraulic roughness of the flow, where sediments increase the hydraulic roughness and also decrease the cross section of the sewers.

The aim of this paper is to introduce a new approach to handle the design of storm sewers and also to include all hydraulic factors which affect the flow, these factors are:

1. Properties of sediments (diameter, shape and density)
2. Water properties (density, viscosity and temperature)
3. Flow characteristics (velocity, sediment concentration, sediment depth, gravitational force and depth of sediments)

In order to achieve this model , laboratory tests (carried out by the author on a prototype at Salford Hydraulic Laboratory in Manchester).

### ملخص

المهندس المصمم في الوطن العربي نادرا ما يأخذ في حسابه أثر المترسبات والتي وبسبب عدم الصيانة الدورية في كثير من البلدان تعطي تصميمًا خاطئًا ، فنجد أن المصمم يعتبر أن السريان داخل خط مجاري الأمطار هو المياه النقية من الأمطار وبدون مترسبات وهذا يعتبر تجاهلا لمتغير هايدروليكي رئيسي فوجود المترسبات يزيد من الخشونة الكلية للأنبوب كما ويقلل من القطر المتاح داخل الأنبوب ومن هنا كانت الحاجة لهذه الورقة لكي تغطي هذا الجانب من حيث التصميم والعوامل التي يجب أن تؤخذ في الحسبان.

لذا - تهدف هذه الورقة إلى دراسة الوضع الهيدروليكي للأنابيب التي تحوي المترسبات وكذا وتصرف السريان داخلها وكذلك إلى تقديم طريقة للتصميم تتميز بالتالي:

١. إحتوائها على كل المتغيرات الهيدروليكية وهي:
  - أ. خواص المترسبات ( القطر المتوسط ، الشكل ، الكثافة )
  - ب. خواص المياه ( الكثافة ، اللزوجة الحركية ، الحرارة )
  - ج . خواص السريان ( السرعة ، تركيز المترسبات ، الجاذبية ، عمق المترسبات في الأنبوب )
٢. قلة المعاملات التجريبية
٣. سهولة التطبيق.

ولكي تتم هذه الدراسة على أساس عملي واضح تم تصميم نموذج هايدروليكي كامل لمجاري الأمطار بمعمل الهيدروليكا بجامعة سالفورد-مانشستر مع تحكم في تركيز المترسبات و خشونة الأنبوب وسرعة السريان وتم أخذ نتائج عملية والتي بلغت في مجموعها ٢٩٥ نتيجة مخبرية .

## مقدمة

يعتبر جو الشرق الأوسط من الأجواء الممطرة شتاء والجافة صيفا وهذا له أثر كبير على تصميم مجاري الأمطار ووضعها الهيدروليكي، ففي فترة الصيف الجافة يتم تجمع كميات كبيرة من الرمال والحصى وغيرها من المترسبات حول مجمعات الأمطار Gutters وفي داخل خطوط المجاري وعند هطول المطر يتم صرف المترسبات Sediments المحيطة إلى داخل الأنابيب إضافة إلى الموجود أصلا. ويمكن تصنيف المترسبات التي يمكن إن تدخل مجاري الأمطار إلى عدة أنواع منها (الرمال، الحصى، مواد إنشاء الطرق،، مواد الصناعة، مواد إنشاء المباني،... إلخ) وتتواجد هذه المترسبات بأشكال وأقطار مختلفة فإذا ما تم تجاهل هذه الكميات من المترسبات عند التصميم تصبح شبكة صرف المطر غير قادرة على أداء وظيفتها .

الطرق الموجودة للتصميم:

تعتمد الطرق الموجودة جميعها على تحديد السرعة التي يجب أن تتوفر للمياه لكي يكون السريان داخل المجاري قادرا على الحفاظ عليها خالية من المترسبات وتسمى السرعة التنظيفية Self Cleansing Velocity والقيم المستخدمة هي:

BS 8005 (1987)	1.0 m/s
Bs-Cp2005 (1968)	0.76 m/s
Water Pollution Control Federation	0.9 m/s
ASCE. USA	0.9 m/s

وقد تم إستحداث طرق للتعامل مع المترسبات داخل الأنابيب مثل :

Durand 1952, Laurson 1956, Graf 1971, Novak 1978, Ackers 1984.

غير أن هذه الطرق تفتقر إلى الأمور التالية:

١. تعتبر أن الأنابيب ناعمة وهذا يقود إلى نتائج غير دقيقة حيث أن الواقع عكس ذلك.
- ب. لا تأخذ كل المتغيرات الهيدروليكية في الحسبان.

### النموذج النظري المقترح:

تم اعتماد حالة خط المجاري وهو ممتلئ بالمياه (full flow) ، وهذا يحدث عادة في حالة المطر القصوى ( storm ) والتي تحدث على فترات متقطعة خلال فصل الشتاء، حيث يتم أثناءها شطف كامل أو جزئي للمترسبات إن كان التصميم صحيحا.

وهناك متطلبان رئيسيان يجب مراعاتهما عند تصميم مجاري الأمطار :

- أولهما : أن تكون هناك قدرة للأنابيب على نقل كمية الأمطار الواردة للمجاري.
- وثانيهما : أن يكون للأنابيب القدرة على نقل المترسبات داخلها.

لكي نفهم الوضع الهيدروليكي للسريان بوجود مترسبات نفرض أن لدينا أنبوباً أفقياً كجزء من خطوط المجاري وفتحاته عند مجمعات الأمطار Gutters مغمورة بالمياه، ولنفرض أن لدينا الحالة الأولى وهي عدم وجود مترسبات فتكون هناك سرعة متوسطة للسريان في خط المجاري وهي تساوي معدل التدفق من الأنبوب مقسوماً على مساحة الأنبوب ويتبع ذلك ميل الضغط الهيدروليكي (  $i$  ) حيث يمكن حسابه بأي طريقة من الطرق المعروفة

(Manning, Sticker, Sciecme, Colebrook-White, Darcy,.....etc.)

ويدخل المترسبات لخط المجاري تزيد المعوقات أمام السريان أو بمعنى آخر تزداد الخشونة الهيدروليكية مما يجعل من الصعب حساب متوسط السرعة حيث أنها تساوي معدل التدفق المائي الخارج من الأنبوب مقسوماً على مقطع الأنبوب مطروحا منه مساحة الجزء المشغول بالمترسبات وهذا يتبعه إستحالة إستعمال

المعادلات السابقة المعروفة لحساب الميل الهيدروليكي (  $i$  ) حيث أنها لا تنطبق آنذاك، فإذا كان تركيز المترسبات قليل أمكن للسريان إخراجها من الأنبوب بشكل سريان متجانس أما إذا كان التركيز مرتفع فإن السريان يصل إلى مرحلة تكون من خلالها حركة المترسبات بطيئة ويزداد وجود المترسبات إلى أن تصل مرحلة يكون فيها إتزان بين كميات المترسبات الداخلة وكميات المترسبات المستقرة في قاع الأنبوب وكميات المترسبات المتحركة أعلى المترسبات المتقلة بالدرجة أو بشكل أكوام صغيرة متحركة، والحالات السابقة يمكن تفسيرها بسرعات السريان ، ففي حالة السريان الذي تتحرك فيه المترسبات بشكل متجانس Homogeneous Flow تكون السرعة عالية نسبياً ( $V1$ ) أو أن تركيز المترسبات منخفض أو كلاهما. وإذا قلت السرعة إلى  $V2$  يكون سريان المترسبات بأكوام أسفل الأنبوب (Dunes) وتخرج بسريان بطيء للمترسبات ( Heterogeneous Flow ) وإذا قلت السرعة إلى  $V$  يكون هناك عمق للمترسبات أسفل الأنبوب يتحرك ببطء شديد وأعله حركة لأكوام صغيرة تنتقل بسرعة أكبر والحالة الأخيرة هي حالة مستقرة يصعب التمييز بينها وبين الحالة التي تسبقها لذا فإن التحليل يشمل الحالتين بإعتبار أن السريان في الحالتين هو سريان غير متجانس وبإفترض أن متوسط مساحة مقطع المترسبات في الأنبوب هو حجم المترسبات داخل الأنبوب مقسوماً على طول الأنبوب، لذا فإن التحليل سيتم على جميع النتائج المخبرية والتي أخذت للسريان الغير متجانس (Asymmetric Flow)

### الخشونة الهيدروليكية لمجري الأمطار:

هناك عوامل كثيرة تؤثر على الخشونة الهيدروليكية مثل :

- خشونة سطح الأنبوب الداخلي
- تآكل الأنابيب
- نوعية الوصلات بين الأنابيب

- المسافة بين الوصلات
- المواد اللزجة الملتصقة ( Slime )
- الإنحراف عن القطر الدائري
- الإنحراف عن الإتجاه الطولي للأنيوب

وفي حالة وجود مترسبات داخل الأنبوب فإن قطر المترسبات وكميتها يعتبران عاملان آخران يجب أخذهما في الحسبان. وبناء على ماسبق يمكن القول أنه لا يوجد هناك أنبوبة ذات خشونة هيدروليكية تساوي صفر. ولتبسيط اشتقاق الخشونة الهيدروليكية للنموذج الرياضي تم إعتبار العوامل الأكثر أهمية وهي:

- أ. الخشونة السطحية الداخلية للأنيوب من الداخل (Ks)
- ب. قطر المترسبات وكميتها (d50, hb)

وقد تم إعتداد d50 كممثل للمترسبات بناء على قناعة الباحث بضرورة تمثيل المترسبات بطريقة عملية وبناء على قبول هذا الأمر من مجموعة كبيرة من الباحثين مثل: (Laursen, Durand, ASCE, Graf.... etc.) أما شكل المترسبات فيمكن إعتبار أن تأثيره يدخل ضمن المعاملات التي يتم إيجادها بتحليل النتائج العملية حيث أن شكل المترسبات له أثر مباشر على عدم استقرار الجريان (Turbulency) وبالتالي فيعتبر أنه قد أخذ بالحسبان من خلال التحليل وإذا إعتبرنا أن المتغيرات الأخرى هي متغيرات لها علاقة مباشرة بميل الضغط الهيدروليكي (Hydraulic Gradient) (i) ، فإن أثرها جميعا يظهر خلال السريان على ( i ) لذا نكون بذلك قد وضعنا فرضا صحيحا للتعامل مع الخشونة، وقد تم إختيار العلاقة (Kss) والتي أقرها مجموعة من الباحثين منهم ( Ackers ) لتمثيل الخشونة الهيدروليكية.

$$K_{ss} = \frac{P_w K_s + P_b d_{50}}{P_w + P_b} \dots\dots\dots 1$$

حيث:

$K_{ss}$  : الخشونة الهائرونيكية الكلية

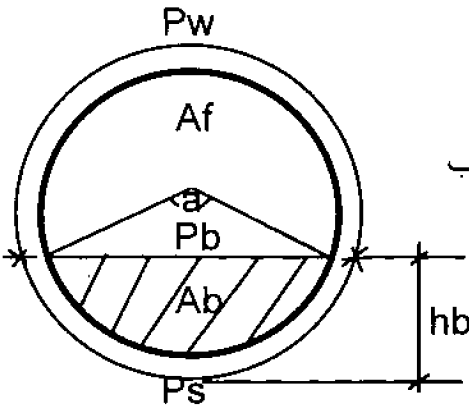
$K_s$  : خشونة سطح الأنبوب

$P_w$  : محيط الجزء المبطل من الأنبوب

$P_b$  : عرض الجزء المترسب

$d_{50}$  : قطر المترسبات محسوبا عند 50% Passing من المناخل المعملية.

والمغيرات تظهر في شكل رقم ( ١ )



شكل رقم ١ مقطع الأنبوب

وعند فحص العلاقة السابقة مع النتائج المعملية وذلك باستخدام  $K_{ss}$  بدلا

من  $K_s$  في معادلة Colebrook-White Equation للأسابيب الخشنة (الجريان

الخشنة) كما في شكل رقم ( ٢ ) تبين أن:-

$$\frac{V - V_{ss}}{V_{ss}} = 9.5\% \dots\dots\dots 2$$

حيث أن  $V$  : هي سرعة السريان المحسوبة في المعمل (Vexperimental)  
 $V_{ss}$  : هي السرعة للسريان المحسوبة من إستخدام  $K_{ss}$  بدلا من  $K_s$

أي:

$$V_{ss} = 2\sqrt{2gD_{\epsilon}} \log\left(\frac{3.7D_{\epsilon}}{K_{ss}}\right) \dots\dots\dots 3$$

حيث:

$DE$  : هو القطر المكافئ لمساحة الجزء المبطل من الجريان ويمكن حسابه رياضيا  
 كما سيأتي.

ويمكن أن نعزي هذا الفرق إلى أن الأنبوب في المعمل كان مكون من  
 جزئين طوليين مساحة مقطع كل منهما هو نصف مساحة المقطع الكلية وكذلك ثلاث  
 وصلات عرضية وهذا بالطبع له تأثير على الخشونة الهيدروليكية الكلية مما أحدث  
 الفروقات بين السرعة المحسوبة معمليا والمحسوبة من معادلة Colebrook-White  
 بإستخدام  $K_{ss}$ .

وعليه فإن إستخدام معامل الخشونة  $K_{ss}$  يكون معبرا عن الحالة الهيدروليكية  
 للسريان داخل الأنبوب، وقد تم اعتمادها للإستخدام في النموذج الرياضي المقترح.

٣ النموذج الرياضي الشبه نظري المعتمد

### ( Semi- Theoretical Mathematical Model ) :

تمت مضاهاه بين النتائج المخبرية ومعظم الطرق المتاحة والتي تأخذ في  
 الحسبان سريان المترسبات وكان في هذه المضاهاه تجاوز للمجال الذي تستخدم فيه  
 هذه الطرق فكان أن أعطت هذه الطرق نتائج خاطئة في جزء منها وفي الجزء الآخر  
 لم تستوعب كل المتغيرات الهيدروليكية.



أ. النموذج النظري ل Graf et al. ( ٥ ) :

تم فحص هذا النموذج مقابل النتائج المخبرية:

$$\frac{CVR}{\sqrt{gd_{50}^3(s-1)}} = \phi \left[ \frac{(s-1)d_{50}}{iR} \right] \dots\dots\dots 4$$

حيث :

$C = Q_s / Q$        $Q_s$  هو معدل سريان المترسبات

$Q$  هو معدل سريان المياه

$R$  نصف القطر الهيدروليكي

$V$  سرعة الجريان

$s$  الكثافة النسبية

$g$  الجاذبية الأرضية

فكانت نتيجة المضاهاة = 52 % ولكن هذا النموذج لم يعتمد لكون معامل الخشونة الهيدروليكية للأنبوب غير موجود كما أنها أشتقت أصلاً للأنابيب الناعمة.

ب. النموذج النظري ل Wicks (10) :

وقد تم فحص النموذج النظري مقابل النتائج المعملية جميعها:

$$\frac{\rho^3}{\rho_s - \rho} \frac{d_{50} V^4}{g \mu^2} = \phi \left[ \frac{D_e V \rho}{\mu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \right] \dots\dots\dots 5$$

حيث:

• هي اللزوجة الحركية (dynamic viscosity)

$DE$ : هو القطر المكافئ للجزء المبتدل فوق المترسبات = 4 RE

وأنه كانت المضاهاة = 88% إلا أن هذا النموذج لا يمكن إعتماده على حالته بسبب إفتقاره إلى ثلاث عوامل هيدروليكية رئيسية وهي:  $i, k, \&$  كما أنها أشتقت أصلا للأكوابيب الناعمة وهي من الأهمية بمكان بحيث أنه لا يمكن تجاهلها .

ولكون نسبة المضاهاة عالية ويمثل النموذج النتائج المعملية بشكل كبير فقد تم إعتماده للتطوير وإيفي بالمعطيات المطلوبة للتصميم المثالي لمجري الأمطار ذات السريان الكامل (Full Flow) ويمكن كتابة النموذج المذكور في المعادلة السابقة بالشكل التالي:

$$T = \Phi K \dots\dots\dots 6$$

$$T = \frac{\rho^3 d_{50} V^4}{\rho_s - \rho \mu^2} \dots\dots\dots 7$$

وباستبدال  $S = \frac{\rho_s}{\rho}, \nu = \frac{\mu}{\rho}$  تصبح المعادلة السابقة:

$$T = \frac{d_{50} V^4}{\nu^2 (s-1)g} \dots\dots\dots 8$$

ولكون هذا المعامل والذي يمثل متغيرات النقل للمترسبات يفتقر إلى وجود متغير رئيسي وهو تركيز المترسبات الداخلة لخط المجاري فقد وجدنا أنه من الضروري إضافته إلى T لتصبح T معامل شبه نظري :

$$T = \frac{C \cdot d_{50} \cdot V^4}{\nu^2 (s-1)g} \dots\dots\dots 9$$

أما المعامل الآخر  $K$  فهو :

$$K = \frac{D_E V \rho}{\mu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} = \frac{4 R_E V \rho}{\mu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \dots\dots 10.$$

وإذا ماتم إدخال الميل الهايدروليكي عليه بإستبدال ( بمعادلة Colebrook-White )  
المعادلة أنفا للأنابيب الخسنة :

$$V = 4 \sqrt{2g R_E i} \log \left( \frac{14.8 R_E}{K_m} \right) \dots\dots 11$$

فتصبح المعادلة رقم ( ١٠ ) :

$$K = \frac{4 R_E [4 \sqrt{2g} i^{0.5} R_E^{0.5} \text{Log} \left( \frac{14.8 R_E}{K_m} \right)]}{\nu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \dots\dots 12$$

$$K = M \cdot \frac{i^{0.5} R_E^{1.5}}{\nu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \text{Log} \left( \frac{14.8 R_E}{K_m} \right) \dots\dots 13$$

حيث  $M$  ثابت =  $16 \sqrt{2g} = 70.9$

وبالرجوع إلى العلاقة الرئيسية:

$$T = \Phi K$$

$$\frac{C \cdot d_{50} V^4}{\nu^2 (s-1) g} = a \cdot \left[ \frac{i^{0.5} R_E^{1.5}}{\nu} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{2/3} \text{Log} \left( \frac{14.8 R_E}{K_{cs}} \right) \right]^b \quad \dots 14$$

حيث a, b : معاملات تتحدد على ضوء تحليل النتائج ومن التحليل الإحصائي والرياضي .

وبالنظر إلى العلاقة السابقة نجد أنها تحتوي على جميع المتغيرات الهيدروليكية وتمثل السريان في حالة وجود المترسبات تمثيلاً جيداً، لذا فقد تم تطبيق النتائج على النموذج السابق فأعطى المضاهاة المطلوبة والتي تم اعتماد نتائجها للتصميم.

## • تحليل النتائج:

تم إستخدام العلاقات التالية لتحديد علاقة عمق المترسبات بقطر الأنبوب

(أنظر شكل رقم ( ١ ) ):

$$\alpha = 2 \cos^{-1} \left( 1 - 2 \frac{h_b}{D} \right)$$

$$\frac{P_b}{D} = 2 \sqrt{\frac{h_b}{D} - \left( \frac{h_b}{D} \right)^2}$$

$$\frac{A_b}{A} = \frac{1}{2\pi} (\alpha - \sin \alpha)$$

$$\frac{A_f}{A} = 1 - \frac{A_b}{A}$$

$$\frac{P_s}{P} = \frac{a}{2\pi}$$

$$\frac{P_f}{P} = 1 - \frac{a}{2\pi}$$

$$\frac{D_{Bb}}{D} = \frac{a - \sin a}{a + 2 \sin(a/2)}$$

$$\frac{D_E}{D} = \frac{[2\pi - (a - \sin a)]}{[2\pi - a + 2 \sin(a/2)]}$$

حيث :  $D_E$  : هو القطر المكافئ للجزء المبتل ،  
 $D_{Eb}$  : هو القطر المكافئ للجزء الملىء بالمترسبات بقاع الأنبوب.  
 $Ab$  : هو مساحة مقطع المترسبات ،  $Af$  هو مساحة المقطع المبتل

كما تم إيجاد العلاقات الرياضية التالية :

$$\frac{h_b}{D} = 0.786 \left( \frac{A_b}{A} \right)^3 - 1.184 \left( \frac{A_b}{A} \right)^2 + 1.385 \left( \frac{A_b}{A} \right) + 0.0035$$

$$\frac{A_b}{A} = -0.86 \left( \frac{h_b}{D} \right)^3 + 1.286 \left( \frac{h_b}{D} \right)^2 + 0.579 \left( \frac{h_b}{D} \right) - 0.0015 \dots 16$$

وتسهيلا على المصمم فقد تم رسم جميع العلاقات السابقة بشكل منحنيات لتقليل عملية الحسابات ( أنظر ملحق رقم (١) .

وقد تم حساب القطر الهيدروليكي المكافئ من العلاقة:

$$D_{Ef} = 4 \cdot R_E \dots \dots \dots 17$$

وللتحليل تم استخدام برنامج Spread sheet Quattro Pro 4.0 وتمت تغذيته بالنتائج المخبرية وبرمجته بالمعادلات الرياضية السابقة وذلك لتحليل النتائج مجمعة وتم تغذية النموذج الرياضي

(Semi Theoretical Model) بشقيه T&K وحسابهما من المعلومات المعملية ، وطبقت عليهما طرق التحليل الإحصائي والرياضي (Regression and statistical Analysis) وذلك لإيجاد المعاملات a&b في معادلة أنسب منحني يمثل النتائج:

$$T = a K^b$$

فوجد أن:  $b = 2.789$  and  $a = 0.01$

فأصبح النموذج النهائي هو :

مجلة لنجاح الأبحاث، المجلد الرابع، العدد العاشر ( ١٩٩٦ ) زاهر سعدي كحيل

$$\frac{C \cdot d_{50}^{1.4}}{v^2 (s-1)g} = 0.01 \cdot \left[ \frac{i^{0.5} R_E^{1.5}}{v} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^2 \cdot \text{Log} \left( \frac{14.8 R_E}{K_{80}} \right) \right]^{2.789}$$

18.... وبعد تطبيق تحليل المضاهاة (Correlation Analysis) على T & K وإيجاد نسبة المضاهاه وجد أنها تساوي ٦٣٪ وهي نسبة جيدة في مجال تحليل النتائج المخبرية الهايدروليكية.

وإذا ما أعيد ترتيب لعلاقة السابقة مع إستبدال:

$$g = 8.821, Z = \log \frac{14.8 R_E}{K_{80}}$$

تصبح العلاقة:

$$V = 0.18 Z R_E (s-1) C^{-0.25} v^{-0.8} i^{0.4} \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{0.5}$$

$$i = 3.52 \frac{C^{0.7} V^{2.9} v^{0.6} D^{1.3}}{Z R_E^{2.8} d_{50}^{0.6} (s-1)^{0.7}}$$

.....19

### حالات النقل للمترسبات في مجاري الأمطار:

يعتبر من الأهمية بمكان للمصمم معرفة حالة المترسبات في داخل خطوط المجاري وهل سيكون هناك مترسبات وما حالتها وهل السريان متجانس أم غير متجانس، لذا فقد تم إيجاد الشكل رقم ( ٣ ) والذي يمثل العلاقة بين

### Sheild's Shear Parameter (Sp) & Particle Shear Reynold's Parameter (Re\*)

أي:

$$Re^* = \frac{d_{50} V^*}{\nu} = \frac{d_{50} \sqrt{g R_E i}}{\nu}$$

$$Sp = \frac{R_E i}{(s-1)d_{50}} \dots\dots\dots 20$$

وكما يظهر من الشكل فإنه بمجرد حساب المتغيرين وتوقيعهما على الشكل فإنه يمكن معرفة حالة السريان داخل الأنبوب فكلما زاد تركيز المترسبات كلما زادت قيمة Sp وقيمة Re\* والحدود المنقطعة المبينة بالشكل تبين الحد الأدنى الذي يكون فيه السريان بشكل متجانس وبسرعة عالية مما لا يتيح بقاء أي مترسب داخل خط المجاري، وأما الحد الأعلى فيكون إذا قلت السرعة وزاد تركيز المترسبات وعليه تصبح إمكانية غلق الأنبوب بالمترسبات واردة ،

وأما المنطقة الوسطى فعندها يكون السريان مصحوبا بالمترسبات وتكون هناك حالة إتران بين المترسبات الداخلة للأنبوب وعمق المترسبات والمترسبات الخارجة من الأنبوب ، وللمصمم حرية الإختيار لطبيعة السريان حسب الوضع الميداني للمجري وحسب الميول داخل المنطقة علما بأن السرعة الأكبر والميل الأكبر للضغط يؤدي إلى تآكل أنابيب الخط وزيادة تكاليف الحفر والتركيب، ويعتبر هذا الشكل وسيلة قوية جدا من وسائل التصميم ويمكن إستخدامه لإيجاد ميل الضغط مباشرة وذلك بإيجاد الخط المناسب لقطر المترسبات ويمكن التقريب (Interpolation) للأقطار غير الموجودة.



Dخواص الطريقة المقترحة:

**أولاً:** العلاقة بين سرعة السريان  $V$  وقطر المترسبات  $d50$ :

من خلال الشكل رقم ( ٤ ) هناك علاقة واضحة بين  $V$ ,  $d50$  وقد تم استخدام الطريقة المقترحة لحساب  $V$  بناء على أقطار معطاه للمترسبات. ويلاحظ من الشكل أن السرعة المطلوبة لإستقرار السريان للخليط تزداد كلما زاد قطر المترسب وهذا منطقي حيث أن زيادة القطر للمترسب تزيد الحمل (load rate) مما يتبعه زيادة في السرعة المطلوبة، كما ويلاحظ أنه كلما زادت الخشونة للأنبوبة كلما قلت السرعة المطلوبة وذلك لنفس القطر من المترسبات وهذا بسبب أن الخشونة تزيد من الإختلال المائي داخل الأنبوب (Turbulency) وهذا يزيد من دفع المترسبات مما يقلل من السرعة المطلوبة.

ويجدر ملاحظة أن  $d50$  تزيد من الخشونة للأنبوبة ولكن الأثر الناتج من الحمل المنقول أكثر من أثرها كخشونة إضافية للأنبوب، أي أن:

$$V \propto d50 \quad \text{كحمل منقول}$$

$$V \propto 1/d50 \quad \text{كخشونة هيدروليكية إضافية داخل الأنبوب}$$

ولكن الأول أقوى أثراً من الثاني أي أن:

$$V \propto d50 \propto 1/Kss$$

**ثانياً:** أثر قطر الأنبوب  $D$  على السرعة  $V$ :

يلاحظ من الشكل رقم ( ٥ ) أنه كلما زاد قطر الأنبوب زادت السرعة المطلوبة وكلما زاد قطر المترسب كلما زادت السرعة المطلوبة، وكون أن القطر يؤثر تأثيراً مباشراً على السرعة فيكون هذا دليلاً آخر على أن استخدام سرعة تنظيفية واحدة لجميع أقطار الأنابيب أمر غير صحيح فقد يكون استخدام سرعة ١ م/ث للأقطار الصغيرة فيه معامل

أمان تصميمي كبير ويؤثر سلبيًا على عمر الأنبوب ، وإستخدام سرعة ١ م/ث للأقطار الكبيرة قد يكون غير كاف ويؤدي إلى إغلاق الأنبوب بشكل كامل.

ثالثًا: أثر عمق وقطر المترسبات على ميل الضغط :

ويلاحظ من الشكل ( ٦ ) أنه لقطر ثابت من المترسبات فإنه كلما زاد عمق المترسبات كلما زاد ميل الضغط والفقد في الصّاقة وهذا نتيجة لزيادة السرعة نتيجة لتضييق المساحة المتاحة للسريان من جراء وجود المترسبات وفي نفس الوقت نتيجة لزيادة الخشونة بشكل واضح، أي أن:

$$i \propto hb/D$$

رابعًا: أثر تركيز المترسبات على سرعة السريان:

يلاحظ من الشكل رقم ( ٧ ) أن العلاقة عكسية وهذا مرجعه أنه كلما زاد دخول المترسبات للأنبوب كلما زاد عمقها ومن ثم يقل القطر فتزيد السرعة نتيجة للمواصلّة (Continuity) ، فلذا لقيمة معينة من C كلما زاد hb/D كلما قلت السرعة، أي أن:

$$V \propto 1/C \propto 1/hb$$

وكملخص لخصائص السريان بوجود مترسبات :

$$V \propto 1/C \propto d^{50} \propto 1/hb \propto 1/Ks$$

طريقة التصميم الدتترجة:

لتصميم خطوط المجاري التي تكون عرضة لدخول المترسبات يمكن إتباع

التالي:

١. الحساب الميداني مع دراسة لإحتمالات تواجد المترسبات حول مجاري الأمطار وهذا يشمل المنطقة المحيطة حيث أنها يمكن أن تقود مع المطر مترسبات للمجاري وعليه تقدر الكمية المتوقعة والتي يحتمل أن تصل للأنبوب Qs.
  ٢. من المعلومات الهيدرولوجية يتم حساب كمية الأمطار المتوقع دخولها للأنبوب Q.
  ٣. يفرض القطر المناسب المبدئي للمجاري D.
  ٤. يفرض العمق المتوقع للمترسبات في الأنبوب hb.
  ٥. يتم حساب العلاقات الرياضية المختلفة رقم ( ١٥ ، ١٦ ) ويمكن إستخدام المنحنيات في ملحق رقم ( ١ ).
  ٦. يتم إستخدام الطريقة المقترحة (معادلة رقم ( ١٨ )) لتحديد السرعة المطلوبة وذلك بإستخدام ميل خط المجاري في الموقع، فإذا كانت السرعة إقتصادية (غالبا ما تكون أقل من ٢ م/ث) يتم إعتماؤها للتصميم وإلا فيرجع إلى خطوة رقم ٣ لإختيار قطر آخر أو ميل آخر.
  ٧. يمكن للمصمم أن يفرض السرعة أولا ومن ثم يوجد الميل المطلوب ويمكن تصميم برنامج كمبيوتر بسيط ليقوم بهذه المهمة فيعطي نتائج عن كل الحالات التي يرغب المصمم بدراستها .
  ٨. يمكن البدء بحساب الميل بإستخدام الشكل رقم ( ٣ ) ومن ثم إختيار القيمة المناسب ل Sp ومنها يتم حساب الميل بعد فرض القطر وعمق المترسبات.
- ويجب ملاحظة أن التصميم يكون في حالة الغمر الكامل لمجمعات الأمطار (gatters).

الخلاصة:

شملت هذه الدراسة مجموعة كبيرة من النتائج المعملية وتم خلالها إشتقاق نموذج رياضي شبة نظري وبعد فحصة تم الوصول إلى طريقة عملية للتصميم لمجري الأمطار في الشرق الأوسط والتي يغلب على خطوط المجاري فيها أنها تمتلئ في فترة الصيف وكنتيجة لهذه الدراسة يمكن الخلوص إلى التالي:

١. تصميم المجاري في الشرق الأوسط يجب أن يأخذ وبشكل جدي في الحساب المترسبات التي تدخل في خطوط المجاري وذلك لأثرها الكبير على المتغيرات الهيدروليكية في التصميم.
٢. وجود سرعة واحدة للتصميم حسب الموصى به في مراجع التصميم الدولية يعتبر أمر غير دقيق ويقود إلى نتائج غير صحيحة فالسرعة لها متغيرات كثيرة تؤثر عليها كما بينا أثناء دراسة الخواص للطريقة المقترحة:

$$v \propto 1/C \propto d_{50} \propto 1/hb \propto 1/Ks$$

٣. تعتبر الطريقة المقترحة طريقة دقيقة حيث أنها تعتمد على نتائج معملية وتأخذ

في الحساب جميع المتغيرات الهيدروليكية

$$(D, C, T, V, Ks, d_{50}, \rho_s, \rho, h_{50}, i)$$

ويوجد بينها علاقات واضحة

وذاث مفهوم واقعي لخواص السريان.

٤. تم تقديم وسيلة عملية لمعرفة حالة السريان داخل المجاري وذلك من خلال

العلاقة بين (  $Re^*$  &  $Sp$  ) حيث أنها تضع بين يدي المصمم طريقة مباشرة

لإختيار الميل ولتوقع حالة السريان.

ويجدر بالذكر أن الطريقة المقترحة أشتقت لمجال مترسبات من قطر امم إلى

٨مم وقطر الأبوب من ١٦٤مم إلى ٢٥٣مم لذا فإنه يمكن إستخدامها مباشرة لهذا

المجال، والتقريب لما هو خارج هذا المجال.

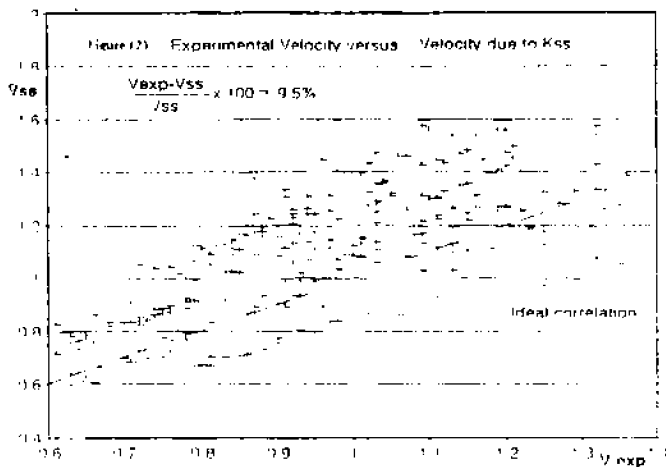
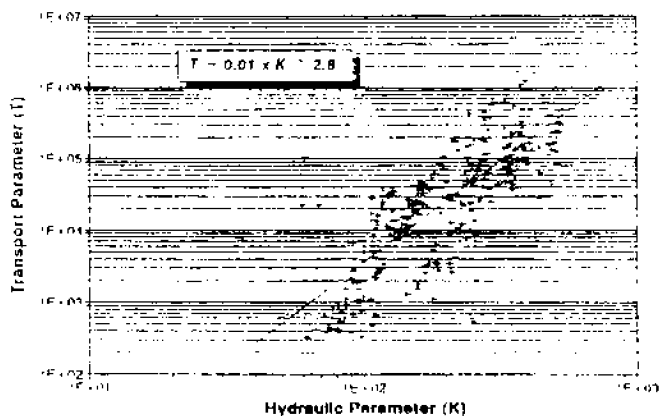
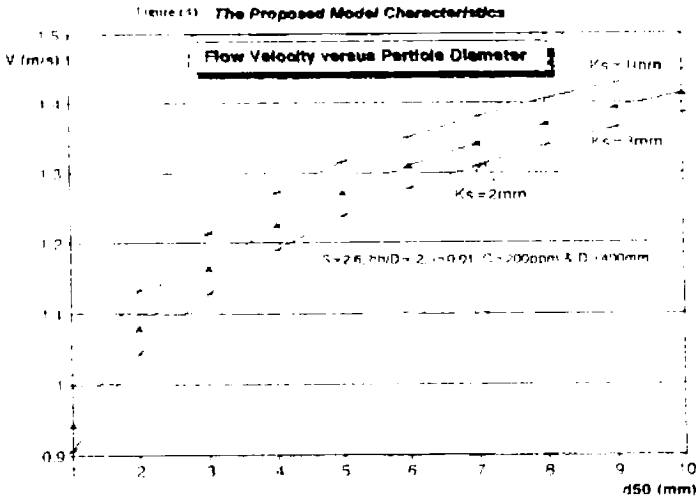
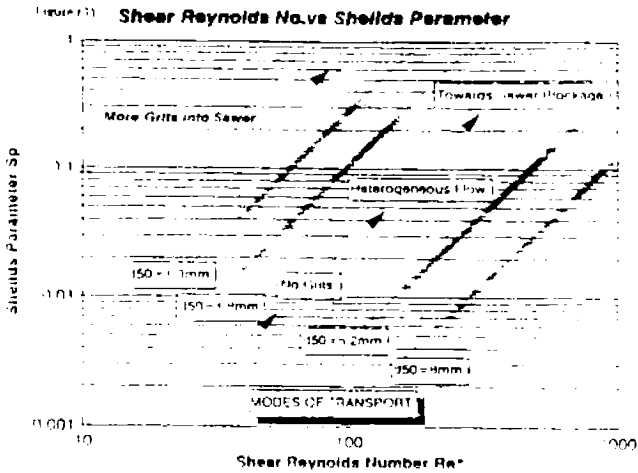
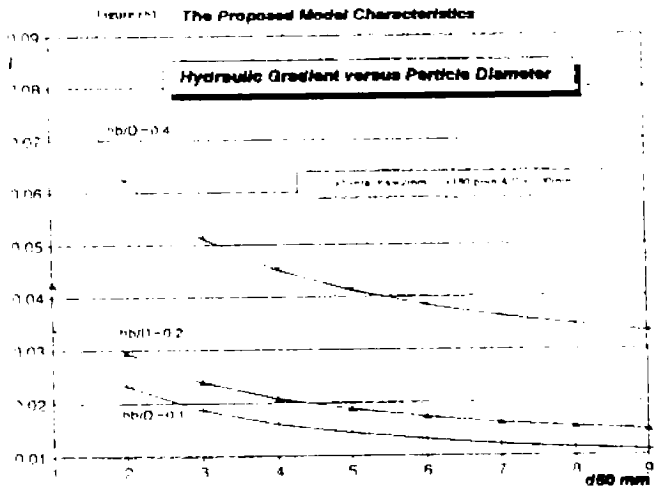
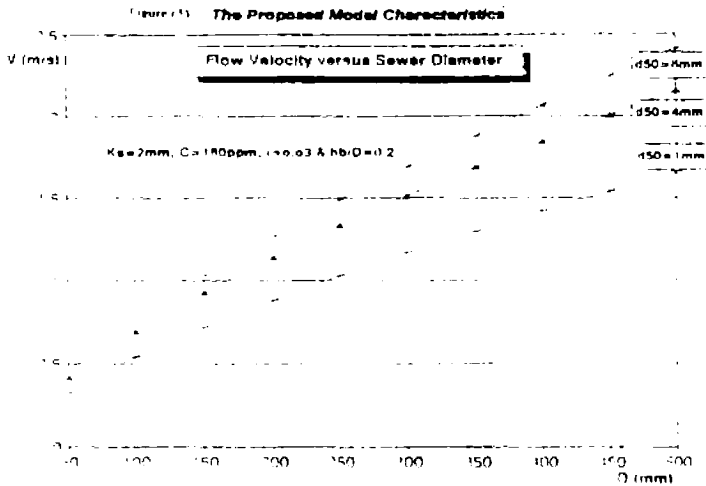
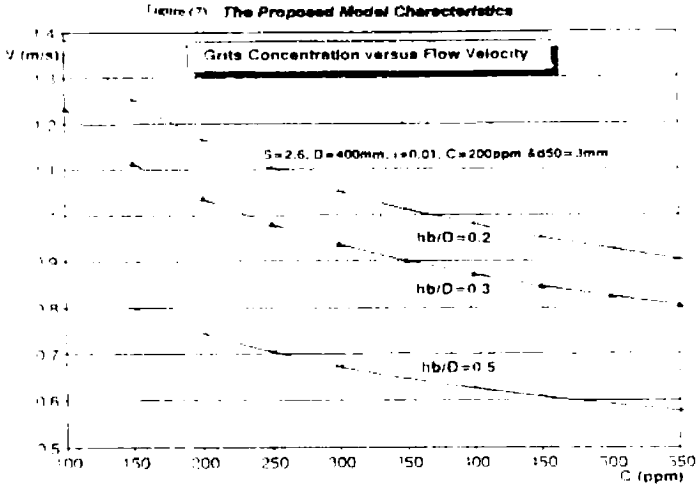


Figure (2) **Proposed Semi-Theoretical Parameters**  
 $R^2 = 0.63$

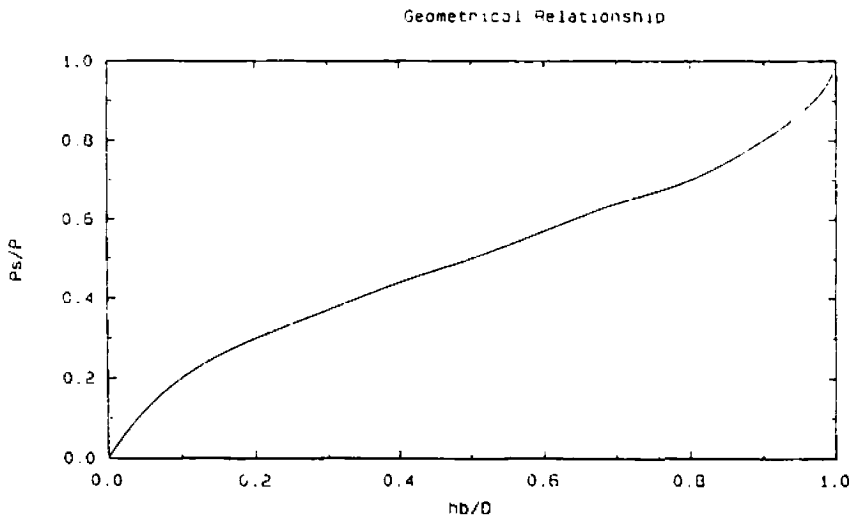
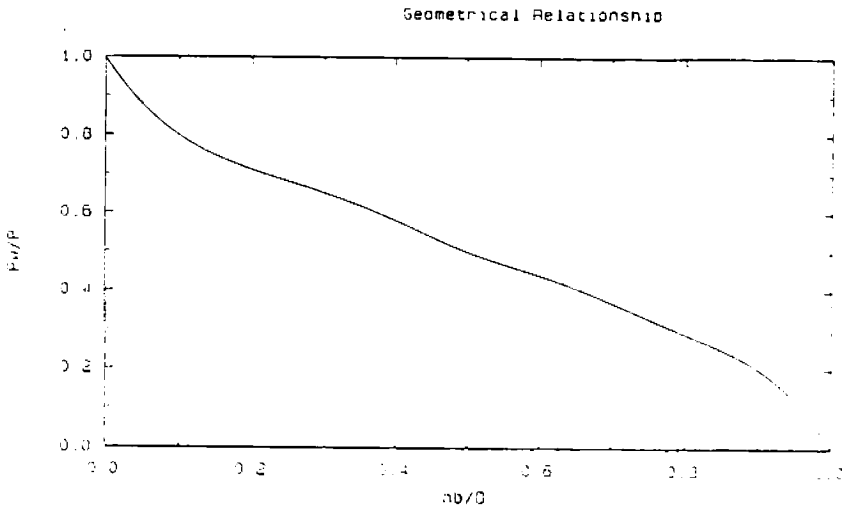




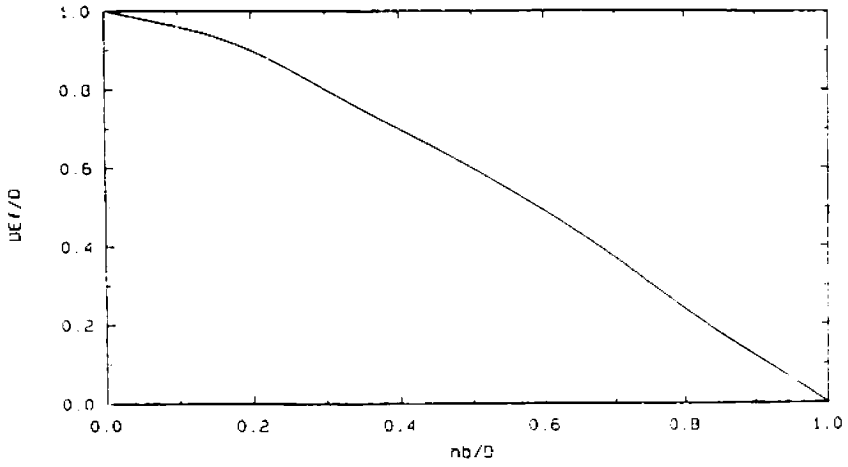








Geometrical Relationship



Geometrical Relationship

