المملكة العربية السعودية
وزارة الشئون البلدية والقروية
أمانة منطقة الرياض

الأدلة الهندسية لمعايير درء أخطار السيول بمدينة الرياض

دليل
تصميم شبكات تصريف السيول

الطبعة الأولى
محرم ١٤٣٣هـ

المملكة العربية السعودية
أمانة منطقة الرياض
وكالة التعمير والمشاريع
الإدارة العامة للدراسات والتصاميم

الأدلة الهندسية لمعايير درء أخطار السيول بمدينة الرياض

دليل
تصميم شبكات تصريف السيول

الطبعة الأولى

محرم ١٤٣٣هـ

ⓒ امانة منطقة الرياض ، وكالة الامانة للتعمير والمشاريع - الادارة العامة للدراسات والتصاميم ، ١٤٣٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وكالة الامانة للتعمير والمشاريع - الادارة العامة للدراسات والتصاميم
الادلة الهندسية لمعايير درء اخطار السيول بمدينة الرياض. /
وكالة الامانة للتعمير والمشاريع - الادارة العامة للدراسات والتصاميم
.- الرياض ، ١٤٣٣هـ

٢مج.

ردمك: ٨-٢٥-٨٠١٧-٦٠٣-٩٧٨ (مجموعة)
٥-٢٦-٨٠١٧-٦٠٣-٩٧٨ (ج١)

١- السيول - السعودية ٢- ادارة الكوارث أ.العنوان
ديوي ٥٢٦,٩٨٢٣ ١٤٣٣/١٢٦

رقم الإيداع: ١٤٣٣/١٢٦
ردمك: ٨-٢٥-٨٠١٧-٦٠٣-٩٧٨ (مجموعة)
٥-٢٦-٨٠١٧-٦٠٣-٩٧٨ (ج١)

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

الأدلة الهندسية لمعايير درء أخطار السيول بمدينة الرياض

تقع الأدلة الهندسية لمعايير درء أخطار السيول بمدينة الرياض في دليلين وملحق على النحو التالي :

الدليل الأول : تصميم شبكات تصريف السيول

ويشمل هذا الدليل عدة أبواب هي :

الباب الأول : خصائص مدينة الرياض

الباب الثاني : هيدرولوجيا السيول

الباب الثالث : هيدروليكا السيول

الباب الرابع : تصميم شبكات تصريف السيول الثانوية

المراجـــــع

ملحق دليل : تصميم شبكات تصريف السيول

: (نماذج نمطية لجداول التصميم الإنشائي للقنوات الصندوقية)

الدليل الثاني : منشآت التحكم في مياه السيول

ويشمل هذا الدليل عدة أبواب هي :

الباب الأول : مقدمة عامة

الباب الثاني : العبارات

الباب الثالث : الجسور

الباب الرابع : الهدارات

الباب الخامس : السدود

الباب السادس : المصبات

الباب السابع : محطات الرفع

الباب الثامن : برك التجميع

الباب التاسع : التغذية الإصطناعية للمياه الجوفية

المراجـــــع

قائمة المحتويات

الموضـــــــــوع	رقم الصفحة
الباب الأول : خصائص مدينة الرياض	١ـ١
١ـ١ الموقع الجغرافي	١ـ١
١ـ٢ التضاريس	١ـ١
١ـ٢ـ١ المنطقة الغربية لمدينة الرياض	١ـ١
١ـ٢ـ٢ منطقة وسط المدينة	١ـ٣
١ـ٢ـ٣ المنطقة الشرقية لمدينة الرياض	١ـ٣
١ـ٣ النطاق العمراني	١ـ٥
١ـ٤ النمو السكاني	١ـ٦
١ـ٥ مناخ مدينة الرياض	١ـ٧
١ـ٥ـ١ درجات الحرارة والرطوبة	١ـ٧
١ـ٥ـ٢ الأمطار	١ـ٧
١ـ٥ـ٣ الرياح	١ـ٧
١ـ٦ التكوين الجيولوجي	١ـ٨
١ـ٦ـ١ تكوين الجبيلة	١ـ٨
١ـ٦ـ٢ تكوين العرب	١ـ٨
١ـ٦ـ٣ تكوين الهيت	١ـ٨
١ـ٦ـ٤ تكوين السلي	١ـ٨
١ـ٦ـ٥ تكوين الخرج	١ـ٨
١ـ٦ـ٦ رواسب الأودية	١ـ٩
الباب الثاني : هيدرولوجيا السيول	٢ـ١
٢ـ١ تمهيد	٢ـ١
٢ـ٢ الدورة الهيدرولوجية	٢ـ٢
٢ـ٣ الدراسات النوعية اللازمة لتصريف مياه السيول	٢ـ٣
٢ـ٣ـ١ البيانات الأولية	٢ـ٥
٢ـ٣ـ٢ الدراسات الطبوغرافية	٢ـ٧
٢ـ٣ـ٣ السمات والخصائص المميزة للعواصف المطرية لمدينة الرياض	٢ـ٩
٢ـ٣ـ٣ـ١ تساقط الأمطار وتوزيع محطات رصدها	٢ـ٩
٢ـ٣ـ٣ـ٢ خصائص العواصف المطرة على مدينة الرياض	٢ـ١١

تابع قائمة المحتويات

الموضـــــــــوع	رقم الصفحة
٢ـ٣ـ٣ منحنى الهطول	٢ـ١٨
٢ـ٣ـ٤ التغيرات المناخية بعد عام ٢٠٠٠م وأثرها على منحنى الهطول	٢ـ٣١
٢ـ٣ـ٥ الفترة التكرارية للعاصفة التصميمية	٢ـ٣٥
٢ـ٤ المعادلات التطبيقية لحساب زمن التركيز	٢ـ٣٩
٢ـ٥ طرق تقدير كميات مياه السيول	٢ـ٤٦
٢ـ٥ـ١ الطريقة المنطقية	٢ـ٤٦
٢ـ٥ـ٢ طريقة رقم المنحنى	٢ـ٥٤
الباب الثالث : هيدروليكا السيول	٣ـ١
٣ـ١ تمهيد	٣ـ١
٣ـ٢ خصائص الجريان بالقنوات المكشوفة	٣ـ٢
٣ـ٢ـ١ تعريف إصطلاحي للقناة المكشوفة	٣ـ٢
٣ـ٢ـ٢ تصنيف القنوات المكشوفة	٣ـ٣
٣ـ٢ـ٢ـ١ حسب نشأة القناة	٣ـ٣
٣ـ٢ـ٢ـ٢ حسب طبيعة الجدار	٣ـ٣
٣ـ٢ـ٢ـ٣ حسب شكل القطاع الهندسي	٣ـ٤
٣ـ٢ـ٢ـ٤ حسب إنتظام شكل القطاع	٣ـ٤
٣ـ٢ـ٣ تصنيف الجريان بالقنوات المكشوفة	٣ـ٤
٣ـ٢ـ٣ـ١ حسب الزمن	٣ـ٤
٣ـ٢ـ٣ـ٢ حسب المسافة	٣ـ٥
٣ـ٢ـ٣ـ٣ حسب تغير حالة الجريان	٣ـ٥
٣ـ٢ـ٣ـ٤ حسب رقم رينولدز	٣ـ٦
٣ـ٢ـ٣ـ٥ حسب رقم فرود	٣ـ٧
٣ـ٢ـ٤ مقارنة بين خصائص الجريان في الأنابيب والقنوات المكشوفة	٣ـ٨
٣ـ٢ـ٥ المعاملات الهندسية للقطاعات	٣ـ١٠
٣ـ٢ـ٦ القطاع الهيدروليكي الأمثل	٣ـ١٠
٣ـ٣ المعادلات الرئيسية التي تحكم حركة المياه بقنوات تصريف السيول	٣ـ١٢
٣ـ٣ـ١ معادلة الإستمرارية	٣ـ١٢
٣ـ٣ـ٢ معادلة الطاقة	٣ـ١٣

تابع قائمة المحتويات

الموضـــــــــوع	رقم الصفحة
٣ـ٤ السرعة المتوسطة لجريان لمياه بالقنوات المكشوفة	٣ـ١٦
٣ـ٤ـ١ معادلة تشيزي	٣ـ١٦
٣ـ٤ـ٢ معادلة ماننج	٣ـ١٧
٣ـ٤ـ٣ العوامل المؤثرة في معامل ماننج للخشونة	٣ـ١٨
٣ـ٤ـ٤ القطاعات المركبة	٣ـ٢٥
٣ـ٤ـ٥ القطاعات ذات الخشونة المختلفة	٣ـ٢٦
٣ـ٤ـ٦ حالة الجريان الحرج	٣ـ٢٦
٣ـ٤ـ٧ الطاقة النوعية	٣ـ٢٧
٣ـ٥ أسس تصميم القنوات المكشوفة	٣ـ٣١
٣ـ٥ـ١ مقدمة	٣ـ٣١
٣ـ٥ـ٢ تصميم القنوات المكشوفة	٣ـ٣١
٣ـ٥ـ٢ـ١ تصميم القنوات المكشوفة غير القابلة للنحر	٣ـ٣١
٣ـ٥ـ٢ـ٢ تصميم المجاري المائية القابلة للنحر	٣ـ٣٦
٣ـ٦ تصميم شبكات تصريف السيول	٣ـ٤٣
٣ـ٦ـ١ أنواع الأنابيب المستخدمة في تصريف السيول	٣ـ٤٣
٣ـ٦ـ٢ الحدود الدنيا لأقطار الأنابيب وأبعاد القنوات الصندوقية	٣ـ٤٥
٣ـ٦ـ٣ حدود إنحدار القاع	٣ـ٤٦
٣ـ٦ـ٤ حدود سرعة المياه	٣ـ٤٧
٣ـ٦ـ٥ حدود معامل ماننج للخشونة	٣ـ٤٨
٣ـ٦ـ٦ التعارض بين خطوط المرافق وشبكة تصريف السيول	٣ـ٤٨
٣ـ٦ـ٧ خط الإنحدار الهيدروليكي	٣ـ٤٩
٣ـ٦ـ٨ فواقد الطاقة الثانوية	٣ـ٥١
٣ـ٦ـ٨ـ١ فواقد الطاقة عند تقلص القطاع المفاجئ	٣ـ٥٢
٣ـ٦ـ٨ـ٢ فواقد الطاقة عند فوهة الأنبوب	٣ـ٥٣
٣ـ٦ـ٨ـ٣ فواقد الطاقة عند اتساع الأنبوب المفاجئ	٣ـ٥٤
٣ـ٦ـ٨ـ٤ فواقد الطاقة عند مخرج الأنبوب	٣ـ٥٤
٣ـ٦ـ٨ـ٥ فواقد الطاقة عند تغير مسار الأنبوب	٣ـ٥٤
٣ـ٦ـ٨ـ٦ فواقد الطاقة لغرف التفتيش	٣ـ٥٤

تابع قائمة المحتويات

الموضـــــــــوع	رقم الصفحة
٣ـ٦ـ٨ـ٧ فواقد الطاقة للإتساع المفاجئ للقناة الصندوقية	٣ـ٥٥
٣ـ٦ـ٨ـ٨ فواقد الطاقة للإنخفاض المفاجئ للقناة الصندوقية	٣ـ٥٥
٣ـ٦ـ٨ـ٩ فواقد الطاقة للقفزة الهيدروليكية	٣ـ٥٦
٣ـ٦ـ٩ أقل عمق للردم فوق الأنابيب والعبارات الصندوقية	٣ـ٥٧
٣ـ٦ـ١٠ المسافات البينية بين المطابق	٣ـ٥٨
٣ـ٦ـ١١ خطوات تصميم الشبكات الرئيسية لتصريف مياه السيول	٣ـ٥٨
الباب الرابع : تصميم شبكات تصريف السيول الثانوية	٤ـ١
٤ـ١ تمهيد	٤ـ١
٤ـ٢ الشوارع والطرق	٤ـ١
٤ـ٢ـ١ خصائص الشوارع والطرق	٤ـ١
٤ـ٢ـ٢ القدرة الإستيعابية للشوارع	٤ـ٢
٤ـ٣ مصائد الأمطار	٤ـ٥
٤ـ٣ـ١ أنواع مصائد الأمطار	٤ـ٥
٤ـ٣ـ٢ مواصفات مصائد الأمطار الشبكية	٤ـ٦
٤ـ٣ـ٣ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار الشبكية	٤ـ٧
٤ـ٣ـ٣ـ١ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار في الشوارع المنحدرة	٤ـ٧
٤ـ٣ـ٣ـ٢ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار في الشوارع المنخفضة	٤ـ٩
٤ـ٣ـ٤ أسس وقواعد توزيع أماكن مصائد الأمطار الشبكية	٤ـ١٠
٤ـ٤ الأنابيب الفرعية	٤ـ١١
ملحق دليل : تصميم شبكات تصريف السيول (نماذج نمطية لجداول التصميم الإنشائي للقنوات الصندوقية)	١
تمهيد	١
١ـ قناة صندوقية ذات فتحة واحدة	٢
٢ـ قناة صندوقية ذات فتحتين	٣٢
٣ـ قناة صندوقية ذات ثلاث فتحات	٦٢
٤ـ قناة صندوقية ذات أربع فتحات	٩٢
المـراجـــع	

قائمة الجداول

الرقم	اســـم الجـــدول	رقم الصفحة
٢ـ١	الحدود الدنيا لعدد محطات رصد الأمطار مقارنةً بمساحة أحواض الصرف	٢ـ١٠
٢ـ٢	أقصى عمق مطر تساقط على محطات الرصد بمدينة الرياض في الفترة من ١٩٦٣م ـ ٢٠١٠م	٢ـ١١
٢ـ٣	الفترة التكرارية لأقصى عمق مطر تساقط على مدينة الرياض ومرتب ترتيباً تنازلياً في الفترة (١٩٦٣م ـ ٢٠١٠م)	٢ـ١٥
٢ـ٤	أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض للفترات التكرارية القياسية(١٩٦٣م ـ ٢٠١٠م)	٢ـ١٧
٢ـ٥	الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)	٢ـ١٩
٢ـ٦	أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)	٢ـ٣٣
٢ـ٧	العلاقة بين احتمال حدوث العاصفة والزمن الترددي لها	٢ـ٣٥
٢ـ٨	الفترات التكرارية التصميمية لمدينة الرياض طبقاً لعناصر المشروع	٢ـ٣٨
٢ـ٩	الفترات التكرارية التصميمية لمدينة الرياض طبقاً لمساحة المشروع	٢ـ٣٨
٢ـ١٠	معامل الفائض لمياه الأمطار وعلاقته بطبيعة وخصائص سطح حوض الصرف	٢ـ٤٩
٢ـ١١	معامل تصحيح الطريقة المنطقية وعلاقته بالفترة التكرارية	٢ـ٥١
٢ـ١٢	رقم منحنى السيل للمناطق الحضرية	٢ـ٥٨
٢ـ١٣	رقم منحنى السيل للمناطق المنزرعة	٢ـ٥٩
٢ـ١٤	رقم منحنى الجريان لمناطق المراعي والغابات	٢ـ٦٠
٢ـ١٥	رقم منحنى الجريان للمناطق الجافة وشبه الجافة	٢ـ٦١
٢ـ١٦	قيم الثوابت المختلفة بالمعادلة رقم (٢ـ١٥)	٢ـ٦٢
٢ـ١٧	معامل التصحيح للجريان السطحي (F) نتيجة وجود برك التجميع والمستنقعات بحوض الصرف	٢ـ٦٣
٣ـ١	مقارنة بين خصائص الجريان داخل الأنابيب والقنوات المكشوفة	٣ـ٩
٣ـ٢	الخصائص الهندسية لقطاعات القنوات المكشوفة ذات الأشكال المختلفة	٣ـ١١
٣ـ٣	القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)	٣ـ١٩
٣ـ٤	مقدار الخلوص الحر في قنوات تصريف السيول	٣ـ٣٣
٣ـ٥	الميول الجانبية الآمنة لمجاري السيول	٣ـ٣٥
٣ـ٦	الإنحدار الطولي الآمن للقاع في مجاري السيول	٣ـ٣٥
٣ـ٧	العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه في مجاري مياه السيول	٣ـ٣٥
٣ـ٨	ضبط عرض القاع التصميمي بالقنوات المكشوفة	٣ـ٣٥
٣ـ٩	حدود السرعة القصوى الآمنة لسكوبي وفورتير	٣ـ٣٧
٣ـ١٠	الحدود الدنيا والقصوى لانحدار الأنبوب للمحافظة على حدود السرعة الآمنة	٣ـ٤٧
٣ـ١١	معامل ماننج للخشونة للأنابيب والقنوات الصندوقية	٣ـ٤٨
٣ـ١٢	قيمة الثابت (kc) عند تقلص قطاع الأنبوب	٣ـ٥٢
٣ـ١٣	معامل فواقد الطاقة عند تغير اتجاه خط تصريف السيول	٣ـ٥٥

تابع قائمة الجداول

الرقم	اســـم الجـــدول	رقم الصفحة
٣ـ١٤	المسافة البينية بين المطابق على خطوط تصريف السيول	٣ـ٥٨
٣ـ١٥	خصائص أحواض الصرف للمنطقة الإفتراضية	٣ـ٦٨
٣ـ١٦	زمن التركيز لأحواض صرف المطابق المختلفة	٣ـ٦٩
٣ـ١٧	الحسابات الخاصة بطريقة رقم المنحنى	٣ـ٧٠
٣ـ١٨	الحسابات الهيدروليكية الخاصة بأبعاد وانحدارات القطاع وخط الانحدار الهيدروليكي	٣ـ٧٤
٤ـ١	قيم معامل ماننج طبقاً لنوع رصف الشارع	٤ـ٣
٤ـ٢	أقصى مسافة بين مصائد الأمطار في الإتجاه الطولي للشارع	٤ـ١٠

قائمة الأشكال

الرقم	اســـم الشـــكل	رقم الصفحة
١ـ١	الموقع الجغرافي لمدينة الرياض	٢ـ١
٢ـ١	المعالم التضاريسية للمملكة العربية السعودية	٢ـ١
٣ـ١	مواقع الأودية الرئيسية لمدينة الرياض	٤ـ١
٤ـ١	المعالم التضاريسية لمدينة الرياض	٤ـ١
٥ـ١	مراحل النمو العمراني لمدينة الرياض	٦ـ١
٦ـ١	مراحل النمو السكاني لمدينة الرياض	٦ـ١
٧ـ١	التكوين الجيولوجي لمدينة الرياض	٩ـ١
١ـ٢	دورة الماء في الطبيعة (الدورة الهيدرولوجية)	٣ـ٢
٢ـ٢	العلاقة المتبادلة بين العواصف الممطرة وأحواض الصرف ومياه السيول والحماية منها	٤ـ٢
٣ـ٢	أقصي معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض في الفترة (١٩٦٣م ـ ٢٠١٠م)	١٧ـ٢
٤ـ٢	منحنى الهطول (IDF-Curves) الخاص بمدينة الرياض	١٩ـ٢
٥ـ٢	أقصي معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض في الفترة (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)	٣٢ـ٢
٦ـ٢	مقارنة بين أقصي معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض للفترات الزمنية (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م) ، (١٩٦٣م ـ ٢٠١٠م)	٣٤ـ٢
٧ـ٢	العلاقة بين تكلفة الإنشاء وتكاليف الصيانة	٣٦ـ٢
٨ـ٢	المسار الحرج وصور جريان مياه السيول على سطح حوض الصرف	٤٠ـ٢
٩ـ٢	تحديد شدة تساقط الأمطار على حوض الصرف بالمثال (٢ـ٢)	٥٣ـ٢
١ـ٣	تصنيف الجريان بالقنوات المكشوفة	٦ـ٣
٢ـ٣	شكل توضيحي لبيان إستمرارية التدفق	١٢ـ٣
٣ـ٣	شكل توضيحي يبين الطاقة الكلية للجريان بالقنوات المكشوفة	١٣ـ٣
٤ـ٣	شكل توضيحي يبين الطاقة الكلية للجريان بالأنابيب	١٣ـ٣
٥ـ٣	شكل توضيحي لبيان تطبيق معادلة برنوللي بالقنوات المكشوفة	١٥ـ٣
٦ـ٣	القطاعات المركبة في القنوات المكشوفة	١٥ـ٣
٧ـ٣	القطاعات المركبة في القنوات المكشوفة	٢٥ـ٣
٨ـ٣	منحنى الطاقة النوعية بالقنوات المكشوفة	٢٨ـ٣
٩ـ٣	الخلوص الحر للقنوات المبطنة أو غير القابلة للنحر	٣٣ـ٣
١٠ـ٣	منحنيات الخبرة لعرض القاع وعمق المياه في القنوات المبطنة	٣٤ـ٣
١١ـ٣	السرعة القصوى للتربة غير المتماسكة	٣٨ـ٣
١٢ـ٣	السرعة القصوى لتربة متماسكة	٣٨ـ٣
١٣ـ٣	معامل تصحيح للسرعة القصوى لمختلف أعماق المياه بالمجرى المائي	٣٩ـ٣
١٤ـ٣	خط الإنحدار الهيدروليكي في الأنابيب	٥١ـ٣

تابع قائمة الأشكال

الرقم	اســـم الشـــكل	رقم الصفحة
٣ـ١٥	فواقد الطاقة الثانوية للجريان في الأنابيب	٣ـ٥٣
٣ـ١٦	فواقد الطاقة عند فوهة الأنبوب	٣ـ٥٣
٣ـ١٧	القفزة الهيدروليكية بشبكات تصريف السيول	٣ـ٥٦
٣ـ١٨	التفاصيل الطبوغرافية لخط تصريف السيول للمثال رقم (٣ـ٤)	٣ـ٦٦
٣ـ١٩	خط تصريف السيول للمثال رقم (٣ـ٤)	٣ـ٦٧
٣ـ٢٠	القطاع الطولي المقترح لقناة تصريف السيول للمثال (٣ـ٤)	٣ـ٧٨
٤ـ١	أشكال الجريان السطحي	٤ـ٢
٤ـ٢	أنواع مصائد الأمطار	٤ـ٥
٤ـ٣	تفاصيل مصيدة الأمطار الشبكية	٤ـ٦
٤ـ٤	تقسيم الجريان السطحي في الشارع	٤ـ٧

- الباب الأول -

خصائص مدينة الرياض

تعتبر مدينة الرياض واحدة من أكبر وأهم مدن المملكة العربية السعودية بالإضافة إلى كونها العاصمة ، وعادةً ما تتعرض مدينة الرياض إلى تساقط الأمطار عليها لفترات طويلة وبمعدلات عالية ، ينتج عنها جريان سطحي لمياه السيول ، ويزداد الأمر خطورة إذا كانت السيول على مناطق جبلية أو ذات ميول كبيرة تؤدي إلى حركة المياه بسرعة كبيرة مما يكسبها طاقة حركة عالية تجعلها قوة تدميرية هائلة وخطراً علي الأرواح والممتلكات وعائقاً من عوائق التنمية والنمو العمراني بالمدينة ، لذا يجب العمل بكل وسيلة لدرء الأخطار الناتجة عن السيول وتأمين الأرواح والممتلكات وإزالة عوائق التنمية الحضارية والنمو البيئي والعمراني ، وفي هذا الباب سيتم تناول أهم خصائص مدينة الرياض كمدخل عام للحديث عن الأدلة الإرشادية لتصميم شبكات تصريف مياه السيول والأمطار بالمدينة .

١-١ الموقع الجغرافي :

تقع مدينة الرياض وسط المملكة العربية السعودية على دائرة عرض (٣٨,٢٤) درجة شمالاً وخط طول (٤٣,٤٦) درجة شرقاً، ومن الملاحظ أن مدينة الرياض تقع بالتحديد في وسط شبه الجزيرة العربية مما يكسبها موقعاً جغرافياً فريداً ، كما هو موضح بالشكل رقم (١ -١) .

١-٢ التضاريس :

تقع مدينة الرياض على هضبة رسوبية يصل إرتفاعها إلى حوالي ٦٠٠ متر فوق منسوب سطح البحر في الجزء الشرقي من هضبة نجد ، وتمتد الهضبة غرباً نحو سلسلة جبال طويق ، وحزام صحراء الدهناء على حافتها الشرقية ، وتنحدر بميول خفيفة ناحية الشرق ، كما هو موضح في الشكل رقم (١ -٢) .

وقد أثرت عوامل التعرية بشكل واضح على تضاريس سطحها ، حيث شكّلت مياه السيول والأمطار عند إنحدارها وجريانها فوق سطح الأرض شبكة من الأودية والشعاب بعضها عميق بشكل ملحوظ أهمها وادي حنيفة الذي يتجه من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي وله روافد عديدة تتجه جميعاً من الغرب إلى الشرق، أما وادي السلي فيعتبر من الأودية الضحلة ويتجه من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي ، كما هو موضح في شكل (١ -٣) .

كما تمتد إلى الشرق من الرياض حافة جبلية من طريق الدمام شمالاً إلى طريق الخرج جنوباً، أما المنطقة الواقعة بين هذه المرتفعات ووادي حنيفة غرباً فهي عبارة عن أرض صلبة مستوية نسبياً ، ويوجد عدد قليل من المرتفعات يتراوح ارتفاعها بين ١٠ و ٣٠ متراً ، ولا يوجد منخفضات ذات أهمية باستثناء الأودية كما هو موضح في الشكل رقم (١ -٤) .

شكل (١-١) الموقع الجغرافي لمدينة الرياض

شكل (١-٢) المعالم التضاريسية للمملكة العربية السعودية

ويمكن تقسيم مدينة الرياض من حيث معالم التضاريس بها إلي ثلاثة أقسام رئيسية على النحو التالي :

١-٢-١ المنطقة الغربية لمدينة الرياض :

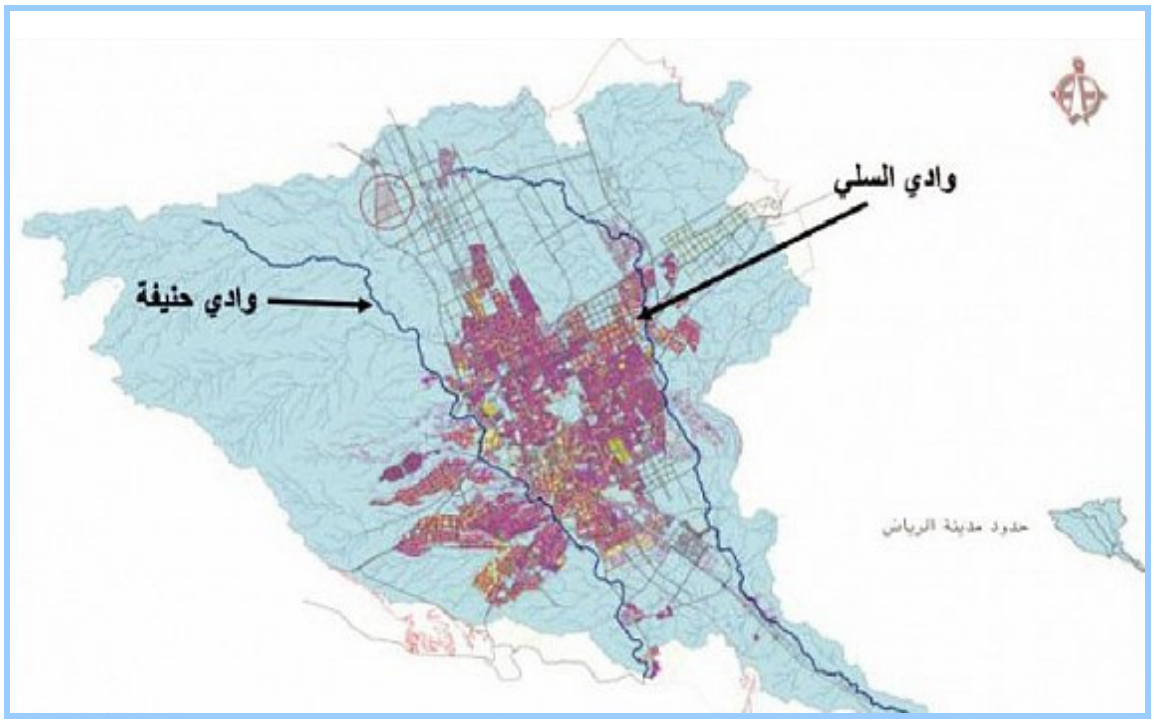
تتميز المنطقة الغربية لمدينة الرياض بوجود جرف وجبال طويق ذات الإرتفاعات العالية التي تحد منطقة الرياض من الناحية الغربية، حيث ينحدر منها المجرى الرئيسي لوادي حنيفة وروافده الغربية شديدة الانحدار، وتتركز مناطق الانحدارات الشديدة لهذه الروافد في حواف وادي حنيفة وجبال طويق في الغرب والتي تعتبر من أكبر العوائق التي تحول دون نمو المدينة في اتجاه الغرب ، وينحدر المجرى الرئيسي لوادي حنيفة من الشمال الغربي إلي الجنوب الشرقي تقريباً مخترقاً مدينة الرياض إلى أن يصب عند مدينة الخرج التي تقع جنوب مدينة الرياض ، ويمثل المجرى الرئيسي لوادي حنيفة وروافده الغربية ذات الانحدارات الشديدة نسبياً شبكة المصارف الطبيعية التي تصرف معظم مياه السيول والأمطار التي تتساقط على مدينة الرياض وتوسعاتها من الناحية الغربية .

١-٢-٢ منطقة وسط المدينة :

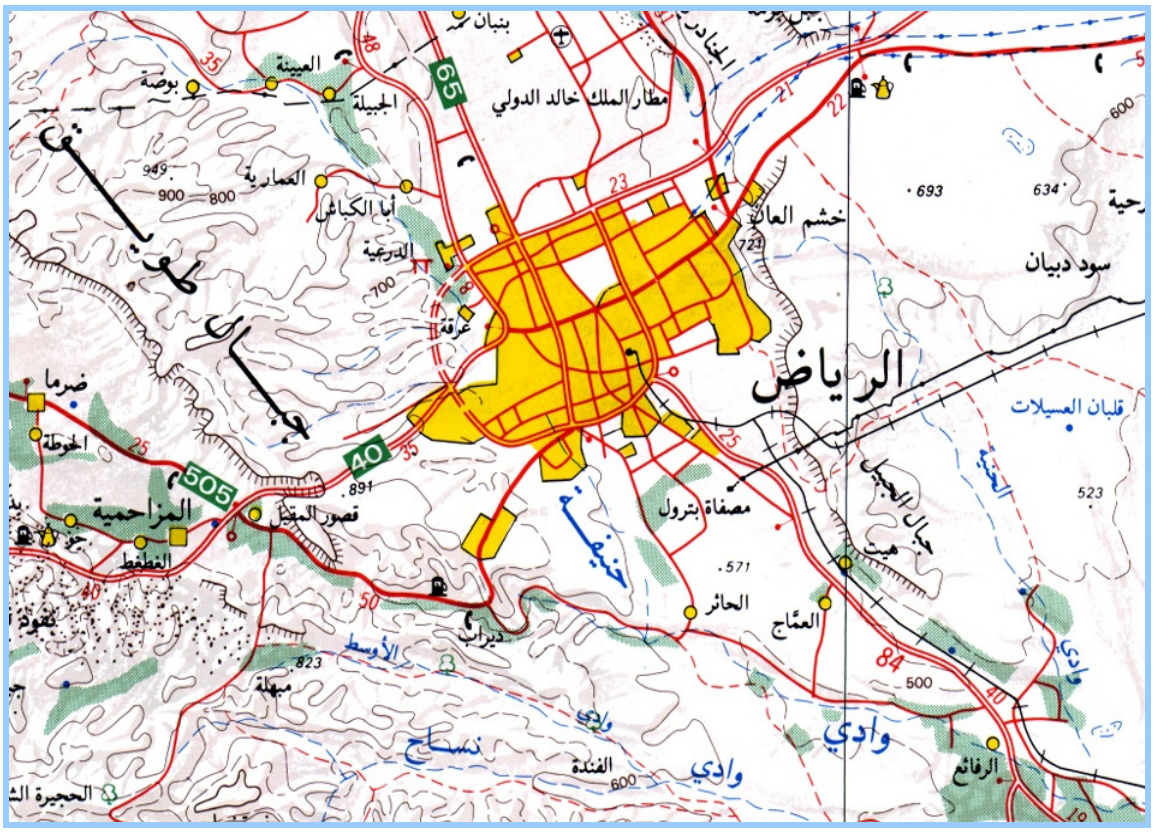
تتميز هذه المنطقة بتواجد أراض منبسطة ممتدة مع وجود بعض التلال المرتفعة نسبياً في شمال المدينة وأودية واسعة ضحلة تشكل الروافد الشرقية لوادي حنيفة مثل وادي لايسن ووادي البطحاء ووادي دعكنة وبعض الروافد الغربية لوادي السلي ، ونتيجة لضحالة هذه الأودية بصفة عامة واتساع عرضها نسبياً فقد تعرضت هذه الأودية وشعابها إلي أعمال الردم المستمر من قبل الأهالي ، بالإضافة إلي أن تخطيط شبكات الطرق قد تم في هذه المناطق الجبلية دون الأخذ في الاعتبار إتجاهات وميول الأودية والشعاب الطبيعية في هذه المنطقة مع تبني فلسفة إنشاء الأنفاق الأرضية بدلاً من الكباري العلوية عند التقاطعات الحرة لشبكة الطرق الرئيسية ، وهو الأمر الذي أدى إلى كثرة تجمع مياه الأمطار والسيول في المناطق المنخفضة عند تعرض هذه المنطقة لعواصف ممطرة .

١-٢-٣ المنطقة الشرقية لمدينة الرياض :

تقع معظم الأحياء الشرقية لمدينة الرياض في حوض وادي السلي الواسع الضحل الذي تبدأ روافده الغربية الأولى من المنطقة الجبلية المرتفعة التي تقع غرب مطار الملك خالد ، ويحد هذا الوادي من الناحية الشرقية جرف هيت وجبال الجبيل ، وتمثل أحواض وادي بنبان ووادى المونيسية ووادي العقلة الأفرع الغربية لهذا الوادي والتي تنحدر من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي مخترقةً حدود منطقة المطار الجنوبية ، حيث تتلاقى أفرع مجاري هذه الأحواض مع المجرى الرئيسي لوادي السلي.



شكل (١-٣) مواقع الأودية الرئيسية لمدينة الرياض

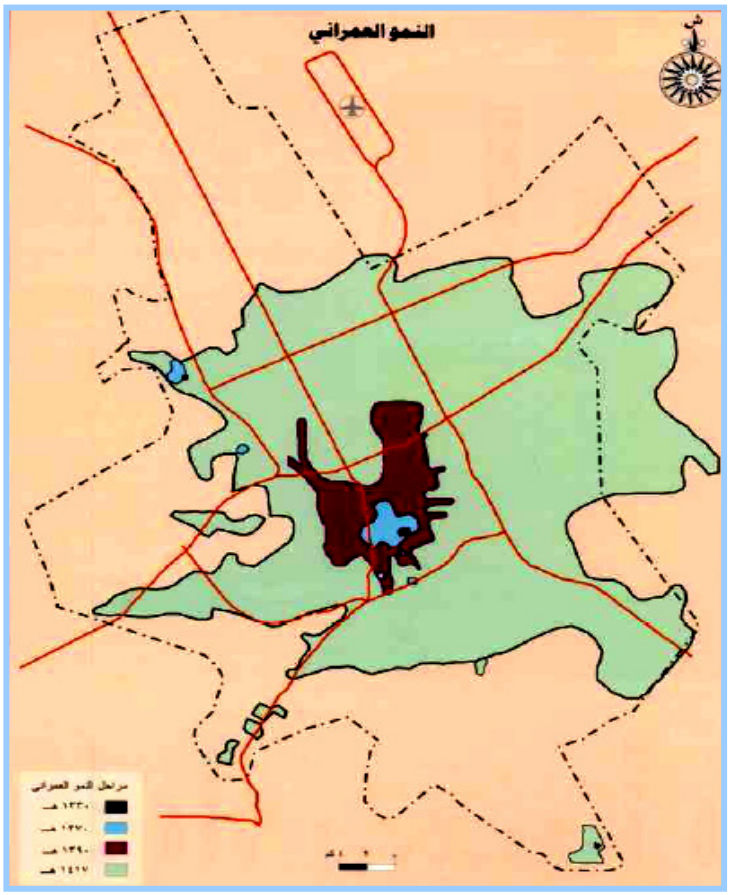


شكل (١-٤) المعالم التضاريسية لمدينة الرياض

وعلى الجانب الآخر تمثل أحواض وادى شعب الحصان ووادى شعب البرشاعة الأفرع الشرقية لوادي السلي ، حيث تلاقى هذه الأفرع المجرى الرئيسى لوادى السلي الذي ينحدر من الشمال إلى الجنوب تقريباً حتى يلاقي المجرى الرئيسي لوادي حنيفة جنوب مدينة الرياض ، ونتيجةً لضحالة معظم هذه الأودية في هذه المنطقة واتساع عرضها نسبياً ، فقد تعرضت هذه الأودية وشعابها إلى أعمال الردم المستمر من قبل الأهالي.

١-٣ النطاق العمراني :

تبلغ مساحة مدينة الرياض ونطاقها العمراني بمرحلتيه الأولى والثانية حوالي ١٧٨٢ كم^{٢} ، أي ما يزيد عن مساحة كثير من الدول المجاورة ، وتغطى المرحلة الأولى من النطاق العمراني حدود المدينة الحالية (حوالي ٦٣٢ كم^{٢}) ، فيما تغطى المرحلة الثانية المساحة الباقية (حوالي ١١٥٠ كم^{٢}) ، كما تبلغ المساحة التي تم تطويرها من المدينة حالياً حوالي ٩٥٠ كم^{٢} ، وهو ما يعكس التوسع الكبير الذي تشهده المدينة لتصبح ضمن أكبر ثلاث مناطق حضرية في المملكة مع المنطقة الحضرية لمدينتي مكة المكرمة وجدة في منطقة مكة المكرمة والمنطقة الحضرية لمدن الظهران والدمام والخبر في المنطقة الشرقية، ويبين شكل (١ -٥) حدود التوسع العمراني المتوقع لمدينة الرياض مستقبلاً حتى عام ١٤٤٢هـ .



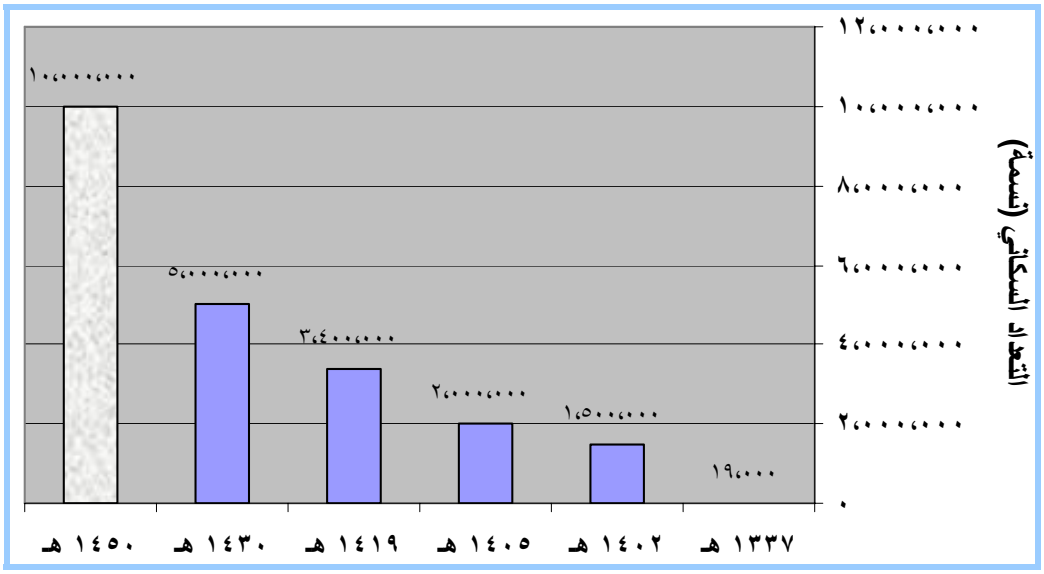
شكل (١-٥) مراحل النمو العمراني لمدينة الرياض

ومما هو جدير بالذكر أنه كلما زاد التوسع العمراني أدى ذلك إلى زيادة مساحة شبكة الطرق الرئيسية والفرعية التي تخدم المدينة وزيادة مسطحات المنشآت الخرسانية مما يزيد من مساحة الأسطح المصمتة عديمة النفاذية في المدينة التي تؤدي إلى سرعة تدفق مياه السيول عليها كما تقلل من كميات المياه المتسربة خلال التربة الطبيعية ، وهو الشيء الذي ينبغي أخذه بعين الاعتبار أثناء تطوير مدينة الرياض الكبرى.

١-٤ النمو السكاني :

تعتبر مدينة الرياض واحدة من أسرع مدن العالم نمواً ، وبنظرة علي تعداد سكان مدينة الرياض خلال القرن الماضي وحتى الآن نجد أن تعداد سكان مدينة الرياض كان في عام ١٣٣٧هـ (١٩١٨ م) تسعة عشر ألف نسمة ، وزاد هذا الرقم ليصل في ١٤٠٢هـ (١٩٨٢ م) إلى مليون ونصف مليون نسمة ، وتجاوزها في عام ١٤٠٥ هـ (١٩٨٥ م) إلى مليوني نسمة ، وبحسب تقديرات ١٤١٩هـ (١٩٩٩ م) فقد وصل إلى ثلاثة ملايين وأربعمائة ألف نسمة ، ويقدر عدد سكان مدينة الرياض في الوقت الراهن بحوالي خمسة ملايين نسمة ، وكل ذلك مرتبط بمدى التوسع العمراني والنهضة الشاملة التي شهدتها المدينة في العقود الثلاثة الأخيرة .

وتشير كافة الدراسات إلى أن عدد سكان مدينة الرياض يمكن أن يتجاوز عشرة ملايين نسمة خلال العقدين التاليين ، إذا ما استمرت معدلات النمو السكاني علي ما هي عليه في الوضع الراهن ، ويبين الشكل رقم (١ -٦) مراحل النمو السكاني لمدينة الرياض خلال القرن الماضي .



شكل (١-٦) مراحل النمو السكاني لمدينة الرياض

١ـ٥ مناخ مدينة الرياض :

١ـ٥ـ١ درجات الحرارة والرطوبة :

تتباين طبيعة المناخ بمدينة الرياض تبايناً واضحاً صيفاً وشتاءً حيث نجد أن مناخ مدينة الرياض شديد الحرارة صيفاً بارد شتاءً ، ويتميز بانخفاض الرطوبة طوال العام ، خاصة في فترة الصيف ، وبالتباين الشديد في درجات الحرارة خلال ساعات النهار والليل ، ففي الصيف تتراوح درجات الحرارة العظمى بين (٤٠ – ٥٠) درجة مئوية والصغرى بين (٢٢ – ٣٠) درجة مئوية ومعدل الرطوبة بين (١٠ – ١٣) بالمائة.

أما في الشتاء فتتراوح درجات الحرارة العظمي فيه بين (٢٠ – ٢٨) درجة مئوية بينما تتراوح درجات الحرارة الصغرى بين (٨ – ١٤) درجة مئوية ، وقد تنخفض إلى ما دون الصفر أحياناً ، أما درجات الرطوبة فتتراوح بين (٤٠ – ٤٩) بالمائة .

١ـ٥ـ٢ الأمطار :

تتذبذب الأمطار التي تسقط على مدينة الرياض في وقت هطولها وكمياتها وكثافتها ومدة سقوطها ، فقد تكون غزيرة في عام وتشح في عام آخر وقد تختفي لعدة أعوام حيث يحل الجفاف والقحط ، وقد تسقط الأمطار متفرقة خلال فصول السنة (الخريف والشتاء والربيع) ، وقد تسقط بشكل غزير خلال ساعات محدودة من العام وربما لعدة ساعات أو أيام ، أما بقية العام فيكون الجفاف ويحل القحط .

ويتراوح معدل سقوط الأمطار السنوي على مدينة الرياض بين ٥٠ إلى ١٥٠ مم بمتوسط سنوي حوالي ١٠٠ مم ، وتسقط الأمطار على مدينة الرياض خلال فصول الخريف والشتاء والربيع ، ويسقط حوالي ٥١٪ من جملة الأمطار المتساقطة على مدينة الرياض خلال فصل الربيع ، و ٤١٪ خلال فصل الشتاء ، بينما يسقط الباقي (حوالي ٨٪) خلال فصل الخريف .

وينتج عن تساقط هذه الأمطار بعض المخاطر الطبيعية والخسائر البشرية والمادية الجسيمة ، ومن أهم هذه المخاطر الطبيعية مياه السيول التي تجتاح هذه المناطق الجبلية على فترات متباعدة مما يعرض التجمعات العمرانية وشبكات الطرق إلى كثير من الخسائر الاقتصادية والآثار السلبية .

١ـ٥ـ٣ الرياح :

الرياح السائدة في مدينة الرياض هي رياح شمالية إلى شمالية شرقية وشمالية غربية ، ويبلغ متوسط معدل سرعة الرياح حوالي ٨ أميال في الساعة ، أما معدل السرعة القصوى للرياح فهو حوالي ٤٠ ميلاً في الساعة وغالباً ما تهب من جهة الشمال .

١-٦ التكوين الجيولوجي :

بدراسة التكوين الجيولوجي لمدينة الرياض يتضح أن الصخور المكونة للمدينة تتكون من نوعين مختلفين من الصخور كسائر الصخور المكونة لشبه الجزيرة العربية ، حيث تشكل صخور الدرع العربي الجرانيتية الصماء (صخور القاعدة) حوالي خمسي مساحة شبه الجزيرة العربية ، بينما تكون الطبقات الرسوبية المساحة المتبقية .

ويمكن تصنيف التكوين الجيولوجي لمدينة الرياض ، كما هو واضح من الشكل (١ -٧) ، على النحو التالي :

١-٦-١ تكوين الجبيلة :

يقع منكشف هذا التكوين أو ظاهره في غرب المدينة ويتكون من صخور جيرية دقيقة تتداخل معها صخور جيرية خشنة ، وتتميز صخور هذه الطبقة بأنها متكسرة ومتشققة وذلك بتأثير عوامل التعرية .

١-٦-٢ تكوين العرب :

يلي تكوين الجبيلة من الشرق ويظهر منكشفه على امتداد يبلغ حوالي ١٠ كم ، ويتواجد امتداد هذا التكوين من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي من المدينة ، وتظهر صخور هذا التكوين متشققة نتيجة للإنهيارات التي سببتها عمليات الإذابة المتعاقبة بواسطة المياه الجوفية ، وقد أمكن تمييز ثلاثة أنواع في تكوين العرب : الصخور الكلسية في الجزء الأسفل من التكوين ، وصخور البريشيا في النطاق الأوسط والصخور الجيرية في الجزء الأعلى من التكوين .

١-٦-٣ تكوين الهيت :

يوجد هذا التكوين إلى الشرق من تكوين العرب ويرتكز فوق طبقة تكوين العرب ، ويميل هذا التكوين تدريجياً باتجاه الشرق ويبلغ أقصى سمكٍ له أكثر من ٩٠ متراً أسفل تكوين السلي .

١-٦-٤ تكوين السلي :

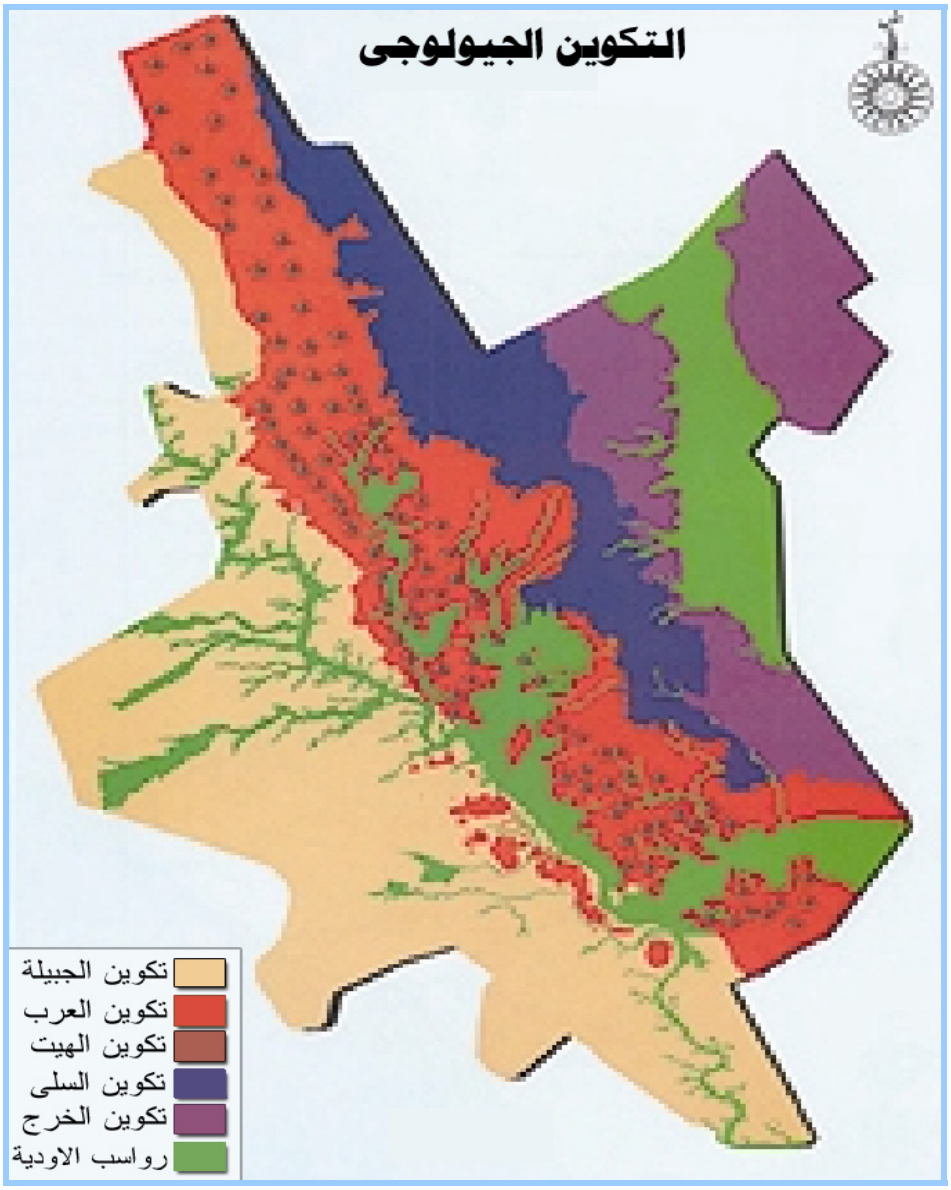
يمتد هذا التكوين من الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي ، ويتألف من صخور جيرية ، وينكشف على شكل تلال تعرف بحافة السلي .

١-٦-٥ تكوين الخرج :

يظهر هذا التكوين على شكل طبقات أفقية بين ترسبات بحرية ، ويتألف من صخور جيرية تتداخل معها طبقات من الجبس والحصباء .

١-٦-٦ رواسب الأودية :

وتوجد هذه الرواسب في بطون الأودية الممتدة حول مدينة الرياض وداخلها ، وقد أمكن تمييز نوعين رئيسيين من تلك الرواسب حيث يتألف الأول منها من الطين الممزوج بطبقات من الطمي والحصباء في بطون أودية حنيفة واللايسن والبطحاء ، بينما يتألف النوع الثاني من رواسب الرمل الغريني والطين الرملي الممزوج بطبقات من الحصباء في وادي السلي .



شكل (١-٧) التكوين الجيولوجي لمدينة الرياض

- الباب الثاني -

هيدرولوجيا السيول

٢-١ تمهيد :

نظراً لأن ظاهرة السيول تحدث في العادة نتيجة تساقط مياه الأمطار بكثافة عالية فوق منطقةٍ ذات طبيعة طبوغرافية وخصائص سطحية معينة ، لذا تُعتبر الدراسات الهيدرولوجية لهذه المنطقة هي المدخل العام والعنصر الأول من عناصر التحكم في مياه السيول ودرء مخاطرها ، وهناك العديد من العوامل التي تؤثر في ظاهرة السيول وتتحكم في عنفوانها وضعفها ومدى القدرة على درء أخطارها والسيطرة عليها ، كما تؤثر في التكاليف الإجمالية لإنشاء شبكات تصريف السيول وتهذيب أحواض الصرف ، ويمكن إجمال هذه العوامل في النقاط التالية :

١ - البيانات المتعلقة بأحواض الصرف التي تتساقط عليها الأمطار ومساحتها وشكلها ، فكلما زادت مساحة هذه الأحواض زادت كمية مياه السيول المتوقع جريانها على سطحها ، كذلك فإن كمية مياه السيول الناتجة من حوض صرف (ضيق الإتساع ومسار المياه فيه طويل) أقل من تلك الناتجة من حوض صرف (عريض الإتساع وذى مسار قصير) وإن تساوى الحوضان في المساحة السطحية .

٢ - تضاريس أحواض الصرف ومنطقة الدراسة التي يراد حمايتها من أخطار السيول ، فكلما زاد انحدار سطح أحواض الصرف أدى ذلك لزيادة كمية مياه السيول المتوقع جريانها على سطحها إذ تسير المياه في هذه الحالة على سطح الحوض بسرعة كبيرة ولا تدع فرصة كافية لأن تتشرب حبيبات التربة بمياه الأمطار .

٣ - نوع الأنشطة الحياتية التي يتم ممارستها على أحواض الصرف ، إذ تختلف كمية مياه السيول الناتجة من تساقط الأمطار على مناطق ذات نشاط تجاري عن تلك المناطق ذات النشاط الصناعي أو السكني ، وكذلك المناطق ذات الطبيعة الحضرية تختلف عن المناطق ذات الطبيعة الريفية وهكذا .

٤ - نوع التربة المكونة لأحواض الصرف وطبيعة تكوينها الإنشائي ، فكلما كانت التربة مفككة زادت نفاذيتها وقدرتها على تشرب مياه الأمطار المتساقطة عليها ، وبالتالي تقل كمية مياه السيول المتوقع جريانها على سطحها والعكس صحيح .

٥ - طبيعة السطح الذي تتساقط عليه مياه الأمطار وتجري عليه مياه السيول وخصائص الغطاء النباتي الذي يغطي أسطح أحواض الصرف ، إذ كلما كان السطح مصمتاً (كالطرق الأسفلتية والخرسانية والصخرية) ، أدى ذلك إلي زيادة كمية مياه السيول المتوقع جريانها على السطح .

٦ - طبيعة وخصائص الأودية والشعاب والقنوات التي تسلكها مياه السيول حتى المصب النهائي لها ومدى قدرتها على استيعاب جريان المياه المتدفقة خلالها .

٧ - سعة برك التخزين الطبيعية المتواجدة بأحواض الصرف التي تقوم بإستيعاب مياه السيول والأمطار وتخفيف حدة إندفاعها .

كما يمكن إجمال العوامل التي تؤدي إلى تهدئة مياه السيول وامتصاص قوتها وبالتالي التقليل من مخاطرها في النقاط التالية :

١ - تسرب مياه الأمطار **(Infiltration)** خلال حبيبات التربة المكونة لسطح أحواض الصرف والذي يتوقف على نوع التربة وميل الحوض وطبيعة غطاء السطح .

٢ - القدرة التخزينية لأحواض الصرف **(Depression Storage)** في المناطق المنخفضة وبرك التخزين ، التي تتوقف على نوع الأنشطة الحياتية التي تمارس على سطح الحوض وطبيعة استخدام سطح الأرض وطبيعة غطاء السطح وتضاريس الحوض .

٣ - كمية مياه الأمطار المستنفذة في الترطيب الأولي اللحظي – عقب بداية العاصفة – لأسطح المنازل والطرق وأوراق الأشجار والنباتات بأحواض الصرف **(Interception)** .

٤ - كمية المياه المتبخرة **(Evaporation)**من مياه الأمطار نفسها أثناء العاصفة وتعود مرة أخرى إلى طبقات الجو العليا ، ويتوقف ذلك على الظروف الجوية والمناخية حال حدوث العاصفة .

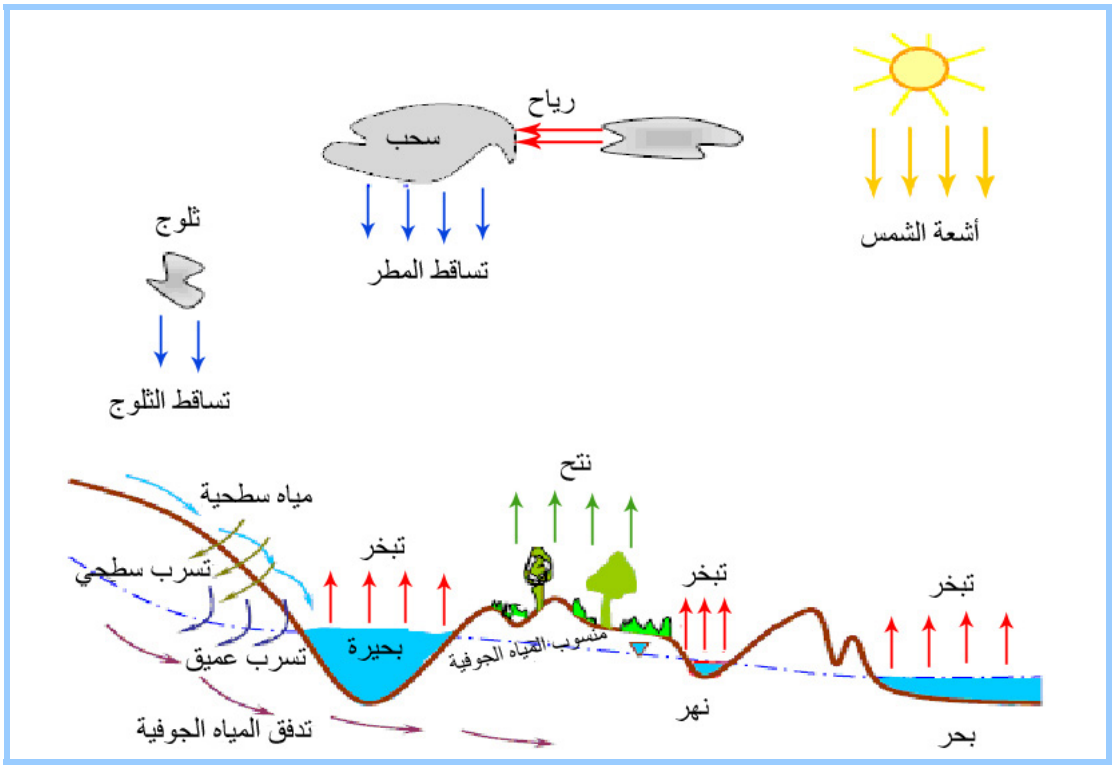
٥ - كمية المياه المستنفذة في عملية النتح **(Transpiration)** من أسطح أوراق النباتات والأشجار التي تعود مرة أخرى إلى الغلاف الجوي .

وقبل البدء في تفاصيل الدراسة الهيدرولوجية والدراسات النوعية المكملة لها لابد من الحديث عن دورة المياه في الطبيعة أو ما يطلق عليه اصطلاحاً بالدورة الهيدرولوجية ليسهل فهم وتحليل كافة العوامل المناخية المؤثرة على معدلات هطول الأمطار وتحليل بياناتها وخصائص الأرض الطبوغرافية لتقدير الجريان السطحي الذي يُعد الأساس التصميمي للقنوات والأودية والشعاب وجميع منشآت الحماية من أخطار السيول .

٢-٢ الدورة الهيدرولوجية :

نتيجة لتأثير العمليات الحرارية يتبخر الماء من المسطحات المائية (البحار ، المحيطات ، الأنهار ..... إلخ) وأيضاً من سطح الأرض ، بالإضافة لعملية النتح من النباتات وأوراق الأشجار ، وفي طبقات الجو العليا يتكثف بخار الماء المتصاعد ويكوِّن سحباً يتراكم بعضها على بعض وتنقلها الرياح حتى إذا أثقلت تساقطت مرة أخرى على المسطحات المائية وأسطح اليابسة على شكل أمطار ، ويتوزع هطول الأمطار المتساقطة إلى أقسام عدة حيث يبقى الجزء الأكبر من هذه المياه في صورة رطوبة بين حبيبات التربة السطحية يعود مرة أخرى إلى الجو عن طريق التبخر المباشر من سطح الأرض أو تمتصه جذور النباتات وأشجار الغابات ثم وبفعل عمليات النتح يتصاعد مرة أخرى على شكل أبخرة ، وقسم آخر من الهطول يتخذ مساره إلى القنوات المائية من أنهار وأودية

وشعاب وغيرها ، والجزء الثالث يتسرب إلى باطن الأرض ليضاف إلى مخزون الماء الجوفي بالخزانات الجوفية ، كما هو موضح بالشكل رقم (٢ -١) .



شكل (٢-١) دورة الماء في الطبيعة (الدورة الهيدرولوجية)

٢-٣ الدراسات النوعية اللازمة لتصريف مياه السيول :

تُعتبر مشاريع درء أخطار مياه السيول من المشاريع الإستراتيجية المتخصصة التي توليها الدول كل الإهتمام وبخاصة في الآونة الأخيرة حيث تغيرت الظروف المناخية في كثير من مناطق العالم ودمرت مياه السيول والفيضانات الكثير من عناصر البنية التحتية في العديد من الدول ، ولكي يتم التقدير الدقيق لكميات مياه السيول والأمطار المتساقطة على حوض صرفٍ ما بشكلٍ آمنٍ وفعال فلابد من إجراء الدراسات النوعية التالية بشيءٍ من التفصيل :

١ - تجميع البيانات الأولية لكافة خطوط الخدمات والبنية التحتية التي قد تتعارض مساراتها مع مسارات شبكة تصريف السيول المراد تصميمها بمنطقة الدراسة ، وتشمل هذه البيانات تلك التي تتعلق بشبكات الكهرباء والهاتف ومياه الشرب والصرف الصحي والمياه الجوفية والإتصالات وشبكات تصريف السيول القائمة .

٢ - الدراسة الطبوغرافية وتهدف الي تحديد خصائص أحواض الصرف التي تصرف مياهها إلى الوادي (من حيث مساحة هذه الأحواض وطبيعة شكلها الجغرافي وميول السطح ودرجة الخشونة وطبيعة الأنشطة المقامة عليها) بالإضافة إلى قدرة الوادي على تجميع مياه الأمطار وتصريفها وتوجيهها .

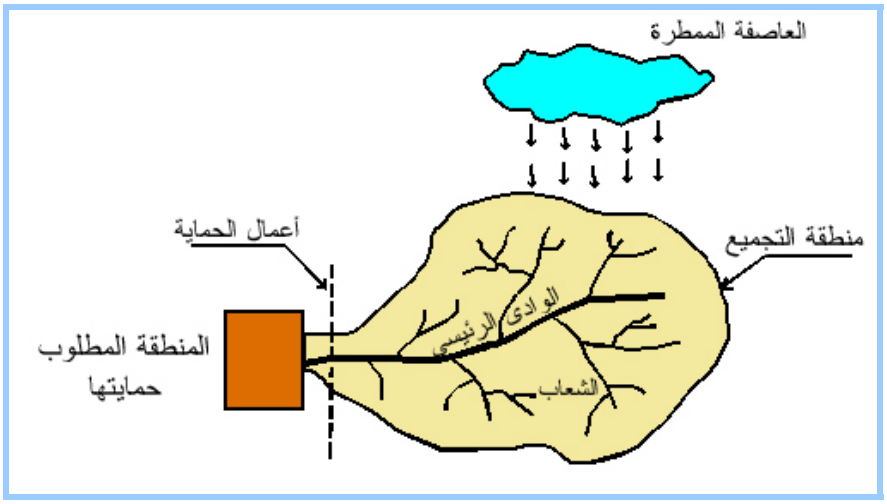
٣ - الدراسة الجيولوجية التي تهدف إلى دراسة خواص التربة وتركيباتها الإنشائية ومعدل سريان المياه من خلال حبيباتها (معدل الرشح **Infiltration Rate**) وطبيعة الخزانات الجوفية المتواجدة بمنطقة الدراسة وعمقها وخصائصها ، وكل ذلك بغرض تقدير نسب الفواقد من مياه الأمطار المتساقطة على أحواض الصرف والمتسربة لباطن الأرض.

٤ - الدراسة المترولوجية التي تهدف إلى الوقوف على التباين في درجات الحرارة ونسبة الرطوبة وسرعة الرياح وحدودها القصوى والدنيا على مدار المواسم المختلفة للعام بغرض تقدير نسبة الفواقد من مياه الأمطار نتيجة هذه المعاملات الجوية والمناخية .

٥ - تحديد السمات والخصائص المميزة للعواصف المطرة والمنحنيات المعبرة عنها من حيث الشدة وزمن الهطول والفترة التكرارية أو ما يسمى اصطلاحاً بمنحنيات الهطول **"Intensity – Duration – Frequency Curves"** أو اختصاراً بـ **"IDF Curves"** وأيضاً جداول أقصى عمق للمطر اليومي للفترات التكرارية المختلفة وذلك من خلال إجراء دراسة خصائص وإحتمالات حدوث العواصف المطرة المختلفة التي قد يتعرض لها حوض الوادي ، وذلك من خلال تحليل البيانات التي تم رصدها سلفاً للعواصف المطرة في الحقب الزمنية الماضية ، والشكل رقم (٢ -٢) يوضح علاقة السيل بالعواصف المطرة .

٦ - دراسة المعادلات التطبيقية المستخدمة في حساب زمن تركيز مياه السيول المتجمعة من النقاط المختلفة لحوض الصرف **Time of Concentration** ، وكذا حساب زمن وصول تدفق المياه من نقطة لأخرى **Travel Time** على طول مسارات الشعاب والأودية التي تنقل مياه السيول حتى المصب النهائي لها .

٧ - دراسة الطرق الهيدرولوجية المختلفة المستخدمة في التقدير الدقيق لكميات مياه السيول الناتجة من جراء عاصفة ممطرة ذات شدة معينة .



شكل (٢-٢) العلاقة المتبادلة بين العواصف المطرة وأحواض الصرف ومياه السيول والحماية منها

وسوف يتم تناول الدراسة الهيدرولوجية والدراسات النوعية المكملة لها بشيءٍ من التفصيل وذلك لفهم ديناميكية تصريف مياه السيول وطريقة حدوثها ومعدلاتها المتوقعة والطرق الآمنة للوقاية منها ودرء أخطارها ، سواء في مجال تصميم شبكات تصريف السيول (شبكة تجميع – قنوات ناقلة – منشآت حماية وتحكم) أو في مجال التنفيذ لهذه الشبكات أو أعمال الصيانة اللازمة للشبكة أو المنشآت بعد تنفيذها لضمان أداء وظيفتها بفاعلية وكفاءة عالية .

٢-٣-١ البيانات الأولية :

قبل البدء في إعداد الدراسات المتعلقة بتصريف السيول ودرء أخطارها لحماية منطقةٍ ما ، فلابد من القيام بأعمال تمهيدية ، الغرض منها تجميع العديد من البيانات الأولية التي يجب دراستها وتحليلها تحليلاً دقيقاً لتخطيط شبكة تصريف السيول المراد إنشاؤها والإحاطة بكافة العوائق التي قد تعترض مساراتها حتى لا تُحدث مفاجاءة بعد مضي مرحلة متقدمة في التصميم أو بعد البدء في مرحلة التنفيذ نفسها مما يعرض البرنامج الزمني للمشروع بأكمله للتأخير بل ربما يعرض التخطيط العام لمسارات بعض الخطوط الرئيسية أو الفرعية لشيءٍ من التغيير والتعديل .

وفي هذه المرحلة المبكرة من مراحل الإعداد للمشروع لابد من التذكير بأنه يجب تجميع هذه البيانات بحرص شديد والتأكد التام والواعي بأن تكون هذه البيانات صحيحة ومن مصادر موثوقة وجهات لها صفة رسمية ضماناً لصحة المعلومة من جهة واختصاراً لوقت تصميم وتنفيذ المشروع من جهةٍ أخرى ، ويجب التأكد من صحة ما يطلق عليه اصطلاحاً بـ **"As Built Drawings"** لمختلف خطوط الخدمات - التي عادةً ما يتم إعدادها بمعرفة المقاول تحت إشراف جهة التنفيذ - وضرورة التأكد من أنها مطابقة للواقع وذلك بالقيام بالزيارات الحقلية وعمل بعض الاختبارات لعينات عشوائية يتم أختبارها من هذه البيانات.

وتشتمل البيانات الأولية على مجموعة من الخرائط والمخططات والتفاصيل الإنشائية التي يمكن الإستفادة منها في توضيح النقاط التالية:

١ - أبعاد وحدود منطقة الدراسة ومساحتها .

٢ - خصائص وسمات الأماكن المجاورة للمنطقة التي سيتم تنفيذ المشروع لخدمتها وحمايتها .

٣ - التخطيط العمراني الحالي والمستقبلي للمدينة بمنطقة الدراسة والمناطق المجاورة لها طوال العمر الإفتراضي للمشروع .

٤ - خرائط الأودية والشعاب التي تمر من خلال منطقة الدراسة لتحديد المسارات الرئيسية لتجميع مياه السيول والأمطار .

٥ - الخرائط الطبوغرافية للمدينة لتحديد أماكن المرتفعات والمنخفضات بمنطقة الدراسة وتحديد أماكن تجميع مياه الأمطار .

٦ - صور الأقمار الصناعية لمنطقة الدراسة التي تستخدم لتحديد مسارات الشعاب والأودية وحدود وخصائص النقاط منخفضة المنسوب ومناطق تجميع مياه السيول .

٧ - إستعمالات الأراضي المختلفة الواقعة بحيز المنطقة التي سيخدمها المشروع (سكنية – تجارية – صناعية – ..... الخ) .

٨ - المخططات التوضيحية لمسارات شبكات البنية التحتية لمنطقة الدراسة بالإضافة إلى القطاعات الطولية التي تبين كافة الخصائص الهندسية لخطوط هذه الشبكات مثل العمق والقطر والأبعاد والسماكات وغيرها ، وتشمل شبكات الكهرباء والهاتف ومياه الشرب والصرف الصحي والمياه الجوفية والإتصالات (إن وجدت) وكل ما من شأنه إعاقة شبكة تصريف السيول .

٩ - شبكات تصريف مياه السيول والأمطار القائمة بمنطقة الدراسة والمناطق المجاورة سواء الخطوط الفرعية أو الرئيسية (إن وجدت) لتحديد المناطق المستفيدة من تلك الشبكات القديمة وتقييم كفاءتها وكيفية ربط الشبكات الجديدة بها .

١٠ - خصائص شبكة الطرق الرئيسية والفرعية وتشمل مناسيب وميول الطرق في الإتجاه الطولي والعرضي وعروضها والجزر الفاصلة وأبعادها .

١١ - أماكن الأنفاق والكباري وأشكالها ومناسيبها وكافة المنشآت التي قد تعترض مسارات الشبكة المزمع تنفيذها والتفاصيل الهندسية لكافة مكوناتها الإنشائية وخاصة الأساسات .

١٢ - تجميع البيانات الجيولوجية المعبرة عن خصائص التربة وتكوينها الإنشائي وخصائصها الفيزيائية مثل الوزن النوعي للتربة ومعامل النفاذية **(Permeability)** ومعامل تشرب حبيبات التربة للمياه (معدل الرشح **Infiltration Rate**) ، بالإضافة إلى عمل تصنيف لطبقات التربة في الإتجاه الرأسي ولعمق يناسب أعماق الحفر المتوقعة وتحديد عمق كل طبقة وعمق المياه الجوفية ، كذلك تحديد الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية ونوعية الأملاح الموجودة بها ومدى تأثر مواد الإنشاء بنوعية هذه الأملاح ، والاحتياطات الواجب مراعاتها عند وجود أملاح غير مناسبة مثل أملاح الكلوريدات أو أملاح الكبريتات .

وهذه الخرائط المساحية تكون ذات مقياس رسم مناسب لتوضيح كافة البيانات ، وهذا المقياس يكون في الغالب ١ : ١٠٠٠ ، ومقاس اللوح يكون **(A_1)** أو **(A_2)** ، وفي حالة عدم توفر أي من هذه البيانات السابقة يتم الحصول عليها بالرفع المساحي من الطبيعة وعمل جسات للتربة على مسافات يتم التنسيق بشأنها مع الجهة المشرفة على المشروع .

٢-٣-٢ الدراسات الطبوغرافية :

تعتبر الدراسات الطبوغرافية والبيانات المساحية من العوامل المهمة جداً والمؤثرة تأثيراً واضحاً في الدراسات الهيدرولوجية المتعلقة بتصريف مياه السيول نظراً لأن مياه السيول غالباً ما تتحرك تحت تأثير الجاذبية الأرضية سواءً كانت حركة هذه المياه على سطح الأرض أو من خلال شبكة تجميع وتصريف السيول ، ومن أهم البيانات المساحية التي يجب الحصول عليها بكل دقة مناسيب سطح الأرض في كامل حوض الصرف ، بالإضافة إلى مساحة وشكل الحوض الساكب بها والميول الطولية له وذلك لتأثيره علي قيمة الجريان السطحي وتركيز مياه السيل في خلجان وأخاديد ، ودراسة اتجاه الرياح والشمس لحوض الصرف.

وهناك العديد من الأساليب التطبيقية ذات الدقة المتباينة التي يمكن استخدامها للحصول على البيانات المساحية اللازمة لمشاريع تصريف السيول مثل :

١ - الخرائط الطبوغرافية السابق إنتاجها لأغراض مشابهة أو مشاريع أخرى كالتي يطلق عليها بمدينة الرياض مصطلح **Terra-Map** أو **Contour-Map** ، وهذه الخرائط تم إنتاجها لمعظم أحياء مدينة الرياض في مرحلة زمنية سابقة ، وهي وإن كانت دقيقة وقت إنتاجها إلا أنه وبعد مضي أكثر من ١٠ سنوات قد يعتريها شيٌ من عدم الدقة ، يزيد أو ينقص بحسب طبيعة التغييرات التي حدثت لسطح الأرض ومدى التطوير العمراني الذي غطى كافة جوانب المدينة في السنوات الماضية للمدينة .

٢ - المصورات الجوية التي يتم الحصول عليها عن طريق الأقمار الصناعية والمتاحة لدى الشركات المتخصصة والجهات المعنية بدرجات دقة متفاوتة .

٣ - الرفع المساحي من الطبيعة الذي قد تختلف الأدوات اللازمة لإجرائه مثل (الميزان – المحطة الشاملة – جهاز الـ **GPS** – وغيرها) وذلك بحسب الدقة المطلوبة والغرض الذي ستستخدم هذه البيانات في تحقيقه .

ولابد من اختيار الأسلوب المناسب من هذه الوسائل بحسب الغرض الذي من أجله سيتم توظيف هذه البيانات المساحية فيه على النحو التالي :

١ - بخصوص تحديد خصائص أحواض الصرف ذات المساحات الشاسعة والمسارات الحرجة المتوقع أن تسلكها مياه السيول والأمطار حال جريانها على أسطح هذه الأحواض وميولها الطولية ، فيمكن الإكتفاء بالمصورات الجوية ذات الدقة التي تتناسب مع التباين الطبوغرافي لسطح هذه الأحواض ، كذلك يمكن استخدام الخرائط الطبوغرافية التي سبق تجهيزها لذات منطقة الدراسة في فترة زمنية سابقة إذا كانت دقتها في الحدود التي لا تؤثر على دقة الحسابات ، وعلى المهندس التأكد من دقة هذه المصورات الجوية أو الخرائط الطبوغرافية باختيار نقاط عشوائية متوزعة بحوض الصرف ومقارنة منسوبها بقياسات فعلية مقاسة من الطبيعة .

٢ - بخصوص مسارات قنوات تصريف السيول سواءً كانت شبكة تجميع لمياه الأمطار أو قنوات ناقلة فلابد في هذه الحالة من إجراء رفع مساحي دقيق من الطبيعة ، كذلك يمكن استخدام خرائط طبوغرافية لذات المسارات إذا كانت حديثة وفي خلال فترة زمنية يغلب عليها عدم حدوث تغييرات جوهرية لمناسيب سطح الأرض على طول هذه المسارات ، ويجب التأكد من دقة هذه الخرائط الطبوغرافية باختيار نقاط عشوائية متوزعة على هذه المسارات ومقارنة منسوبها بقياسات فعلية مقاسة من الطبيعة على أن لا تزيد الفروقات في مناسيب سطح الأارض عن حد ± ١٠ سم على الأكثر .

كذلك يجب تحديد الوسيلة المناسبة لإجراء الدراسات الطبوغرافية وكذلك تحديد الأجهزة اللازمة لإجراء الرفع المساحي ، كما يجب القيام بعدة زيارات ميدانية للتعرف علي الظروف الطبيعية والطبوغرافية لأرض المشروع ، ويتم تجميع العديد من البيانات أثناء الرفع المساحي من الطبيعة لمنطقة الدراسة مثل :

١ - رفع حدود المباني والمنشآت القائمة ومناسيب أعتابها بالإضافة إلى رفع حدود قطع الأراضي غير المقام أي منشآت عليها .

٢ - رفع الشوارع الفرعية والرئيسية التي بداخل منطقة الدراسة وكذا المحيطة بها ، ويلزم في رفع الشوارع خاصةً مراعاة الإشتراطات التالية :

أ - في الإتجاه العرضي للطريق يتم رفع مناسيب كلٍ من الجانب الأيمن والجانب الأيسر بالإضافة لمحور الطريق.

ب - في الإتجاه الطولي للطريق يتم إجراء الرفع المساحي كل مسافة من ٢٥ متر حتى ٥٠ مترا ، ويتوقف ذلك على التباين الطبوغرافي لمناسيب سطح الطريق .

٣ - رفع مناسيب وأبعاد غرف التفتيش الخاصة بشبكات الكهرباء والهاتف ومياه الشرب والصرف الصحي والمياه الجوفية والإتصالات وكافة الخدمات الأخرى (إن وجدت) ، مع إجراء تصوير فوتوغرافي لبعضها إذا لزم الأمر وذلك كله بغرض توضيح تفاصيل الطبيعة .

٤ - رفع مناسيب ومواقع الأعمدة الخاصة بإنارة الشوارع وإشارات المرور أو أي أغراض أخرى من شأنها إعاقة مسارات تصريف السيول أو تنفيذها .

٥ - رفع حدود الميادين العامة والدوارات والحدائق مع توضيح الشكل العام لها وذلك تفادياً لمرور خطوط تصريف السيول من خلالها واتخاذ الإجراءات اللازمة مع الجهات المختصة في حالات الضرورة .

٦ - تكويد خطوط الخدمات المختلفة (مياه شرب ، مياه جوفية ، صرف صحي ، هاتف ، كهرباء ، ..... الخ) بطريقة متميزة وواضحة لكل نوع من هذه الخدمات ليسهل قراءتها وتحديد مساراتها .

٧ - في حالة وجود قناة مكشوفة أو مجرى وادي أو شعيب أو حتى منطقة منخفضة المستوى يجري التخطيط ليتم ربط الخط الرئيس أو بعضه لشبكة تصريف السيول المزمع إنشاؤها بهذه القناة أو الوادي ، أو في حالة وجود شعاب أو أودية تمر من خلال المنطقة المطلوب حمايتها ، يجب القيام بالأعمال المساحية التالية :

أ - عمل رفع مساحي تفصيلي لمجموعة من القطاعات العرضية لمجرى السيل عند مصب شبكة تصريف السيول عليه .

ب - يجب أن تغطي القطاعات العرضية مسافة لايقل طولها عن عشرة أضعاف عرض المجرى الرئيسى عند المصب .

ج - المسافة البينية بين القطاعات العرضية وبعضها تساوي تقريباً نصف عرض المجرى الرئيسى عند هذا القطاع .

د - يتم ربط مناسيب هذه القطاعات في الإتجاه الطولي للوادي وذلك للتعرف علي الإنحدار العام للمجرى الرئيسى قرب المصب .

٢-٣-٣ السمات والخصائص المميزة للعواصف المطرية لمدينة الرياض :

تعد الظروف المناخية من أهم العوامل التي يجب دراستها وتحليلها بعناية ودقة بالغة عند الإعداد لمشاريع تصريف مياه السيول والأمطار ودرء أخطارها ، حيث أنها تلعب دوراً مهما في تحديد التوقعات المستقبلية لكميات مياه الأمطار وتوزيع تساقطها على زمن هطول العاصفة ، ومن أهم هذه البيانات أعماق العواصف الممطرة موزعة على ساعات زمن الهطول وفي الجهات والجوانب المختلفة لمنطقة الدراسة .

وسوف يتم دراسة تساقط الأمطار وقياس أعماقها موزعةً على زمن هطول العاصفة ، وكذلك توزيع أماكن محطات القياس علي منطقة الدراسة ومدى تأثير ذلك على دقة هذه البيانات ، بالإضافة إلي تناول منحنى الهطول التصميمي **(IDF-Curve)** لمدينة الرياض ودراسة أهم ملامحه وخصائصه الهيدرولوجية ، وتعريف الفترة الترددية **(Frequency Period)** أو الزمن التكراري **(Recurrence Time)** لعاصفةٍ ممطرة وتحديد أقصى عمق للعاصفة في فترة تكرارية معينة .

٢-٣-٣-١ تساقط الأمطار وتوزيع محطات رصدها :

يتم قياس كمية الأمطار المتساقطة على حوضٍ ما عن طريق قياس عمق المطر المتجمع علي سطح مستوى في وحدة الزمن ، ويتم ذلك باستخدام جهاز معين يطلق عليه جهاز قياس المطر ، وعادة ما يطلق علي يومٍ ما أنه يومٌ ممطر إذا تجاوز عمق المطر المتجمع ٢,٥٠ ملليمترا ، وتعتبر شدة وعمق الأمطار المتساقطة على حوض صرف الوادي من أهم العناصر المستخدمة لحساب شدة السيل ، لذلك يتم استخدام بيانات الأمطار التي سبق تسجيلها بمحطات الرصد القريبة من الوادي عند الإعداد لمشاريع

تصريف السيول لهذه المنطقة ، وعادةً ما يتم تحديد أقل عدد من محطات رصد الأمطار الذي سوف يتم الإعتماد على البيانات الخاصة بها مقارنةً بمساحة حوض الصرف كما هو موضح بالجدول رقم (٢ -١) .

جدول (٢-١) الحدود الدنيا لعدد محطات رصد الأمطار مقارنةً بمساحة أحواض الصرف

أقل عدد من المحطات	مساحة الحوض (كم^2)
١	أقل من ٧٥
٢	من ٧٥ إلى ١٥٠
٣	من ١٥٠ إلى ٣٠٠
٤	من ٣٠٠ إلى ٥٥٠
٥	من ٥٥٠ إلى ٨٠٠
٦	من ٨٠٠ إلى ١٢٠٠

ويجب عند الحصول على البيانات الخاصة بقياس عمق الأمطار من محطات الرصد مراعاة الشروط التالية :

أ - ألا تقل محطات الرصد المحيطة بالوادي أو المنتشرة بحوض الصرف المطلوب دراسته والتي سيتم اعتماد بياناتها عن ثلاث محطات على أقل تقدير ، وذلك تلافياً لنقص البيانات الذي عادةً ما يكون نتيجة العطل المفاجئ في أجهزة قياس الأمطار .

ب - بصفةٍ عامة تفضل المحطات القريبة على المحطات البعيدة لكونها الأدق في تمثيل الظروف المناخية لمنطقة الدراسة .

ج - يجب ألا يختلف منسوب المحطات كثيراً عن مناسيب الأرض الطبيعية داخل حوض الصرف ، وأن يكون ذلك في حدود ± ٠,٥٠ متر على الأكثر، وفى حالة التباين الشديد بين مناسيب سطح الحوض ومناسيب محطات الأرصاد القريبة يفضل الاسترشاد ببيانات المحطات ذات المنسوب الأقرب من مناسيب سطح الحوض رغم بُعد موقعها .

ويتم تحليل بيانات الأمطار لكل محطة من محطات الرصد المعتمدة على حدة ، وذلك لتحديد خصائص العاصفة التصميمية لكل منها ، وبعد ذلك يتم إعطاء وزن مناسب لكل محطة يعتمد على مدى قربها من منطقة الدراسة وتمثيلها لها تمثيلاً دقيقاً ، ثم يتم بعد ذلك حساب عمق العاصفة التصميمية للمنطقة ككل بأخذ القيمة المتوسطة للعواصف التصميمية لكل محطة من المحطات المحيطة والمعتمدة في الدراسة.

٢-٣-٣-٢ خصائص العواصف الممطرة على مدينة الرياض :

سبق أن تحدثنا بصفةٍ عامة عن الخصائص المناخية لمدينة الرياض في الباب الأول ، ويهدف الكلام في هذا الجزء إلى التعرف على الأحوال المناخية ومعدل شدة هطول الأمطار على مدينة الرياض وإيجاد خصائص واحتمالات حدوث العواصف الممطرة المختلفة ، وذلك من أجل الوصول إلى تحديد أقصى عمق مطر يومي يمكن أن يتساقط على المدينة من واقع التحليل الإحصائي للبيانات المرصودة سلفاً بمحطات الرصد المنتشرة بأنحاء المدينة ، وأيضاً تحديد منحنى الهطول والمعروف باسم منحنى الـ **IDF-Curve** الذي بناءا عليه سيتم الإعتماد على تقدير كميات مياه السيول .

ولقد تم اعتماد البيانات الميترولوجية المتاحة وخصائص العواصف الممطرة (كمية الأمطار ومعدل سقوطها) لعدد أربع محطات رصد منتشرة وموزعة على مدينة الرياض وهي محطة مطار الملك خالد في الشمال ، المصانع في الجنوب ، القاعدة الجوية في الشرق ، سد وادي حنيفة في الغرب وهذه البيانات تم الحصول عليها من وزارة المياه والكهرباء و الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة ، ومن هذه البيانات تم حساب القيمة المتوسطة بإعطاء وزن مناسب لكل محطة يعتمد على المساحة التي تمثلها من المساحة الكلية لمدينة الرياض ، ويوضح الجدول رقم (٢ -٢) أقصى عمق مطر يومي **Maximum Daily Rainfall Depth** تساقط على محطات الرصد بمدينة الرياض والقيم المتوسطة لهذه المحطات خلال الفترة من عام ١٩٦٣م وحتى عام ٢٠١٠م ، ويتضح من هذا الجدول أن أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض خلال هذه الفترة هو ٥١,٥ ملليمتر/يوم ، وحدث ذلك في عام ١٩٦٤م.

جدول (٢-٢) أقصى عمق مطر تساقط على محطات الرصد بمدينة الرياض في الفترة من ١٩٦٣م - ٢٠١٠م

السنة	عمق المطر (مم/يوم) لمحطات الرصد				متوسط محطات مدينة الرياض
	المصانع	سد وادي حنيفة	القاعدة الجوية	مطار الملك خالد	
١٩٦٣	١١,٥	-	-	-	١١,٥
١٩٦٤	٥١,٥	-	-	-	٥١,٥
١٩٦٥	٣٢	٣٨,٢	-	-	٣٦,٥
١٩٦٦	٧	٨,٦	-	-	٨,٢
١٩٦٧	١٩	٢٣,٧	-	-	٢٢,٤
١٩٦٨	١٩	٤٧,٢	-	-	٣٩,٤
١٩٦٩	١٨,٥	٢٢,٢	-	-	٢١,٢

تابع جدول (٢-٢)أقصى عمق مطر تساقط على محطات الرصد بمدينة الرياض في الفترة من ١٩٦٣م - ٢٠١٠م

السنة	عمق المطر (مم/يوم) لمحطات الرصد				متوسط محطات مدينة الرياض
	المصانع	سد وادي حنيفة	القاعدة الجوية	مطار الملك خالد	
١٩٧٠	٦	٥,٦	-	-	٥,٧
١٩٧١	٢٦	٢٢	-	-	٢٣,١
١٩٧٢	١٧,٨	٣١	-	-	٢٧,٣
١٩٧٣	١٣,٤	١١,٤	-	-	١٢,٠
١٩٧٤	٩,٧	٨	-	-	٨,٥
١٩٧٥	٣١	٣١	-	-	٣١,٠
١٩٧٦	٢٣,٢	٢٠	-	-	٢٠,٩
١٩٧٧	١١,٨	٨,٣	-	-	٩,٣
١٩٧٨	١٥,٨	٣٤,٢	-	-	٢٩,١
١٩٧٩	١٣,٤	١٤,٥	-	-	١٤,٢
١٩٨٠	١٦,٤	٢٢,٥	-	-	٢٠,٨
١٩٨١	٧,٨	٥	-	-	٥,٨
١٩٨٢	١٧,٣	٢٠,٧	-	-	١٩,٨
١٩٨٣	١٤,٦	١٩,٥	-	-	١٨,١
١٩٨٤	٢١,٢	٣٠	-	-	٢٧,٦
١٩٨٥	٢٧,٦	٣٢	١١,٧	١٢,٦	٢١,٩
١٩٨٦	١٩,٧	١٨,٢	٢٩,٨	١٩,٩	٢٠,٨
١٩٨٧	١٥,٥	٢٨	١٣,٩	١٥,١	١٩,٣
١٩٨٨	١٤	١٤,٢	٢٣,٦	٢٨,٣	٢٠,٠
١٩٨٩	١٧,٥	٢١	٢٨,٦	١٣	١٨,٩
١٩٩٠	١٢,٢	٩	١٤,٧	٢٣,٤	١٥,٠
١٩٩١	٥,٢	١١,٦	١٣,٣	٢٥,٤	١٥,٠
١٩٩٢	١١,٧	١٢,٦	١٢,٦	٢٠,٨	١٥,٠
١٩٩٣	٢٨,٤	٣٠	٢٩,٥	٢٨,٥	٢٩,١
١٩٩٤	١٠	١٧,٢	١٧,٤	١٢,٨	١٤,٤
١٩٩٥	٣٢,٢	٣٣,٧	٥٢,٥	٤٧,٨	٤٠,٧

تابع جدول (٢-٢)أقصى عمق مطر تساقط على محطات الرصد بمدينة الرياض في الفترة من ١٩٦٣م - ٢٠١٠م

السنة	عمق المطر (مم/يوم) لمحطات الرصد				متوسط محطات مدينة الرياض
	المصانع	سد وادي حنيفة	القاعدة الجوية	مطار الملك خالد	
١٩٩٦	١٩,٢	٢٨,٥	٤٤,٤	٣٢,٤	٣٠,٣
١٩٩٧	٣٥,٥	٢٠	٤٥,٨	٣٠	٣٠,١
١٩٩٨	١٩,٢	١٧	١٩	٢٢,٧	١٩,٥
١٩٩٩	٣,٨	١٢	١٠,٨	٢٠,٦	١٢,٩
٢٠٠٠	١١,٤	٨,٥	١٠	٢٣,٣	١٤,٠
٢٠٠١	١٩,٨	١٣	١٢,٧	٣١,٢	٢٠,٠
٢٠٠٢	٣,٦	١٨	١٨,٢	١٤,٧	١٤,٢
٢٠٠٣	١٠	٢٥	٧٠	٢٥,٧	٢٩,١
٢٠٠٤	٠	٢٩	٢٦,٧	٢٤,٢	٢١,٤
٢٠٠٥	٥	٣٢	٣٧,٥	٢٦	٢٥,٦
٢٠٠٦	١٦	-	٢١,٧	٢٦,٨	٢٢,١
٢٠٠٧	١٣,٥	-	١٥,٥	١٦,٤	١٥,٣
٢٠٠٨	١٤,٥	-	٣٦	٢٨	٢٥,٩
٢٠٠٩	٢٣,٥	-	١٣,٨	١٣,٦	١٦,٧
٢٠١٠	-	-	١١,٦	٣٠,٩	١٩,٩

وبناءا على هذه البيانات المتوسطة فقد تم تحليل هذه العواصف المطرة بالمنحنيات الإحصائية لتحديد أقصى كمية أمطار يمكن أن تسقط في يوم واحد على مدينة الرياض لفترات تكرارية قياسية ومتفاوتة ، ويمكن التعبير عن هذه الطريقة في الخطوات التالية :

١ - ترتيب أعماق المطر اليومي المسجلة في السنوات الماضية ترتيباً تنازلياً .

٢- حساب الفترة التكرارية لكل عمق مطر يومي باستخدام المعادلة التالية :

$$T_r = \left(\frac{N}{m}\right) \quad \text{.....} \quad (2\text{-}1)$$

حيث إن :

- T_r = الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)**.
- N = العدد الكلي لسنوات رصد مياه الإمطار .
- m = ترتيب أعماق المطر اليومي ترتيباً تنازلياً .

٣ - تمثيل العلاقة بين الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)** وأقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** تمثيلاً بيانياً .

٤ - رسم خط اتجاه **Trend Line** لتمثيل هذه العلاقة تمثيلاً دقيقاً **Best Fit** ثم إيجاد المعادلة الرياضية **Regression Equation** التي تمثل هذه العلاقة .

٥ - استخدام هذه المعادلة الرياضية في الحصول على أقصى عمق مطر يومي للفترات التكرارية التصميمية القياسية ، وتم التوافق بين المختصين في هذا المجال على أن يتم تحليل ودراسة العواصف المطرية لأزمنة تكرارية قياسية مقدارها ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ١٠٠ سنة .

وبتطبيق هذه الطريقة على بيانات الأمطار المسجلة لمدينة الرياض خلال الفترة الزمنية (١٩٦٣م - ٢٠١٠م) ، يمكن ملاحظة النتائج التالية :

١ - الجدول رقم (٢ -٣) يبين الفترة التكرارية لأقصى عمق مطر يومي تساقط في هذه الفترة الزمنية على مدينة الرياض ومرتب ترتيباً تنازلياً ، وقد تم حساب الفترة التكرارية المقابلة لكل عمق باستخدام المعادلة رقم (٢ -١) .

٢ - الشكل رقم (٢ -٣) يبين التمثيل البياني للعلاقة بين الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)** وأقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** ، كما يبين خط الإتجاه **Trend Line** الذي يبين هذه العلاقة ويمثل هذه البيانات تمثيلاً دقيقاً .

٣ - المعادلة رقم (٢ -٢) تمثل العلاقة بين الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)** وأقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** والتي يمكن صياغتها على النحو التالي :

$$y = 10.183 \times Ln(x) + 11.489 \quad , \quad R^2 = 0.9502 \quad \text{.....} \quad \textbf{(2-2)}$$

حيث إن :

- y = أقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** .
- x = الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)**.
- R^2 = مربع الجذر التربيعي للفروقات بين البيانات المسجلة والقيم المحسوبة بالمعادلة ، وكلما كانت قيمته قريبة من الوحدة كلما كان تمثيل المعادلة للعلاقة بين الفترة التكرارية وأقصى عمق مطر يومي تمثيلاً دقيقاً.

٤ - باستخدام المعادلة رقم (٢ -٢) تم حساب أقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** للفترات التكرارية التصميمية القياسية ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ١٠٠ كما هو مبين الجدول رقم (٢ -٤) ، وذلك بناءً على بيانات الأمطار المسجلة لمدينة الرياض خلال الفترة الزمنية (١٩٦٣م -٢٠١٠م) .

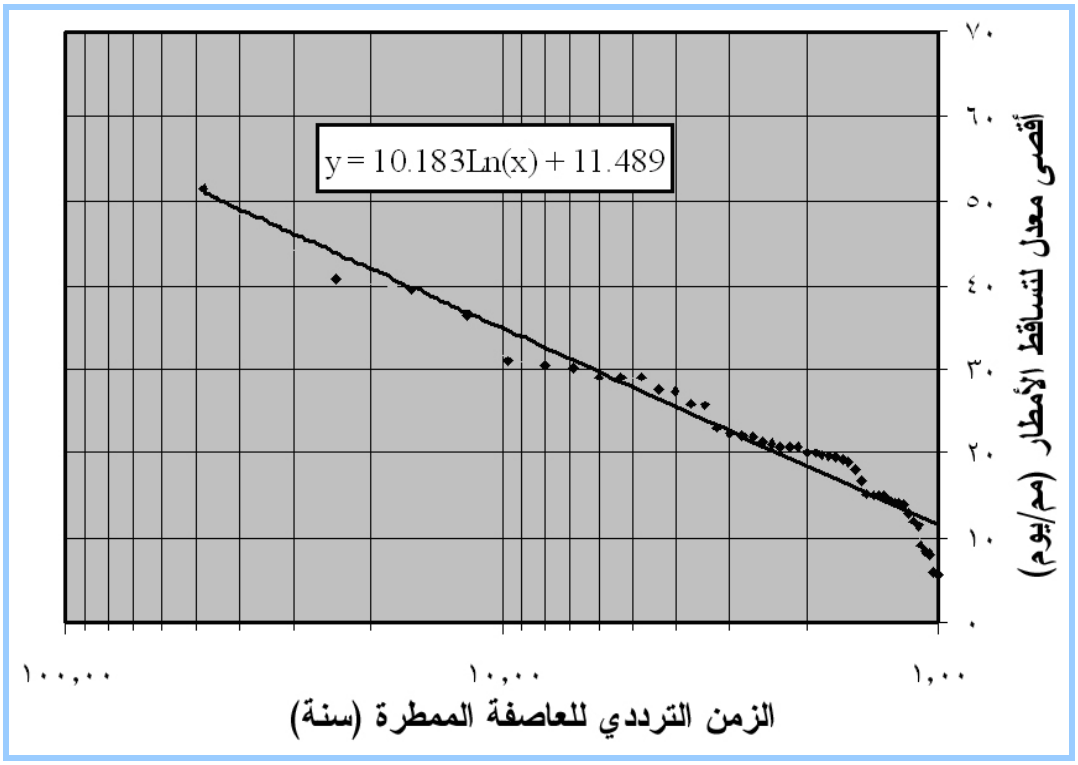
جدول (٢-٣)الفترة التكرارية لأقصى عمق مطر تساقط على مدينة الرياض ومرتب ترتيباً تنازلياً في الفترة (١٩٦٣ م - ٢٠١٠ م)

السنة	أقصى عمق مطر يومي (مم/يوم)	الترتيب Ranking	الفترة التكرارية (سنة)
١٩٦٤	٥١,٥	١	٤٨,٠٠
١٩٩٥	٤٠,٧	٢	٢٤,٠٠
١٩٦٨	٣٩,٤	٣	١٦,٠٠
١٩٦٥	٣٦,٥	٤	١٢,٠٠
١٩٧٥	٣١,٠	٥	٩,٦٠
١٩٩٦	٣٠,٣	٦	٨,٠٠
١٩٩٧	٣٠,١	٧	٦,٨٦
١٩٩٣	٢٩,١	٨	٦,٠٠
٢٠٠٣	٢٩,١	٩	٥,٣٣
١٩٧٨	٢٩,١	١٠	٤,٨٠
١٩٨٤	٢٧,٦	١١	٤,٣٦
١٩٧٢	٢٧,٣	١٢	٤,٠٠
٢٠٠٨	٢٥,٩	١٣	٣,٦٩
٢٠٠٥	٢٥,٦	١٤	٣,٤٣
١٩٧١	٢٣,١	١٥	٣,٢٠
١٩٦٧	٢٢,٤	١٦	٣,٠٠
٢٠٠٦	٢٢,١	١٧	٢,٨٢
١٩٨٥	٢١,٩	١٨	٢,٦٧
٢٠٠٤	٢١,٤	١٩	٢,٥٣
١٩٦٩	٢١,٢	٢٠	٢,٤٠
١٩٧٦	٢٠,٩	٢١	٢,٢٩
١٩٨٠	٢٠,٨	٢٢	٢,١٨
١٩٨٦	٢٠,٨	٢٣	٢,٠٩

تابع جدول (٢-٣) الفترة التكرارية لأقصى عمق مطر تساقط على مدينة الرياض

ومرتب ترتيباً تنازلياً في الفترة (١٩٦٣ م - ٢٠١٠ م)

السنة	أقصى عمق مطر يومي (مم/يوم)	الترتيب Ranking	الفترة التكرارية (سنة)
١٩٨٨	٢٠,٠	٢٤	٢,٠٠
٢٠٠١	٢٠,٠	٢٥	١,٩٢
٢٠١٠	١٩,٩	٢٦	١,٨٥
١٩٨٢	١٩,٨	٢٧	١,٧٨
١٩٩٨	١٩,٥	٢٨	١,٧١
١٩٨٧	١٩,٣	٢٩	١,٦٦
١٩٨٩	١٨,٩	٣٠	١,٦٠
١٩٨٣	١٨,١	٣١	١,٥٥
٢٠٠٩	١٦,٧	٣٢	١,٥٠
٢٠٠٧	١٥,٣	٣٣	١,٤٥
١٩٩٠	١٥,٠	٣٤	١,٤١
١٩٩٢	١٥,٠	٣٥	١,٣٧
١٩٩١	١٥,٠	٣٦	١,٣٣
١٩٩٤	١٤,٤	٣٧	١,٣٠
١٩٧٩	١٤,٢	٣٨	١,٢٦
٢٠٠٢	١٤,٢	٣٩	١,٢٣
٢٠٠٠	١٤,٠	٤٠	١,٢٠
١٩٩٩	١٢,٩	٤١	١,١٧
١٩٧٣	١٢,٠	٤٢	١,١٤
١٩٦٣	١١,٥	٤٣	١,١٢
١٩٧٧	٩,٣	٤٤	١,٠٩
١٩٧٤	٨,٥	٤٥	١,٠٧
١٩٦٦	٨,٢	٤٦	١,٠٤
١٩٨١	٥,٨	٤٧	١,٠٢
١٩٧٠	٥,٧	٤٨	١,٠٠



شكل (٢-٣) أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض في الفترة (١٩٦٣م - ٢٠١٠م)

جدول (٢- ٤) أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض

للفترات التكرارية القياسية(١٩٦٣م - ٢٠١٠م)

الفترة التكرارية (سنة)	أقصى معدل لتساقط الأمطار (مم/يوم)
٢	١٨,٥
٥	٢٧,٩
١٠	٣٤,٩
٢٥	٤٤,٣
٥٠	٥١,٣
١٠٠	٥٨,٤

٢-٣-٣-٣ منحنى الهطول IDF-Curve (١٩٦٣م - ٢٠٠٠م) :

ويعبر عن منحنى الهطول بأنه هو المنحنى الذي يربط بين خصائص العواصف الممطرة (زمن هطول العاصفة وشدتها) وبين الفترات الزمنية لاحتمال تكرار حدوث العاصفة بنفس الشدة والمعبر عنها بالفترة التكرارية أو الزمن الترددي للعاصفة ، ولتوضيح الأمر لابد من الإشارة سريعاً إلى النقاط التالية :

١ - يمكن تعريف شدة العاصفة **Rainfall Intensity** بأنها معدل تساقط الأمطار في وحدة الزمن (مم / ساعة) ، ومن الخصائص الثابتة للعواصف المطرية أن شدتها تكون أكبر ما يمكن في الدقائق الأولى من بداية العاصفة ثم ينحدر معدلها بشكل ملحوظ وسريع حتى يتلاشى تماماً مع نهاية العاصفة .

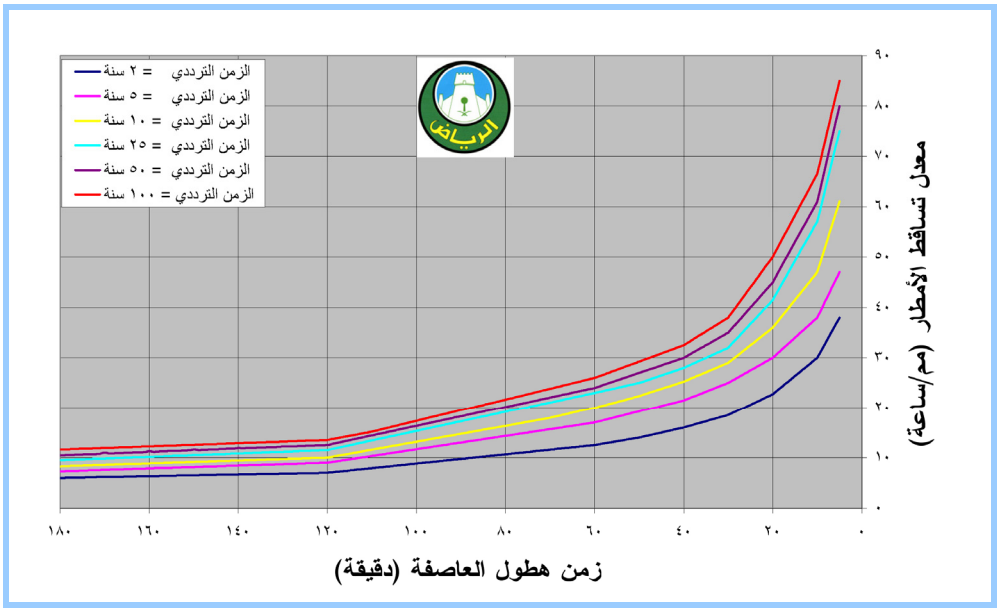
٢ - بينما يُعرَّف زمن هطول العاصفة **Rainfall Duration** بأنه الزمن الذي تستغرقه العاصفة منذ بدايتها حتى نهايتها ، وقد تستمر العواصف الممطرة على بعض المناطق دقائق معدودة وقد تستغرق عدة ساعات وربما تستغرق أياماً أو أسابيع كاملة في بعض المناطق الأخرى ، ويختلف ذلك بحسب الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة والظروف المناخية ومواسم العام .

٣ - كذلك يمكن تعريف الفترة التكرارية لعاصفة مطرية **Frequency Period** بأنها الفترة الزمنية اللازمة لاحتمال تكرار العاصفة الممطرة بنفس الشدة على نفس المنطقة .

٤ - كذلك لا بد من الإشارة إلى أن العاصفة الممطرة تكون أكثر شدة كلما كان الزمن التكراري أكبر ، بمعنى أن العاصفة الممطرة المحتمل تكرارها كل ١٠٠ سنة تكون أكبر شدة من تلك التي يحتمل تكرارها كل ١٠ سنوات .

٥ - كما ينبغي التنويه والإشارة إلى أن شدة العاصفة الممطرة في منطقةٍ ما لزمن تكراري مقداره ١٠ سنوات لا تكون ضعف شدتها لزمن تكراري مقداره ٥ سنوات في نفس المنطقة ولكن يعتمد الفارق بينهما على الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة والظروف المناخية ومواسم العام .

٦ - الشكل رقم (٢ -٤) يوضح منحنيات الهطول التصميمية (**IDF-Curves**) المعتمدة حالياً لمدينة الرياض ، وذلك لفترات تكرارية مختلفة ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ، ١٠٠ سنة إعتماداً على تحليل بيانات تساقط الأمطار في الفترة الزمنية (١٩٦٣م إلى ٢٠٠٠م) ، وتم تحليل هذه المنحنيات في صورة رقمية ليسهل استخدامها ، كما هو مبين بالجدول رقم (٢ -٥) ، وسوف يتم مناقشة مدى الحاجة إلى تحديث هذا المنحنى لاحقاً في الفقرة (**٢-٣-٣-٤**) .



شكل (٢-٤) منحنى الهطول (IDF-Curves) الخاص بمدينة الرياض

جدول (٢- ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م - ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٥,٠٠	٣٨,٠٠	٤٧,٠٠	٦١,٠٠	٧٥,٠٠	٨٠,٠٠	٨٥,٠٠
٥,٥٠	٣٧,٢٠	٤٦,١٠	٥٩,٦٠	٧٣,٢٠	٧٨,١٠	٨٣,١٥
٦,٠٠	٣٦,٤٠	٤٥,٢٠	٥٨,٢٠	٧١,٤٠	٧٦,١٩	٨١,٣٠
٦,٥٠	٣٥,٦٠	٤٤,٣٠	٥٦,٨٠	٦٩,٦٠	٧٤,٢٩	٧٩,٤٥
٧,٠٠	٣٤,٨٠	٤٣,٤٠	٥٥,٤٠	٦٧,٨٠	٧٢,٣٨	٧٧,٦٠
٧,٥٠	٣٤,٠٠	٤٢,٥٠	٥٤,٠٠	٦٦,٠٠	٧٠,٤٧	٧٥,٧٥
٨,٠٠	٣٣,٢٠	٤١,٦٠	٥٢,٦٠	٦٤,٢٠	٦٨,٥٧	٧٣,٩٠
٨,٥٠	٣٢,٤٠	٤٠,٧٠	٥١,٢٠	٦٢,٤٠	٦٦,٦٦	٧٢,٠٥
٩,٠٠	٣١,٦٠	٣٩,٨٠	٤٩,٨٠	٦٠,٦٠	٦٤,٧٥	٧٠,٢٠
٩,٥٠	٣٠,٨٠	٣٨,٩٠	٤٨,٤٠	٥٨,٨٠	٦٢,٨٥	٦٨,٣٥
١٠,٠٠	٣٠,٠٠	٣٨,٠٠	٤٧,٠٠	٥٧,٠٠	٦٠,٩٤	٦٦,٥٠
١٠,٥٠	٢٩,٦٤	٣٧,٦٠	٤٦,٤٥	٥٦,٢٢	٦٠,١٥	٦٥,٦٨
١١,٠٠	٢٩,٢٨	٣٧,٢٠	٤٥,٩٠	٥٥,٤٥	٥٩,٣٥	٦٤,٨٥

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
١١,٥٠	٢٨,٩١	٣٦,٨٠	٤٥,٣٥	٥٤,٦٨	٥٨,٥٥	٦٤,٠٣
١٢,٠٠	٢٨,٥٥	٣٦,٤٠	٤٤,٨٠	٥٣,٩٠	٥٧,٧٥	٦٣,٢٠
١٢,٥٠	٢٨,١٩	٣٦,٠٠	٤٤,٢٥	٥٣,١٣	٥٦,٩٦	٦٢,٣٨
١٣,٠٠	٢٧,٨٣	٣٥,٦٠	٤٣,٧٠	٥٢,٣٥	٥٦,١٦	٦١,٥٥
١٣,٥٠	٢٧,٤٦	٣٥,٢٠	٤٣,١٥	٥١,٥٨	٥٥,٣٦	٦٠,٧٣
١٤,٠٠	٢٧,١٠	٣٤,٨٠	٤٢,٦٠	٥٠,٨٠	٥٤,٥٦	٥٩,٩٠
١٤,٥٠	٢٦,٧٤	٣٤,٤٠	٤٢,٠٥	٥٠,٠٣	٥٣,٧٧	٥٩,٠٨
١٥,٠٠	٢٦,٣٨	٣٤,٠٠	٤١,٥٠	٤٩,٢٥	٥٢,٩٧	٥٨,٢٥
١٥,٥٠	٢٦,٠١	٣٣,٦٠	٤٠,٩٥	٤٨,٤٨	٥٢,١٧	٥٧,٤٣
١٦,٠٠	٢٥,٦٥	٣٣,٢٠	٤٠,٤٠	٤٧,٧٠	٥١,٣٨	٥٦,٦٠
١٦,٥٠	٢٥,٢٩	٣٢,٨٠	٣٩,٨٥	٤٦,٩٣	٥٠,٥٨	٥٥,٧٨
١٧,٠٠	٢٤,٩٣	٣٢,٤٠	٣٩,٣٠	٤٦,١٥	٤٩,٧٨	٥٤,٩٥
١٧,٥٠	٢٤,٥٦	٣٢,٠٠	٣٨,٧٥	٤٥,٣٨	٤٨,٩٨	٥٤,١٣
١٨,٠٠	٢٤,٢٠	٣١,٦٠	٣٨,٢٠	٤٤,٦٠	٤٨,١٩	٥٣,٣٠
١٨,٥٠	٢٣,٨٤	٣١,٢٠	٣٧,٦٥	٤٣,٨٣	٤٧,٣٩	٥٢,٤٨
١٩,٠٠	٢٣,٤٨	٣٠,٨٠	٣٧,١٠	٤٣,٠٥	٤٦,٥٩	٥١,٦٥
١٩,٥٠	٢٣,١١	٣٠,٤٠	٣٦,٥٥	٤٢,٢٨	٤٥,٨٠	٥٠,٨٣
٢٠,٠٠	٢٢,٧٥	٣٠,٠٠	٣٦,٠٠	٤١,٥٠	٤٥,٠٠	٥٠,٠٠
٢٠,٥٠	٢٢,٥٤	٢٩,٧٥	٣٥,٦٥	٤١,٠٣	٤٤,٥٠	٤٩,٤٠
٢١,٠٠	٢٢,٣٣	٢٩,٥٠	٣٥,٣٠	٤٠,٥٥	٤٤,٠٠	٤٨,٨٠
٢١,٥٠	٢٢,١١	٢٩,٢٥	٣٤,٩٥	٤٠,٠٨	٤٣,٥٠	٤٨,٢٠
٢٢,٠٠	٢١,٩٠	٢٩,٠٠	٣٤,٦٠	٣٩,٦٠	٤٣,٠٠	٤٧,٦٠
٢٢,٥٠	٢١,٦٩	٢٨,٧٥	٣٤,٢٥	٣٩,١٣	٤٢,٥٠	٤٧,٠٠

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٢٣,٠٠	٢١,٤٨	٢٨,٥٠	٣٣,٩٠	٣٨,٦٥	٤٢,٠٠	٤٦,٤٠
٢٣,٥٠	٢١,٢٦	٢٨,٢٥	٣٣,٥٥	٣٨,١٨	٤١,٥٠	٤٥,٨٠
٢٤,٠٠	٢١,٠٥	٢٨,٠٠	٣٣,٢٠	٣٧,٧٠	٤١,٠٠	٤٥,٢٠
٢٤,٥٠	٢٠,٨٤	٢٧,٧٥	٣٢,٨٥	٣٧,٢٣	٤٠,٥٠	٤٤,٦٠
٢٥,٠٠	٢٠,٦٣	٢٧,٥٠	٣٢,٥٠	٣٦,٧٥	٤٠,٠٠	٤٤,٠٠
٢٥,٥٠	٢٠,٤١	٢٧,٢٥	٣٢,١٥	٣٦,٢٨	٣٩,٥٠	٤٣,٤٠
٢٦,٠٠	٢٠,٢٠	٢٧,٠٠	٣١,٨٠	٣٥,٨٠	٣٩,٠٠	٤٢,٨٠
٢٦,٥٠	١٩,٩٩	٢٦,٧٥	٣١,٤٥	٣٥,٣٣	٣٨,٥٠	٤٢,٢٠
٢٧,٠٠	١٩,٧٨	٢٦,٥٠	٣١,١٠	٣٤,٨٥	٣٨,٠٠	٤١,٦٠
٢٧,٥٠	١٩,٥٦	٢٦,٢٥	٣٠,٧٥	٣٤,٣٧	٣٧,٥٠	٤١,٠٠
٢٨,٠٠	١٩,٣٥	٢٦,٠٠	٣٠,٤٠	٣٣,٩٠	٣٧,٠٠	٤٠,٤٠
٢٨,٥٠	١٩,١٤	٢٥,٧٥	٣٠,٠٥	٣٣,٤٢	٣٦,٥٠	٣٩,٨٠
٢٩,٠٠	١٨,٩٣	٢٥,٥٠	٢٩,٧٠	٣٢,٩٥	٣٦,٠٠	٣٩,٢٠
٢٩,٥٠	١٨,٧١	٢٥,٢٥	٢٩,٣٥	٣٢,٤٧	٣٥,٥٠	٣٨,٦٠
٣٠,٠٠	١٨,٥٠	٢٥,٠٠	٢٩,٠٠	٣٢,٠٠	٣٥,٠٠	٣٨,٠٠
٣٠,٥٠	١٨,٣٨	٢٤,٨٣	٢٨,٨١	٣١,٨٠	٣٤,٧٥	٣٧,٧٣
٣١,٠٠	١٨,٢٥	٢٤,٦٥	٢٨,٦٣	٣١,٦٠	٣٤,٥٠	٣٧,٤٥
٣١,٥٠	١٨,١٣	٢٤,٤٨	٢٨,٤٤	٣١,٤٠	٣٤,٢٥	٣٧,١٨
٣٢,٠٠	١٨,٠٠	٢٤,٣٠	٢٨,٢٥	٣١,٢٠	٣٤,٠٠	٣٦,٩٠
٣٢,٥٠	١٧,٨٨	٢٤,١٣	٢٨,٠٦	٣١,٠٠	٣٣,٧٥	٣٦,٦٣
٣٣,٠٠	١٧,٧٥	٢٣,٩٥	٢٧,٨٨	٣٠,٨٠	٣٣,٥٠	٣٦,٣٥
٣٣,٥٠	١٧,٦٣	٢٣,٧٨	٢٧,٦٩	٣٠,٦٠	٣٣,٢٥	٣٦,٠٨
٣٤,٠٠	١٧,٥٠	٢٣,٦٠	٢٧,٥٠	٣٠,٤٠	٣٣,٠٠	٣٥,٨٠
٣٤,٥٠	١٧,٣٨	٢٣,٤٣	٢٧,٣١	٣٠,٢٠	٣٢,٧٥	٣٥,٥٣

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٣٥,٠٠	١٧,٢٥	٢٣,٢٥	٢٧,١٣	٣٠,٠٠	٣٢,٥٠	٣٥,٢٥
٣٥,٥٠	١٧,١٣	٢٣,٠٨	٢٦,٩٤	٢٩,٨٠	٣٢,٢٥	٣٤,٩٨
٣٦,٠٠	١٧,٠٠	٢٢,٩٠	٢٦,٧٥	٢٩,٦٠	٣٢,٠٠	٣٤,٧٠
٣٦,٥٠	١٦,٨٨	٢٢,٧٣	٢٦,٥٦	٢٩,٤٠	٣١,٧٥	٣٤,٤٣
٣٧,٠٠	١٦,٧٥	٢٢,٥٥	٢٦,٣٨	٢٩,٢٠	٣١,٥٠	٣٤,١٥
٣٧,٥٠	١٦,٦٣	٢٢,٣٨	٢٦,١٩	٢٩,٠٠	٣١,٢٥	٣٣,٨٨
٣٨,٠٠	١٦,٥٠	٢٢,٢٠	٢٦,٠٠	٢٨,٨٠	٣١,٠٠	٣٣,٦٠
٣٨,٥٠	١٦,٣٨	٢٢,٠٣	٢٥,٨١	٢٨,٦٠	٣٠,٧٥	٣٣,٣٣
٣٩,٠٠	١٦,٢٥	٢١,٨٥	٢٥,٦٣	٢٨,٤٠	٣٠,٥٠	٣٣,٠٥
٣٩,٥٠	١٦,١٣	٢١,٦٨	٢٥,٤٤	٢٨,٢٠	٣٠,٢٥	٣٢,٧٨
٤٠,٠٠	١٦,٠٠	٢١,٥٠	٢٥,٢٥	٢٨,٠٠	٣٠,٠٠	٣٢,٥٠
٤٠,٥٠	١٥,٩٠	٢١,٣٩	٢٥,١١	٢٧,٨٥	٢٩,٨٥	٣٢,٣٤
٤١,٠٠	١٥,٨٠	٢١,٢٨	٢٤,٩٦	٢٧,٧٠	٢٩,٧٠	٣٢,١٨
٤١,٥٠	١٥,٧٠	٢١,١٦	٢٤,٨٢	٢٧,٥٥	٢٩,٥٥	٣٢,٠١
٤٢,٠٠	١٥,٦٠	٢١,٠٥	٢٤,٦٨	٢٧,٤٠	٢٩,٤٠	٣١,٨٥
٤٢,٥٠	١٥,٥٠	٢٠,٩٤	٢٤,٥٣	٢٧,٢٥	٢٩,٢٥	٣١,٦٩
٤٣,٠٠	١٥,٤٠	٢٠,٨٣	٢٤,٣٩	٢٧,١٠	٢٩,١٠	٣١,٥٣
٤٣,٥٠	١٥,٣٠	٢٠,٧١	٢٤,٢٤	٢٦,٩٥	٢٨,٩٥	٣١,٣٦
٤٤,٠٠	١٥,٢٠	٢٠,٦٠	٢٤,١٠	٢٦,٨٠	٢٨,٨٠	٣١,٢٠
٤٤,٥٠	١٥,١٠	٢٠,٤٩	٢٣,٩٦	٢٦,٦٥	٢٨,٦٥	٣١,٠٤
٤٥,٠٠	١٥,٠٠	٢٠,٣٨	٢٣,٨١	٢٦,٥٠	٢٨,٥٠	٣٠,٨٨
٤٥,٥٠	١٤,٩٠	٢٠,٢٦	٢٣,٦٧	٢٦,٣٥	٢٨,٣٥	٣٠,٧١
٤٦,٠٠	١٤,٨٠	٢٠,١٥	٢٣,٥٣	٢٦,٢٠	٢٨,٢٠	٣٠,٥٥
٤٦,٥٠	١٤,٧٠	٢٠,٠٤	٢٣,٣٨	٢٦,٠٥	٢٨,٠٥	٣٠,٣٩

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٤٧,٠٠	١٤,٦٠	١٩,٩٣	٢٣,٢٤	٢٥,٩٠	٢٧,٩٠	٣٠,٢٣
٤٧,٥٠	١٤,٥٠	١٩,٨١	٢٣,٠٩	٢٥,٧٥	٢٧,٧٥	٣٠,٠٦
٤٨,٠٠	١٤,٤٠	١٩,٧٠	٢٢,٩٥	٢٥,٦٠	٢٧,٦٠	٢٩,٩٠
٤٨,٥٠	١٤,٣٠	١٩,٥٩	٢٢,٨١	٢٥,٤٥	٢٧,٤٥	٢٩,٧٤
٤٩,٠٠	١٤,٢٠	١٩,٤٨	٢٢,٦٦	٢٥,٣٠	٢٧,٣٠	٢٩,٥٨
٤٩,٥٠	١٤,١٠	١٩,٣٦	٢٢,٥٢	٢٥,١٥	٢٧,١٥	٢٩,٤١
٥٠,٠٠	١٤,٠٠	١٩,٢٥	٢٢,٣٨	٢٥,٠٠	٢٧,٠٠	٢٩,٢٥
٥٠,٥٠	١٣,٩٣	١٩,١٤	٢٢,٢٦	٢٤,٩٠	٢٦,٨٥	٢٩,٠٩
٥١,٠٠	١٣,٨٥	١٩,٠٣	٢٢,١٤	٢٤,٨٠	٢٦,٧٠	٢٨,٩٣
٥١,٥٠	١٣,٧٨	١٨,٩١	٢٢,٠٢	٢٤,٧٠	٢٦,٥٥	٢٨,٧٦
٥٢,٠٠	١٣,٧٠	١٨,٨٠	٢١,٩٠	٢٤,٦٠	٢٦,٤٠	٢٨,٦٠
٥٢,٥٠	١٣,٦٣	١٨,٦٩	٢١,٧٨	٢٤,٥٠	٢٦,٢٥	٢٨,٤٤
٥٣,٠٠	١٣,٥٥	١٨,٥٨	٢١,٦٦	٢٤,٤٠	٢٦,١٠	٢٨,٢٨
٥٣,٥٠	١٣,٤٨	١٨,٤٦	٢١,٥٤	٢٤,٣٠	٢٥,٩٥	٢٨,١١
٥٤,٠٠	١٣,٤٠	١٨,٣٥	٢١,٤٣	٢٤,٢٠	٢٥,٨٠	٢٧,٩٥
٥٤,٥٠	١٣,٣٣	١٨,٢٤	٢١,٣١	٢٤,١٠	٢٥,٦٥	٢٧,٧٩
٥٥,٠٠	١٣,٢٥	١٨,١٣	٢١,١٩	٢٤,٠٠	٢٥,٥٠	٢٧,٦٣
٥٥,٥٠	١٣,١٨	١٨,٠١	٢١,٠٧	٢٣,٩٠	٢٥,٣٥	٢٧,٤٦
٥٦,٠٠	١٣,١٠	١٧,٩٠	٢٠,٩٥	٢٣,٨٠	٢٥,٢٠	٢٧,٣٠
٥٦,٥٠	١٣,٠٣	١٧,٧٩	٢٠,٨٣	٢٣,٧٠	٢٥,٠٥	٢٧,١٤
٥٧,٠٠	١٢,٩٥	١٧,٦٨	٢٠,٧١	٢٣,٦٠	٢٤,٩٠	٢٦,٩٧
٥٧,٥٠	١٢,٨٨	١٧,٥٦	٢٠,٥٩	٢٣,٥٠	٢٤,٧٥	٢٦,٨١
٥٨,٠٠	١٢,٨٠	١٧,٤٥	٢٠,٤٨	٢٣,٤٠	٢٤,٦٠	٢٦,٦٥
٥٨,٥٠	١٢,٧٣	١٧,٣٤	٢٠,٣٦	٢٣,٣٠	٢٤,٤٥	٢٦,٤٩

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٥٩,٠٠	١٢,٦٥	١٧,٢٣	٢٠,٢٤	٢٣,٢٠	٢٤,٣٠	٢٦,٣٢
٥٩,٥٠	١٢,٥٨	١٧,١١	٢٠,١٢	٢٣,١٠	٢٤,١٥	٢٦,١٦
٦٠,٠٠	١٢,٥٠	١٧,٠٠	٢٠,٠٠	٢٣,٠٠	٢٤,٠٠	٢٦,٠٠
٦٠,٥٠	١٢,٤٥	١٦,٩٣	١٩,٩٠	٢٢,٩١	٢٣,٩٠	٢٥,٨٩
٦١,٠٠	١٢,٤١	١٦,٨٧	١٩,٧٩	٢٢,٨١	٢٣,٨٠	٢٥,٧٨
٦١,٥٠	١٢,٣٦	١٦,٨٠	١٩,٦٩	٢٢,٧٢	٢٣,٧١	٢٥,٦٧
٦٢,٠٠	١٢,٣٢	١٦,٧٣	١٩,٥٨	٢٢,٦٢	٢٣,٦١	٢٥,٥٧
٦٢,٥٠	١٢,٢٧	١٦,٦٧	١٩,٤٨	٢٢,٥٢	٢٣,٥٢	٢٥,٤٦
٦٣,٠٠	١٢,٢٢	١٦,٦٠	١٩,٣٨	٢٢,٤٣	٢٣,٤٢	٢٥,٣٥
٦٣,٥٠	١٢,١٨	١٦,٥٣	١٩,٢٧	٢٢,٣٣	٢٣,٣٢	٢٥,٢٤
٦٤,٠٠	١٢,١٣	١٦,٤٦	١٩,١٧	٢٢,٢٤	٢٣,٢٣	٢٥,١٣
٦٤,٥٠	١٢,٠٩	١٦,٤٠	١٩,٠٦	٢٢,١٤	٢٣,١٣	٢٥,٠٢
٦٥,٠٠	١٢,٠٤	١٦,٣٣	١٨,٩٦	٢٢,٠٤	٢٣,٠٤	٢٤,٩٢
٦٥,٥٠	١١,٩٩	١٦,٢٦	١٨,٨٦	٢١,٩٥	٢٢,٩٤	٢٤,٨١
٦٦,٠٠	١١,٩٥	١٦,٢٠	١٨,٧٥	٢١,٨٥	٢٢,٨٤	٢٤,٧٠
٦٦,٥٠	١١,٩٠	١٦,١٣	١٨,٦٥	٢١,٧٥	٢٢,٧٥	٢٤,٥٩
٦٧,٠٠	١١,٨٦	١٦,٠٦	١٨,٥٤	٢١,٦٦	٢٢,٦٥	٢٤,٤٨
٦٧,٥٠	١١,٨١	١٦,٠٠	١٨,٤٤	٢١,٥٦	٢٢,٥٦	٢٤,٣٨
٦٨,٠٠	١١,٧٦	١٥,٩٣	١٨,٣٤	٢١,٤٧	٢٢,٤٦	٢٤,٢٧
٦٨,٥٠	١١,٧٢	١٥,٨٦	١٨,٢٣	٢١,٣٧	٢٢,٣٧	٢٤,١٦
٦٩,٠٠	١١,٦٧	١٥,٧٩	١٨,١٣	٢١,٢٧	٢٢,٢٧	٢٤,٠٥
٦٩,٥٠	١١,٦٣	١٥,٧٣	١٨,٠٢	٢١,١٨	٢٢,١٧	٢٣,٩٤
٧٠,٠٠	١١,٥٨	١٥,٦٦	١٧,٩٢	٢١,٠٨	٢٢,٠٨	٢٣,٨٣
٧٠,٥٠	١١,٥٣	١٥,٥٩	١٧,٨٤	٢٠,٩٩	٢١,٩٨	٢٣,٧٣

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٧١,٠٠	١١,٤٩	١٥,٥٣	١٧,٧٦	٢٠,٨٩	٢١,٨٩	٢٣,٦٢
٧١,٥٠	١١,٤٤	١٥,٤٦	١٧,٦٨	٢٠,٧٩	٢١,٧٩	٢٣,٥١
٧٢,٠٠	١١,٤٠	١٥,٣٩	١٧,٦٠	٢٠,٧٠	٢١,٦٩	٢٣,٤٠
٧٢,٥٠	١١,٣٥	١٥,٣٣	١٧,٥٢	٢٠,٦٠	٢١,٦٠	٢٣,٢٩
٧٣,٠٠	١١,٣٠	١٥,٢٦	١٧,٤٤	٢٠,٥١	٢١,٥٠	٢٣,١٨
٧٣,٥٠	١١,٢٦	١٥,١٩	١٧,٣٦	٢٠,٤١	٢١,٤١	٢٣,٠٧
٧٤,٠٠	١١,٢١	١٥,١٣	١٧,٢٨	٢٠,٣١	٢١,٣١	٢٢,٩٦
٧٤,٥٠	١١,١٧	١٥,٠٦	١٧,٢٠	٢٠,٢٢	٢١,٢١	٢٢,٨٦
٧٥,٠٠	١١,١٢	١٥,٠٠	١٧,١٣	٢٠,١٢	٢١,١٢	٢٢,٧٥
٧٥,٥٠	١١,٠٧	١٤,٩٣	١٧,٠٥	٢٠,٠٣	٢١,٠٢	٢٢,٦٤
٧٦,٠٠	١١,٠٣	١٤,٨٦	١٦,٩٧	١٩,٩٣	٢٠,٩٣	٢٢,٥٣
٧٦,٥٠	١٠,٩٨	١٤,٨٠	١٦,٨٩	١٩,٨٣	٢٠,٨٣	٢٢,٤٢
٧٧,٠٠	١٠,٩٤	١٤,٧٣	١٦,٨١	١٩,٧٤	٢٠,٧٤	٢٢,٣١
٧٧,٥٠	١٠,٨٩	١٤,٦٦	١٦,٧٣	١٩,٦٤	٢٠,٦٤	٢٢,٢٠
٧٨,٠٠	١٠,٨٤	١٤,٦٠	١٦,٦٥	١٩,٥٥	٢٠,٥٤	٢٢,١٠
٧٨,٥٠	١٠,٨٠	١٤,٥٣	١٦,٥٧	١٩,٤٥	٢٠,٤٥	٢١,٩٩
٧٩,٠٠	١٠,٧٥	١٤,٤٦	١٦,٤٩	١٩,٣٥	٢٠,٣٥	٢١,٨٨
٧٩,٥٠	١٠,٧١	١٤,٤٠	١٦,٤١	١٩,٢٦	٢٠,٢٦	٢١,٧٧
٨٠,٠٠	١٠,٦٦	١٤,٣٣	١٦,٣٣	١٩,١٦	٢٠,١٦	٢١,٦٦
٨٠,٥٠	١٠,٦١	١٤,٢٦	١٦,٢٥	١٩,٠٧	٢٠,٠٦	٢١,٥٥
٨١,٠٠	١٠,٥٧	١٤,٢٠	١٦,١٧	١٨,٩٧	١٩,٩٧	٢١,٤٤
٨١,٥٠	١٠,٥٢	١٤,١٣	١٦,٠٩	١٨,٨٨	١٩,٨٧	٢١,٣٤
٨٢,٠٠	١٠,٤٨	١٤,٠٦	١٦,٠١	١٨,٧٨	١٩,٧٨	٢١,٢٣
٨٢,٥٠	١٠,٤٣	١٤,٠٠	١٥,٩٤	١٨,٦٨	١٩,٦٨	٢١,١٢

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٨٣,٠٠	١٠,٣٩	١٣,٩٣	١٥,٨٦	١٨,٥٩	١٩,٥٩	٢١,٠١
٨٣,٥٠	١٠,٣٤	١٣,٨٦	١٥,٧٨	١٨,٤٩	١٩,٤٩	٢٠,٩٠
٨٤,٠٠	١٠,٣٠	١٣,٨٠	١٥,٧٠	١٨,٤٠	١٩,٤٠	٢٠,٨٠
٨٤,٥٠	١٠,٢٥	١٣,٧٣	١٥,٦٢	١٨,٣٠	١٩,٣٠	٢٠,٦٩
٨٥,٠٠	١٠,٢١	١٣,٦٧	١٥,٥٤	١٨,٢١	١٩,٢١	٢٠,٥٨
٨٥,٥٠	١٠,١٦	١٣,٦٠	١٥,٤٦	١٨,١١	١٩,١١	٢٠,٤٧
٨٦,٠٠	١٠,١١	١٣,٥٣	١٥,٣٨	١٨,٠١	١٩,٠١	٢٠,٣٦
٨٦,٥٠	١٠,٠٧	١٣,٤٧	١٥,٣٠	١٧,٩٢	١٨,٩٢	٢٠,٢٥
٨٧,٠٠	١٠,٠٢	١٣,٤٠	١٥,٢٢	١٧,٨٢	١٨,٨٢	٢٠,١٥
٨٧,٥٠	٩,٩٨	١٣,٣٣	١٥,١٥	١٧,٧٣	١٨,٧٣	٢٠,٠٤
٨٨,٠٠	٩,٩٣	١٣,٢٧	١٥,٠٧	١٧,٦٣	١٨,٦٣	١٩,٩٣
٨٨,٥٠	٩,٨٩	١٣,٢٠	١٤,٩٩	١٧,٥٤	١٨,٥٤	١٩,٨٢
٨٩,٠٠	٩,٨٤	١٣,١٣	١٤,٩١	١٧,٤٤	١٨,٤٤	١٩,٧١
٨٩,٥٠	٩,٨٠	١٣,٠٧	١٤,٨٣	١٧,٣٤	١٨,٣٥	١٩,٦١
٩٠,٠٠	٩,٧٥	١٣,٠٠	١٤,٧٥	١٧,٢٥	١٨,٢٥	١٩,٥٠
٩٠,٥٠	٩,٧٠	١٢,٩٣	١٤,٦٧	١٧,١٥	١٨,١٥	١٩,٣٩
٩١,٠٠	٩,٦٦	١٢,٨٧	١٤,٥٩	١٧,٠٦	١٨,٠٦	١٩,٢٨
٩١,٥٠	٩,٦١	١٢,٨٠	١٤,٥١	١٦,٩٦	١٧,٩٦	١٩,١٧
٩٢,٠٠	٩,٥٧	١٢,٧٣	١٤,٤٣	١٦,٨٦	١٧,٨٧	١٩,٠٦
٩٢,٥٠	٩,٥٢	١٢,٦٧	١٤,٣٥	١٦,٧٧	١٧,٧٧	١٨,٩٦
٩٣,٠٠	٩,٤٧	١٢,٦٠	١٤,٢٧	١٦,٦٧	١٧,٦٧	١٨,٨٥
٩٣,٥٠	٩,٤٣	١٢,٥٣	١٤,١٩	١٦,٥٨	١٧,٥٨	١٨,٧٤
٩٤,٠٠	٩,٣٨	١٢,٤٦	١٤,١١	١٦,٤٨	١٧,٤٨	١٨,٦٣
٩٤,٥٠	٩,٣٤	١٢,٤٠	١٤,٠٣	١٦,٣٨	١٧,٣٩	١٨,٥٢

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
٩٥,٠٠	٩,٢٩	١٢,٣٣	١٣,٩٦	١٦,٢٩	١٧,٢٩	١٨,٤٢
٩٥,٥٠	٩,٢٤	١٢,٢٦	١٣,٨٨	١٦,١٩	١٧,٢٠	١٨,٣١
٩٦,٠٠	٩,٢٠	١٢,٢٠	١٣,٨٠	١٦,١٠	١٧,١٠	١٨,٢٠
٩٦,٥٠	٩,١٥	١٢,١٣	١٣,٧٢	١٦,٠٠	١٧,٠٠	١٨,٠٩
٩٧,٠٠	٩,١١	١٢,٠٦	١٣,٦٤	١٥,٩٠	١٦,٩١	١٧,٩٨
٩٧,٥٠	٩,٠٦	١٢,٠٠	١٣,٥٦	١٥,٨١	١٦,٨١	١٧,٨٧
٩٨,٠٠	٩,٠١	١١,٩٣	١٣,٤٨	١٥,٧١	١٦,٧٢	١٧,٧٧
٩٨,٥٠	٨,٩٧	١١,٨٦	١٣,٤٠	١٥,٦٢	١٦,٦٢	١٧,٦٦
٩٩,٠٠	٨,٩٢	١١,٧٩	١٣,٣٢	١٥,٥٢	١٦,٥٢	١٧,٥٥
٩٩,٥٠	٨,٨٨	١١,٧٣	١٣,٢٤	١٥,٤٢	١٦,٤٣	١٧,٤٤
١٠٠,٠٠	٨,٨٣	١١,٦٦	١٣,١٦	١٥,٣٣	١٦,٣٣	١٧,٣٣
١٠٠,٥٠	٨,٧٨	١١,٥٩	١٣,٠٨	١٥,٢٣	١٦,٢٤	١٧,٢٢
١٠١,٠٠	٨,٧٤	١١,٥٣	١٣,٠٠	١٥,١٤	١٦,١٤	١٧,١٢
١٠١,٥٠	٨,٦٩	١١,٤٦	١٢,٩٢	١٥,٠٤	١٦,٠٥	١٧,٠١
١٠٢,٠٠	٨,٦٥	١١,٣٩	١٢,٨٤	١٤,٩٤	١٥,٩٥	١٦,٩٠
١٠٢,٥٠	٨,٦٠	١١,٣٣	١٢,٧٧	١٤,٨٥	١٥,٨٦	١٦,٧٩
١٠٣,٠٠	٨,٥٦	١١,٢٦	١٢,٦٩	١٤,٧٥	١٥,٧٦	١٦,٦٨
١٠٣,٥٠	٨,٥١	١١,١٩	١٢,٦١	١٤,٦٦	١٥,٦٦	١٦,٥٧
١٠٤,٠٠	٨,٤٧	١١,١٣	١٢,٥٣	١٤,٥٦	١٥,٥٧	١٦,٤٧
١٠٤,٥٠	٨,٤٢	١١,٠٦	١٢,٤٥	١٤,٤٧	١٥,٤٧	١٦,٣٦
١٠٥,٠٠	٨,٣٨	١١,٠٠	١٢,٣٧	١٤,٣٧	١٥,٣٨	١٦,٢٥
١٠٥,٥٠	٨,٣٣	١٠,٩٣	١٢,٢٩	١٤,٢٨	١٥,٢٨	١٦,١٤
١٠٦,٠٠	٨,٢٨	١٠,٨٦	١٢,٢١	١٤,١٨	١٥,١٩	١٦,٠٣
١٠٦,٥٠	٨,٢٤	١٠,٨٠	١٢,١٣	١٤,٠٩	١٥,٠٩	١٥,٩٢

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
١٠٧,٠٠	٨,١٩	١٠,٧٣	١٢,٠٥	١٣,٩٩	١٥,٠٠	١٥,٨١
١٠٧,٥٠	٨,١٥	١٠,٦٦	١١,٩٨	١٣,٨٩	١٤,٩٠	١٥,٧١
١٠٨,٠٠	٨,١٠	١٠,٦٠	١١,٩٠	١٣,٨٠	١٤,٨١	١٥,٦٠
١٠٨,٥٠	٨,٠٦	١٠,٥٣	١١,٨٢	١٣,٧٠	١٤,٧١	١٥,٤٩
١٠٩,٠٠	٨,٠١	١٠,٤٦	١١,٧٤	١٣,٦١	١٤,٦٢	١٥,٣٨
١٠٩,٥٠	٧,٩٧	١٠,٤٠	١١,٦٦	١٣,٥١	١٤,٥٢	١٥,٢٧
١١٠,٠٠	٧,٩٢	١٠,٣٣	١١,٥٨	١٣,٤٢	١٤,٤٢	١٥,١٦
١١٠,٥٠	٧,٨٧	١٠,٢٦	١١,٥٠	١٣,٣٢	١٤,٣٣	١٥,٠٨
١١١,٠٠	٧,٨٣	١٠,٢٠	١١,٤٢	١٣,٢٣	١٤,٢٣	١٥,٠٠
١١١,٥٠	٧,٧٨	١٠,١٣	١١,٣٤	١٣,١٣	١٤,١٤	١٤,٩١
١١٢,٠٠	٧,٧٤	١٠,٠٦	١١,٢٦	١٣,٠٣	١٤,٠٤	١٤,٨٣
١١٢,٥٠	٧,٦٩	١٠,٠٠	١١,١٩	١٢,٩٤	١٣,٩٤	١٤,٧٥
١١٣,٠٠	٧,٦٤	٩,٩٣	١١,١١	١٢,٨٤	١٣,٨٥	١٤,٦٧
١١٣,٥٠	٧,٦٠	٩,٨٦	١١,٠٣	١٢,٧٥	١٣,٧٥	١٤,٥٨
١١٤,٠٠	٧,٥٥	٩,٨٠	١٠,٩٥	١٢,٦٥	١٣,٦٦	١٤,٥٠
١١٤,٥٠	٧,٥١	٩,٧٣	١٠,٨٧	١٢,٥٥	١٣,٥٦	١٤,٤٢
١١٥,٠٠	٧,٤٦	٩,٦٧	١٠,٧٩	١٢,٤٦	١٣,٤٦	١٤,٣٣
١١٥,٥٠	٧,٤١	٩,٦٠	١٠,٧١	١٢,٣٦	١٣,٣٧	١٤,٢٥
١١٦,٠٠	٧,٣٧	٩,٥٣	١٠,٦٣	١٢,٢٧	١٣,٢٧	١٤,١٧
١١٦,٥٠	٧,٣٢	٩,٤٧	١٠,٥٥	١٢,١٧	١٣,١٨	١٤,٠٨
١١٧,٠٠	٧,٢٨	٩,٤٠	١٠,٤٧	١٢,٠٨	١٣,٠٨	١٤,٠٠
١١٧,٥٠	٧,٢٣	٩,٣٣	١٠,٤٠	١١,٩٨	١٢,٩٨	١٣,٩٢
١١٨,٠٠	٧,١٨	٩,٢٧	١٠,٣٢	١١,٨٨	١٢,٨٩	١٣,٨٤
١١٨,٥٠	٧,١٤	٩,٢٠	١٠,٢٤	١١,٧٩	١٢,٧٩	١٣,٧٥

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
١١٩,٠٠	٧,٠٩	٩,١٣	١٠,١٦	١١,٦٩	١٢,٧٠	١٣,٦٧
١١٩,٥٠	٧,٠٥	٩,٠٧	١٠,٠٨	١١,٦٠	١٢,٦٠	١٣,٥٩
١٢٠,٠	٧,٠٠	٩,٠٠	١٠,٠٠	١١,٥٠	١٢,٥٠	١٣,٥٠
١٢١,٠	٦,٩٨	٨,٩٧	٩,٩٧	١١,٤٧	١٢,٤٧	١٣,٤٧
١٢٢,٠	٦,٩٧	٨,٩٤	٩,٩٤	١١,٤٣	١٢,٤٤	١٣,٤٤
١٢٣,٠	٦,٩٥	٨,٩٢	٩,٩٢	١١,٤٠	١٢,٤٠	١٣,٤١
١٢٤,٠	٦,٩٣	٨,٨٩	٩,٨٩	١١,٣٧	١٢,٣٧	١٣,٣٨
١٢٥,٠	٦,٩٢	٨,٨٦	٩,٨٦	١١,٣٣	١٢,٣٣	١٣,٣٤
١٢٦,٠	٦,٩٠	٨,٨٣	٩,٨٣	١١,٣٠	١٢,٣٠	١٣,٣١
١٢٧,٠	٦,٨٨	٨,٨٠	٩,٨٠	١١,٢٧	١٢,٢٧	١٣,٢٨
١٢٨,٠	٦,٨٧	٨,٧٧	٩,٧٧	١١,٢٣	١٢,٢٣	١٣,٢٥
١٢٩,٠	٦,٨٥	٨,٧٥	٩,٧٥	١١,٢٠	١٢,٢٠	١٣,٢٢
١٣٠,٠	٦,٨٣	٨,٧٢	٩,٧٢	١١,١٧	١٢,٢٠	١٣,١٨
١٣١,٠	٦,٨٢	٨,٦٩	٩,٦٩	١١,١٣	١٢,١٣	١٣,١٥
١٣٢,٠	٦,٨٠	٨,٦٦	٩,٦٦	١١,١٠	١٢,١٠	١٣,١٢
١٣٣,٠	٦,٧٨	٨,٦٣	٩,٦٣	١١,٠٧	١٢,٠٦	١٣,٠٩
١٣٤,٠	٦,٧٧	٨,٦٠	٩,٦٠	١١,٠٣	١٢,٠٣	١٣,٠٦
١٣٥,٠	٦,٧٥	٨,٥٨	٩,٥٨	١١,٠٠	١١,٩٩	١٣,٠٣
١٣٦,٠	٦,٧٣	٨,٥٥	٩,٥٥	١٠,٩٧	١١,٩٦	١٢,٩٩
١٣٧,٠	٦,٧٢	٨,٥٢	٩,٥٢	١٠,٩٣	١١,٩٣	١٢,٩٦
١٣٨,٠	٦,٧٠	٨,٤٩	٩,٤٩	١٠,٩٠	١١,٨٩	١٢,٩٣
١٣٩,٠	٦,٦٨	٨,٤٦	٩,٤٦	١٠,٨٧	١١,٨٦	١٢,٩٠
١٤٠,٠	٦,٦٧	٨,٤٣	٩,٤٣	١٠,٨٣	١١,٩٠	١٢,٨٧
١٤١,٠	٦,٦٥	٨,٤١	٩,٤١	١٠,٨٠	١١,٧٩	١٢,٨٤

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
١٤٢,٠	٦,٦٣	٨,٣٨	٩,٣٨	١٠,٧٧	١١,٧٦	١٢,٨٠
١٤٣,٠	٦,٦٢	٨,٣٥	٩,٣٥	١٠,٧٣	١١,٧٢	١٢,٧٧
١٤٤,٠	٦,٦٠	٨,٣٢	٩,٣٢	١٠,٧٠	١١,٦٩	١٢,٧٤
١٤٥,٠	٦,٥٨	٨,٢٩	٩,٢٩	١٠,٦٧	١١,٦٥	١٢,٧١
١٤٦,٠	٦,٥٧	٨,٢٦	٩,٢٦	١٠,٦٣	١١,٦٢	١٢,٦٨
١٤٧,٠	٦,٥٥	٨,٢٤	٩,٢٤	١٠,٦٠	١١,٥٩	١٢,٦٥
١٤٨,٠	٦,٥٣	٨,٢١	٩,٢١	١٠,٥٧	١١,٥٥	١٢,٦١
١٤٩,٠	٦,٥٢	٨,١٨	٩,١٨	١٠,٥٣	١١,٥٢	١٢,٥٨
١٥٠,٠	٦,٥٠	٨,١٥	٩,١٥	١٠,٥٠	١١,٦٠	١٢,٥٥
١٥١,٠	٦,٤٨	٨,١٢	٩,١٢	١٠,٤٧	١١,٤٥	١٢,٥٢
١٥٢,٠	٦,٤٧	٨,٠٩	٩,٠٩	١٠,٤٣	١١,٤١	١٢,٤٩
١٥٣,٠	٦,٤٥	٨,٠٧	٩,٠٧	١٠,٤٠	١١,٣٨	١٢,٤٥
١٥٤,٠	٦,٤٣	٨,٠٤	٩,٠٤	١٠,٣٧	١١,٣٥	١٢,٤٢
١٥٥,٠	٦,٤٢	٨,٠١	٩,٠١	١٠,٣٣	١١,٣١	١٢,٣٩
١٥٦,٠	٦,٤٠	٧,٩٨	٨,٩٨	١٠,٣٠	١١,٢٨	١٢,٣٦
١٥٧,٠	٦,٣٨	٧,٩٥	٨,٩٥	١٠,٢٧	١١,٢٤	١٢,٣٣
١٥٨,٠	٦,٣٧	٧,٩٢	٨,٩٢	١٠,٢٣	١١,٢١	١٢,٣٠
١٥٩,٠	٦,٣٥	٧,٩٠	٨,٩٠	١٠,٢٠	١١,١٨	١٢,٢٦
١٦٠,٠	٦,٣٣	٧,٨٧	٨,٨٧	١٠,٢٠	١١,٣٠	١٢,٢٣
١٦١,٠	٦,٣٢	٧,٨٤	٨,٨٤	١٠,١٣	١١,١١	١٢,٢٠
١٦٢,٠	٦,٣٠	٧,٨١	٨,٨١	١٠,١٠	١١,٠٧	١٢,١٧
١٦٣,٠	٦,٢٨	٧,٧٨	٨,٧٨	١٠,٠٧	١١,٠٤	١٢,١٤
١٦٤,٠	٦,٢٧	٧,٧٥	٨,٧٥	١٠,٠٣	١١,٠١	١٢,١١
١٦٥,٠	٦,٢٥	٧,٧٣	٨,٧٣	١٠,٠٠	١٠,٩٧	١٢,٠٧

تابع جدول (٢ـ ٥) الصورة الرقمية لمنحنى الهطول (IDF) لمدينة الرياض (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

زمن التركيز (دقيقة)	الزمن الترددي (سنة)					
	٢	٥	١٠	٢٥	٥٠	١٠٠
١٦٦,٠	٦,٢٣	٧,٧٠	٨,٧٠	٩,٩٧	١٠,٩٤	١٢,٠٤
١٦٧,٠	٦,٢٢	٧,٦٧	٨,٦٧	٩,٩٣	١٠,٩٠	١٢,٠١
١٦٨,٠	٦,٢٠	٧,٦٤	٨,٦٤	٩,٩٠	١٠,٨٧	١١,٩٨
١٦٩,٠	٦,١٨	٧,٦١	٨,٦١	٩,٨٧	١٠,٨٤	١١,٩٥
١٧٠,٠	٦,١٧	٧,٥٨	٨,٥٨	٩,٨٣	١١,٠٠	١١,٩٢
١٧١,٠	٦,١٥	٧,٥٦	٨,٥٦	٩,٨٠	١٠,٧٧	١١,٨٨
١٧٢,٠	٦,١٣	٧,٥٣	٨,٥٣	٩,٧٧	١٠,٧٣	١١,٨٥
١٧٣,٠	٦,١٢	٧,٥٠	٨,٥٠	٩,٧٣	١٠,٧٠	١١,٨٢
١٧٤,٠	٦,١٠	٧,٤٧	٨,٤٧	٩,٧٠	١٠,٦٧	١١,٧٩
١٧٥,٠	٦,٠٨	٧,٤٤	٨,٤٤	٩,٦٧	١٠,٦٣	١١,٧٦
١٧٦,٠	٦,٠٧	٧,٤١	٨,٤١	٩,٦٣	١٠,٦٠	١١,٧٢
١٧٧,٠	٦,٠٥	٧,٣٩	٨,٣٩	٩,٦٠	١٠,٥٦	١١,٦٩
١٧٨,٠	٦,٠٣	٧,٣٦	٨,٣٦	٩,٥٧	١٠,٥٣	١١,٦٦
١٧٩,٠	٦,٠٢	٧,٣٣	٨,٣٣	٩,٥٣	١٠,٥٠	١١,٦٣
١٨٠,٠	٦,٠٠	٧,٣٠	٨,٣٠	٩,٥٠	١٠,٤٦	١١,٦٠

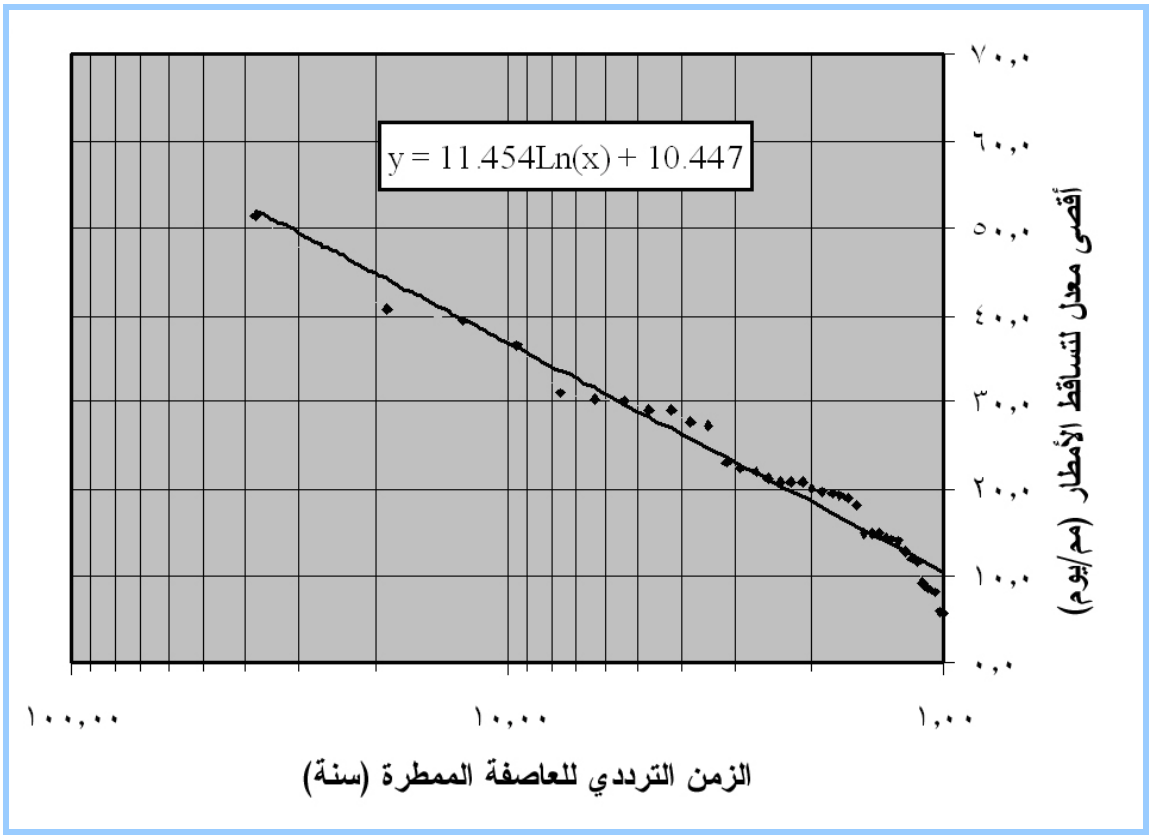
٢ـ٣ـ٣ـ٤ التغيرات المناخية بعد عام ٢٠٠٠م وأثرها على منحنى الهطول :

جرى العرف بين أهل الإختصاص على ضرورة تحديث منحنيات الهطول التصميمية لمنطقةٍ ما (IDF-Curves) كلما استدعى الأمر ذلك ، وعادةً ما يتم ذلك بعد مرور فترة زمنية تقدر بنحو من ١٠ سنوات إلى ٢٠ سنة ، ويتوقف ذلك على العوامل التالية :

- وفرة بيانات الأمطار التي تم رصدها في الحقب الزمنية السابقة .
- دقة قياس أعماق الأمطار في محطات الرصد المعتمدة في الحقب الزمنية السابقة .
- كفاية وجودة تمثيل محطات رصد وقياس الأمطار للمنطقة .
- التغيرات المناخية التي تعتري منطقة الدراسة ومدى التباين الملحوظ في معدل تساقط الأمطار من سنة إلى أخرى في السنوات الأخيرة للدراسة .

ولدراسة مدى التغيرات التي طرأت على معدلات تساقط الأمطار على مدينة الرياض بعد عام ٢٠٠٠م وحتى عام ٢٠١٠م ، فقد تم حساب أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على المدينة في الفترة الزمنية (١٩٦٣م -٢٠٠٠م) فقط باستخدام المعادلة (٢ -١) ، وتم تمثيل هذه النتائج بيانياً كما هو مبين بالشكل (٢ -٥) ، والمعادلة رقم (٢ -٣) تمثل العلاقة بين الفترة التكرارية **(Recurrence Interval)** وأقصى عمق مطر يومي **(Maximum Daily Rainfall Depth)** في الفترة (١٩٦٣م – ٢٠٠٠م) وصورتها هي :

$$y = 11.454 \times Ln(x) + 10.447 \ , \qquad R^2 = 0.9615 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(2-3)}$$



شكل (٢ـ ٥) أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض في الفترة (١٩٦٣م ـ ٢٠٠٠م)

وتم استخدام المعادلة رقم (٢ -٣) في حساب أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض للفترات التكرارية القياسية في الفترة الزمنية (١٩٦٣م – ٢٠٠٠م) كما هو مبين بالجدول رقم (٢ -٦) .

جدول (٢- ٦) أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض (١٩٦٣م - ٢٠٠٠م)

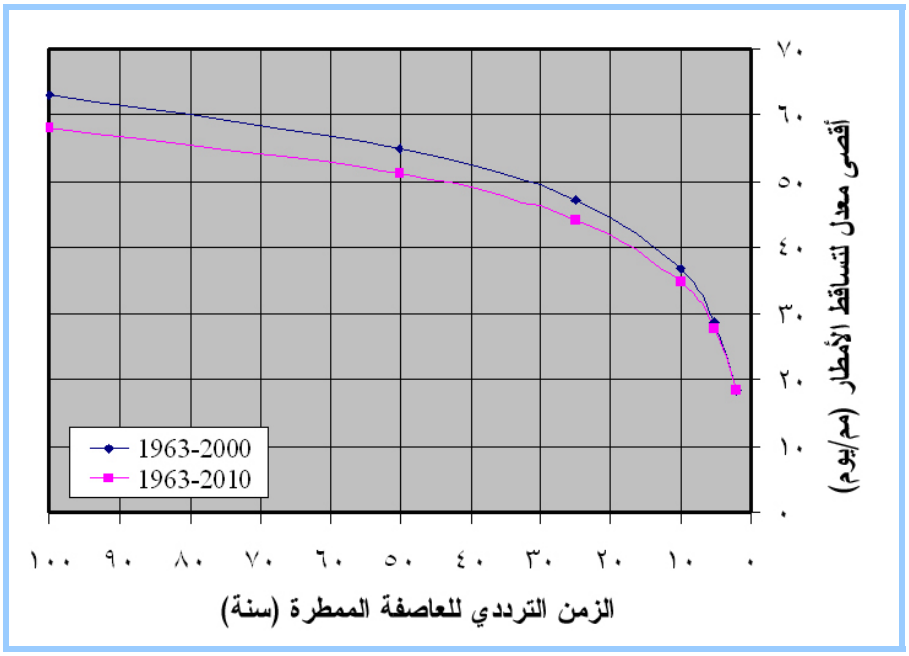
الفترة التكرارية (سنة)	أقصى معدل لتساقط الأمطار (مم/يوم)
٢	١٨,٤
٥	٢٨,٩
١٠	٣٦,٨
٢٥	٤٧,٣
٥٠	٥٥,٣
١٠٠	٦٣,٢

والشكل رقم (٢ -٦) يوضح مقارنة بين منحنى أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض للفترات التكرارية القياسية في الفترة الزمنية (١٩٦٣م – ٢٠٠٠م) والفترة الزمنية (١٩٦٣م – ٢٠١٠م) ومدى الفرق بينهما ، ويمكن استخلاص النتائج التالية :

١ - يتبين أن أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض قد قل بعد عام ٢٠٠٠م وحتى عام ٢٠١٠م بنسبة حوالي ٥٪ .

٢ - لا يوجد تفاوت ملحوظ في معدل سقوط الأمطار في الفترة الأخيرة أي ما بعد سنة ٢٠٠٠ م وحتى ٢٠١٠م، كما هو واضح بالجدول رقم (٢ -٢) ، وأن أقصى عمق للمطر تم رصده هو ٢٩,١٠ مم/يوم وحدث ذلك عام ٢٠٠٣ م وهو أقل من ما تم رصده من قبل في الفترة السابقة لسنة ٢٠٠٠ م وهو ٥١,٥ مم/يوم الذي حدث عام ١٩٦٤م .

٣ - كذلك نجد أنه تم استنتاج منحنى الهطول الخاص بمدينة الرياض بناءً على بيانات تم رصدها بمحطات رصد منتشرة في أنحاء مختلفة من المدينة وعبر فترة زمنية ليست بالقصيرة بدأت من أوائل ستينيات القرن الميلادي الماضي ١٩٦٣م حتى نهاية القرن أي سنة ٢٠٠٠م أي نحو أربعين عاماً .



شكل (٢-٦) مقارنة بين أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض للفترات الزمنية (١٩٦٣م - ٢٠٠٠م) ، (١٩٦٣م - ٢٠١٠م)

ومن دراسة التغيرات المناخية بعد عام ٢٠٠٠م وأثرها على كل من منحنى الهطول و أقصى عمق للمطر اليومي ،نستخلص توصيات مهمة وهي :

١ - الإبقاء على منحنى الهطول التصميمي الذي سبق إستخلاصه للمدينة بناءً على سجلات تساقط الأمطار في الفترة الزمنية (١٩٦٣م -٢٠٠٠م) والموضح بالشكل (٢ -٤) والمعمول به حالياً في النواحي التصميمية لشبكات تصريف السيول بمدينة الرياض ، وذلك مراعاةً لعاملين مهمين :

أ - عامل الأمان أثناء التصميم ، وذلك أن إدخال بيانات تساقط الأمطار في الفترة الزمنية بعد عام ٢٠٠٠م حتى عام ٢٠١٠م سوف يقلل من المعدلات التصميمية لتساقط الأمطار بمنحنى الهطول بنسبة ٥٪ .

ب - وتحسباً للتغيرات المناخية الحادة التي يشهدها العالم في الآونة الأخيرة – التي يصعب التكهن بها في الوقت الراهن - من جهةٍ أخرى .

٢ - بالنسبة لأغراض التصميم الهيدرولوجي لشبكات تصريف مياه السيول ومنشآت الحماية منها بمدينة الرياض ، يتم استخدام منحنى الهطول الحالي الموضح بالشكل (٢ -٤) والجدول رقم (٢ - ٥) ويعتبر ذلك كافياً .

٣ - ضرورة تحديث منحنى الهطول في المستقبل القريب أي في عام ١٤٤٢هـ الموافق لـ ٢٠٢٠م حتى تتوفر بيانات كافية ودقيقة وملحوظة لعملية التحديث .

٤ - البدء فوراً في تجميع البيانات الضرورية الخاصة بتساقط الأمطار واللازمة لتحديث منحنى هطول الأمطار على مدينة الرياض من محطات الرصد المختلفة وبالدقة المطلوبة .

٢-٣-٣-٥ الفترة التكرارية للعاصفة التصميمية (Frequency Period) :

يمكن تعريف الزمن الترددي **Frequency Period** أو الفترة التكرارية **Recurrence Interval** لعاصفة ممطرة بأنها الفترة الزمنية اللازمة لاحتمال تكرار العاصفة الممطرة بنفس الشدة على نفس المنطقة ، ومما هو جدير بالذكر أن احتمال حدوث عاصفة ممطرةٍ ما بشدة معينة إنما يعتمد على التحليل الإحصائي لسجلات العواصف الممطرة التي حدثت وتم تسجيلها بذات المنطقة أو بمناطق أخرى شبيهة لها في الظروف المناخية والتضاريس ونحو ذلك .

وبشكل أوضح يمكن تعريف الزمن الترددي المتوقع لعاصفة ممطرة بأنه مقلوب نسبة احتمال حدوثها ، وكمثال رقمي إذا كانت نسبة احتمال حدوث عاصفة ما هي ٥٠٪ كل سنة فإن الفترة التكرارية أو الزمن الترددي لحدوث هذه العاصفة سيكون كل سنتين ، وإذا كان نسبة احتمال حدوث عاصفة ما هي واحد في المائة ١٪ كل سنة فإن الفترة التكرارية أو الزمن الترددي لحدوث هذه العاصفة سيكون كل ١٠٠ سنة وهكذا ، والجدول رقم (٢ -٧) يبين العلاقة بين الفترة التكرارية واحتمال حدوث العاصفة .

وعند تصميم أي عنصر من العناصر المكونة لشبكات تصريف مياه السيول أو منشآت الحماية منها ودرء أخطارها فليس من المنطق ولا من الضروري – من الناحية الإقتصادية – أن يتم تصميمه لأقصى عاصفة ممطرة متوقع حدوثها في المستقبل بمنطقة الدراسة وإلا أدى ذلك إلى كبر حجم الشبكة من ناحية وزيادة تكلفة الإنشاء زيادةً كبيرة تعجز الكثير من الدول عن الوفاء بها من ناحيةٍ أخرى حيث تتناسب شدة العاصفة تناسباً طردياً مع الفترة التكرارية التصميمية .

جدول (٢– ٧) العلاقة بين احتمال حدوث العاصفة والزمن الترددي لها

إحتمال حدوث العاصفة (٪)	الفترة التكرارية أو الزمن الترددي للعاصفة (سنة)
٪٥٠	٢
٪٢٠	٥
٪١٠	١٠
٪٤	٢٥
٪٢	٥٠
٪١	١٠٠

ولذا يجب تحديد الفترة التكرارية أو الزمن الترددي للعاصفة الممطرة التي سيتم تصميم المنشأ أو الشبكة وفقاً لشدتها وذلك بناءاً على العوامل التالية :

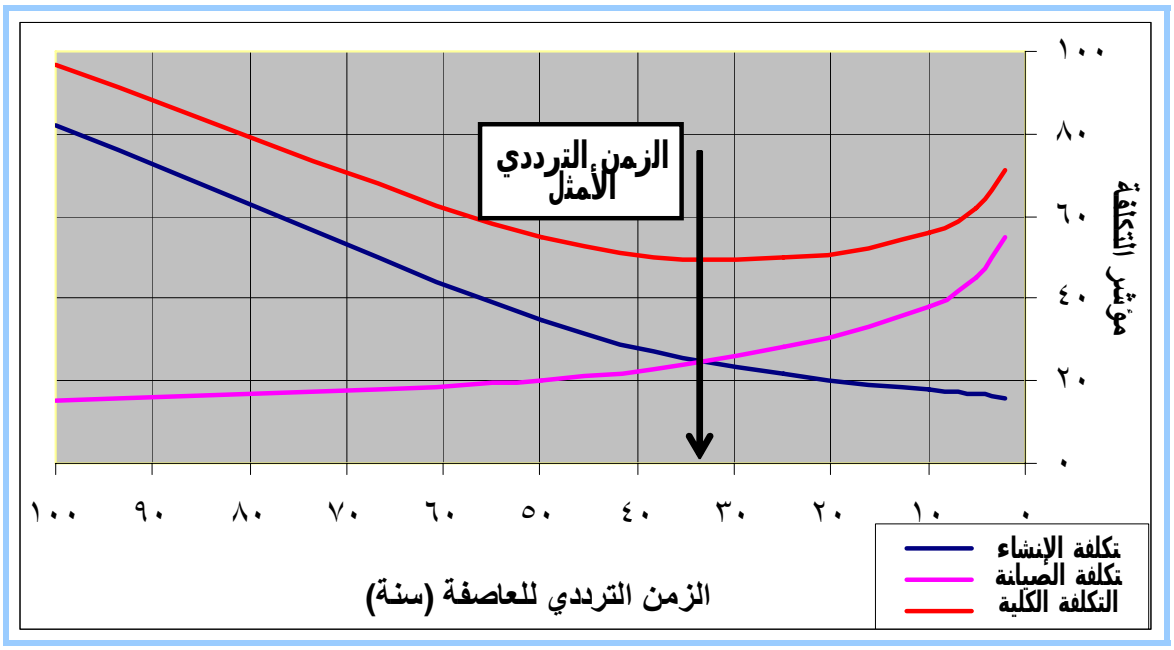
١ - أهمية المنشأ أو الشبكة (استراتيجي ، حيوي ، ثانوي ، له بدائل) .

٢ - وفرة السيولة النقدية اللازمة لتغطية تكاليف الإنشاء .

٣ - التطوير العمراني للمنطقة التي سوف يخدمها هذا المنشأ أو الشبكة في المستقبل .

كما أنه يجب إعتماد التصميم الأمثل من الناحية الإقتصادية والعملية وذلك بالمقاربة بين تكاليف الإنشاء وتكاليف الصيانة الدورية والتشغيل ، حيث أن تصميم المنشأ وفقاً لزمن ترددي أقل معناه أن حجم الشبكة أو المنشأ سوف يقل وبالتالي سوف تقل تكلفة الإنشاء **Capital Costs** بينما تكاليف التشغيل وأعمال الصيانة الدورية **Operational Costs** للشبكة سوف تزداد مع الوقت والعكس صحيح .

ومما لا شك فيه أن تحديد الزمن الترددي الأمثل ليس قيمة ثابتة لكل المناطق والبلدان بل يختلف من بلد لآخر ومن مكان لآخر بحسب طريقة الإنشاء وتكاليف مواد البناء المستخدمة وأسلوب الصيانة المتبع وتكاليفه ، بل ويختلف أيضاً بعامل الزمن لاختلاف أسعار المواد الأولية للإنشاء من وقت لآخر ، والشكل رقم (٢ -٧) يبين العلاقة بين تكلفة الإنشاء وتكاليف الصيانة والتشغيل لبدائل مختلفة من الزمن الترددي للعاصفة التصميمية .



شكل (٢-٧) العلاقة بين تكلفة الإنشاء وتكاليف الصيانة

ويجب القبو ل بشيءٍ من المخاطرة عند القيام بتصميم أي عنصر من العناصر المكونة لشبكات تصريف مياه السيول أو منشآت الحماية ، وقد تزيد نسبة هذه المخاطرة أو تقل حسب اختيار الزمن الترددي الذي سيتم التصميم عليه ، وليكن معلوماً أنه قد يحدث في المستقبل أن تأتي عاصفة ممطرة بشدة أكبر من التي تم التصميم عليها ومن تلك التي يمكن للشبكة أو للمنشأ استيعابها ، وبناءاً على ذلك ستكون النتيجة :

أ - أن الشبكة سوف تكون قادرة على أداء وظيفتها بكفاءة عالية في حال العواصف الممطرة ذات الزمن الترددي الأقل من الزمن الترددي التصميمي .

ب - أن الشبكة سوف تكون قادرة على أداء وظيفتها بكفاءة مقبولة في حال العواصف الممطرة ذات الزمن الترددي التصميمي .

ج - أما في حال العواصف الممطرة ذات زمن ترددي أكبر من الزمن الترددي التصميمي فسوف تكون الشبكة قادرة على أداء وظيفتها بكفاءة محدودة مع وجود بعض المخاطر المحسوبة والمتوقعة سلفاً والتي يمكن معالجتها والسيطرة عليها ، وفي هذه الحالة يمكن قبول أن يرتفع منسوب المياه في غرف التفتيش والشوارع المحيطة بخط تصريف السيول وبالذات بالأحباس المبكرة منه بحيث لا يزيد عمق المياه عن ٢٠ سنتيمتر فوق أقل منسوب سطح الطريق بحيث لا تغمر المياه أعتاب المنازل التي عادةً ما يعلو منسوبها منسوب سطح جوانب الطريق بحوالي ٢٠ سنتيمتر .

والطريقة التقليدية لتحديد الزمن الترددي للعاصفة التصميمية أن يتم اقتراح جداول مرجعية يتم وضعها بناءاً على العوامل الثلاثة السابق ذكرها ووفقاً للظروف الإقتصادية لكل مدينة والميزانية المخصصة لتصريف السيول بها ، والجداول أرقام (٢ -٨) ، (٢ -٩) تبين الفترة التكرارية التصميمية مقابل العناصر المختلفة لشبكات تصريف السيول ومنشآت الحماية من أخطارها ومساحة أحواض الصرف لخطوط تصريف السيول ، ويجب اختيار الفترة التكرارية الأكبر منهما .

جدول (٢ـ ٨) الفترات التكرارية التصميمية لمدينة الرياض طبقاً لعناصر المشروع

العنصر	الفترة التكرارية (سنة)
(أ) مصائد الأمطار	٢ ـ ٥
(ب) شبكات تصريف السيول	
١. للطرق السريعة الحرة	٥٠ ـ ١٠٠
٢. للطرق الداخلية للمدن	٢٥ ـ ٥٠
٣. للمدن (شبكة صندوقية داخلية)	١٠ ـ ٢٥
٤. للمدن (شبكة أنبوبية)	٥ ـ ١٠
(ج) القنوات المفتوحة الناقلة	٥٠ ـ ١٠٠
(د) العبارات والجسور (الكباري)	
١. للطرق المتقاطعة مع الأودية الرئيسية	٥٠ — ١٠٠
٢. للطرق السريعة الحرة	٢٥ — ٥٠
٣. للطرق الداخلية للمدن	٢٥ — ٥٠
٤. للطرق الفرعية	١٠ — ٢٥
(د) السدود	٥٠ — ١٠٠

جدول (٢ـ ٩) الفترات التكرارية التصميمية لمدينة الرياض طبقاً لمساحة المشروع

مساحة المشروع (هكتار)	الفترة التكرارية التصميمية (سنة)
أقل من ١٠٠	٥
من ١٠٠ إلى ١٠٠٠	١٠
من ١٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠	٢٥
من ١٠,٠٠٠ إلى ١٠٠,٠٠٠	٥٠
أكبر من ١٠٠,٠٠٠	١٠٠

٢ـ٤ المعادلات التطبيقية لحساب زمن التركيز :

يُعَرَّف زمن تركيز الحوض **Time of Concentration** بأنه "الزمن اللازم لأن تتجمع مياه الأمطار المتساقطة على سطح الحوض حتى تصل إلى مداخل مصائد الأمطار أو غرف التفتيش أو مباشرة في الأودية والشعاب أو عند النقطة التي يتم التصميم عندها على طول خط تصريف السيول" ، ويختلف زمن وصول مياه السيول إلى مداخل مصائد الأمطار من نقطة إلى أخرى على سطح حوض الصرف ، فكلما كانت النقطة قريبة كان وصولها أسرع ، وكلما كان انحدار مسار المياه شديداً كان زمن الوصول أقل وهكذا ، وهناك العديد من العوامل التي تؤثر في زمن التركيز ووصول مياه السيول إلى مداخل مصائد الأمطار يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ - طبيعة سطح الحوض من حيث الخشونة والنعومة ، فكلما كان السطح ناعماً كان زمن الوصول أقل كالأسطح الأسفلتية والخرسانية .

٢ - إنحدار سطح الحوض .

٣ - العوائق التي قد تعترض مسار المياه ككسر الأحجار وجذوع الأشجار ونحوها .

٤ - برك التخزين وسعتها .

٥ - الغطاء النباتي وكثافته .

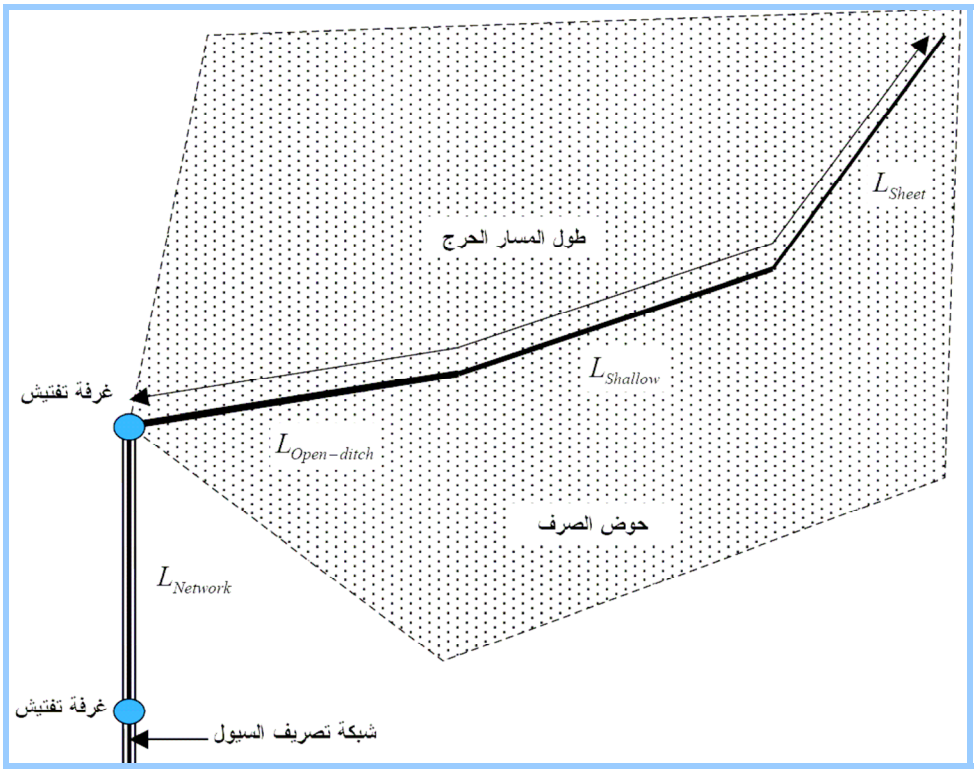
٦ - شكل الحوض ومساحته .

ويجب اختبار كافة المسارات التي يمكن أن تسلكها مياه السيول من الجوانب المختلفة لحوض الصرف حتى تصل إلى مداخل مصائد الأمطار وذلك بغرض تحديد المسار الحرج للمياه والذي يمكن تعريفه بأنه المسار الذي تستغرق فيه مياه السيول أطول زمن ممكن حتى تصل إلى مداخل مصائد الأمطار .

ويأخذ جريان مياه السيول على أسطح أحواض الصرف صوراً عدة حتى يصل إلى مداخل مصائد الأمطار ، ويمكن إيضاح صور جريان المياه على أسطح أحواض الصرف كما يلي ، أنظر الشكل رقم (٢ -٨) :

أ - **الجريان الشرائحي (Sheet Flow) :**

وهو صورة من صور جريان المياه على سطح الأرض يكون عمق المياه فيه صغير جداً (عدة سنتيمترات وربما ملليمترات) مقارنة بعرض الجريان (عدة أمتار وربما عشرات الأمتار) ، وعادةً ما يكون هذا الجريان من نوع فوق الحرج لذا تكون سرعة المياه فيه كبيرة إلى حدٍ ما ، وتظل المياه تسير بهذا الشكل الطبقي الشرائحي **Flow Sheet** مسافة تتوقف على طبيعة خشونة سطح الحوض وعلى مدى مشاركة جهات الحوض المجاورة في زيادة عمق المياه وكمية التدفق .



شكل (٢-٨) المسار الحرج وصور جريان مياه السيول على سطح حوض الصرف

وتسير المياه بهذه الصورة الشرائحية **Sheet Flow** مسافة مقدارها ٣٠٠ قدم (أي حوالي ٩١,٤٤ متر) للأسطح المرصوفة **Paved Surfaces** ، بينما لا تسير المياه أكثر من ١٠٠ قدم (حوالي ٣٠,٤٨ متر) بهذا الشكل للأسطح الغير مرصوفة **Unpaved Surfaces** .

وهناك العديد من المعادلات التطبيقية التي يمكن استخدامها لحساب الزمن اللازم للجريان الشرائحي فوق أسطح أحواض الصرف ، وقد تختلف هذه المعادلات في مدى الدقة وسهولة التطبيق ، لكن أشهر هذه المعادلات وأسهلها في التطبيق معادلة كيرباخ **(Kirpich's Equation)** ، والتي يمكن صياغتها على النحو التالي :

$$T_{C_{sheet}} = 0.06628 \times \left(\frac{60 \times L_{sheet}^{0.77}}{S_B^{0.385}} \right) \quad \text{.....(2.4)}$$

حيث أن :

- $T_{C_{sheet}}$ = زمن جريان المياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل شرائحي (دقيقة).
- L_{sheet} = طـول المسار الحرج للمياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل شرائحي (كيلومتر).
- S_B = انحدار سطح الحوض (م/م).

ب - الجريان الضحل (Shallow Concentrated Flow) :

وذلك أن مياه السيول بعد مسافة ما وهي تجري على سطح الحوض متخذةً شكل الجريان الشرائحي تبدأ في التركيز والتجميع من الجهات المختلفة للحوض ويزداد التدفق ويزيد العمق ولكن يظل عرض الشريحة التي تجري عليها المياه من الحوض أكبر بكثير من العمق (عرض الشريحة عشر أضعاف العمق على الأقل) ، ويوصف هذا الشكل من الجريان بأنه الجريان الضحل **(Shallow Wide Stream)** أو **(Shallow Concentrated Flow)** ، وباستخدام معادلة مانينج لحساب سرعة المياه بالقنوات المكشوفة ، والتي سيتم التعرف عليها بالتفصيل لاحقاً في الباب الخاص بالتصميم الهيدروليكي لشبكة تصريف السيول ، ولكن يمكن التعبير عنها في صورتها التالية :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}5)$$

حيث أن :

- V = سرعة المياه بالقنوات المكشوفة (م/ثانية).
- n = معامل مانينج للخشونة .
- R = نصف القطر الهيدروليكي ، $R = A/P$.
- A = مساحة القطاع المائي للقناة المكشوفة (م^2).
- P = طول المحيط المبتل من القاع والجوانب (م).
- S = انحدار قاع القناة (م/م).

ومع افتراض أن معامل مانينج للخشونة ونصف القطر الهيدروليكي يساويان ٠,٠٢٥ و ٠,٢٠ ، على التوالي ، وذلك لأسطح أحواض الصرف المرصوفة بينما يساويان ٠,٠٥ و ٠,٤٠ ، على التوالي ، وذلك لأسطح أحواض الصرف الغير مرصوفة ، ووفق هذه الإفتراضات يتم حساب سرعة تدفق المياه لهذا الشكل من أشكال الجريان على النحو التالي :

$$V_{shallow} = 4.917796 \times S_B^{0.5} \quad \textbf{(for unpaved surfaces)} \text{ .....} (2\text{-}6)$$

$$V_{shallow} = 6.196035 \times S_B^{0.5} \quad \textbf{(for paved surfaces)} \text{ .....} (2\text{-}7)$$

وباستخدام المعادلات رقم (٢ -٦) ، (٢ -٧) يتم حساب زمن وصول مياه السيول حال جريانها بهذا الشكل من أشكال الجريان باستخدام المعادلة التالية :

$$T_{C_{shallow}} = \left(\frac{L_{shallow}}{60 \times V_{shallow}} \right) \quad \text{.....} \quad (2\text{-}8)$$

حيث أن :

- $T_{C_{shallow}}$ = زمن جريان المياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل ضحل (دقيقة).
- $L_{shallow}$ = طول المسار الحرج للمياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل ضحل (متر).
- $V_{shallow}$ = سرعة المياه خلال المسار الضحل (متر/ثانية).

ج - الجريان في الأخاديد (Open Ditch Flow) :

في حالة أحواض الصرف شاسعة المساحة ونتيجة غزارة المياه المتدفقة من جوانب الحوض المختلفة يميناً ويساراً يزيد عمق المياه ويتركز جريانها عبر مسار محدد المعالم والأبعاد في مجرى يطلق عليه الأخدود ، ويتحول شكل الجريان تدريجياً من جريان ضحل إلى صورة الجريان في القنوات المكشوفة ، وعادةً ما يتم تحديد طول المسار الحرج الذي تأخذ مياه السيول فيه صورة الجريان بالقنوات المكشوفة من واقع المصورات الجوية أو الزيارات الحقلية ، وفي كلٍ يتم الحصول على الأبعاد الخاصة بقطاع هذا الأخدود ، ثم يتم حساب زمن جريان المياه فيه باستخدام المعادلة التالية :

$$T_{C_{open\text{-}ditch}} = \left(\frac{L_{open\text{-}ditch}}{60 \times V_{open\text{-}ditch}} \right) \quad \text{.....(2-9)}$$

حيث أن :

- $T_{C_{open\text{-}ditch}}$ = زمن جريان المياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل قناة مكشوفة (دقيقة).
- $L_{open\text{-}ditch}$ = طول المسار الحرج للمياه حال كونها تجري فوق سطح الحوض بشكل قناة مكشوفة (متر).
- $V_{open\text{-}ditch}$ = سرعة المياه خلال القناة مكشوفة (متر/ثانية).

وتجدر الإشارة إلى أن زمن تركيز مياه السيول حال جريانها على أسطح أحواض الصرف وحتى مداخل مصائد الأمطار يأخذ في العادة زمن يتراوح بين عشرة وخمس عشرة دقيقة حسب طبيعة سطح الحوض والأنشطة الحياتية التي تمارس عليه ، ونظراً لأن شدة العاصفة الممطرة تكون أكبر ما يمكن عند بداية سقوطها ، وتجنباً لحسابات غير دقيقة لا تعبر عن الواقع بخصوص كمية سقوط الأمطار وحساب تدفق مياه السيول الذي سوف يمر من خلال شبكة تصريف السيول ويتم تصميم أبعاد الشبكة على أساسه فيجب في حالة حساب زمن التركيز التجميعي على سطح حوض الصرف باستخدام المعادلات (٢ -٤) ، (٢ -٨) ، (٢ -٩) ويكون المجموع أقل من عشر دقائق يتم اعتباره مساوياً لـ عشر دقائق كفرض مسبق من الفروض التصميمية.

وعندما تدخل مياه السيول داخل شبكة تصريف السيول (أنابيب أو عبارات صندوقية) فيتوقف زمن انتقالها من نقطةٍ لأخرى **(Travel Time)** على مقدار التدفق المار وأبعاد الشبكة نفسها ، ونظراً لأن مقدار التدفق المار خلال الشبكة يتوقف هو الآخر على مقدار زمن التركيز (كدالة ضمنية) يتم فرض قيمةٍ ما لسرعة المياه خلال الشبكة تكون واقعة في المدى الآمن لها (وهو من ٠,٦١ م/ثانية وحتى ٣,٦٦ م/ثانية) ، وباستخدام طريقة المحاولة والخطأ **(Trial and Error)** يتم الحصول على القيمة المثلى لسرعة المياه خلال الشبكة $V_{Network}$ ، ومنها يتم الحصول على زمن الإنتقال خلال الشبكة حتى النقطة التي يراد حساب زمن التركيز والتصميم عندها وذلك باستخدام المعادلة :

$$T_{Travel} = \left(\frac{L_{Network}}{60 \times V_{Network}} \right) \quad \text{.....(2-10)}$$

حيث أن :

- T_{Travel} = زمن انتقال مياه السيول خلال شبكة تصريف السيول (دقيقة).
- $L_{Network}$ = المسافة الطولية على شبكة تصريف السيول حتى النقطة التي يتم التصميم عندها (م).

وبذلك يمكن حساب زمن تركيز مياه السيول التجميعي وزمن التركيز الأقصى للخط الرئيسي عند المطبق رقم **(N)** باستخدام المعادلات التالية :

$$T_C^N = T_{C_{Sheet}} + T_{C_{Shallow}} + T_{C_{Open-ditch}} + T_{Travel} \quad \text{..... (2-11a)}$$

$$T_{C_{\max}}^N = Max.\left(T_C^{N-1} + T_{Travel_{N-1}}^N, T_{C_B}^N, T_{C_{br}}^N\right) \quad \text{..... (2-11b)}$$

حيث أن :

- $T_{C_{\max}}^N$ = زمن التركيز الأقصى عند المطبق رقم **(N)** .
- T_C^{N-1} = زمن التركيز التجميعي عند المطبق رقم **(N-1)** .
- $T_{Travel_{N-1}}^N$ = زمن انتقال مياه السيول خلال شبكة تصريف السيول من المطبق رقم **(N-1)** حتى المطبق رقم **(N)** (دقيقة) .
- $T_{C_B}^N$ = زمن التركيز الخاص بحوض صرف المطبق رقم **(N)** .
- $T_{C_{br}}^N$ = زمن التركيز الخاص بأي خط فرعي يصب على الخط الرئيسي عند المطبق رقم **(N)**.

مثال (٢ - ١) :

احسب زمن التركيز الكلي **Time of Concentration** اللازم لوصول مياه السيول حتى مدخل مصيدة الأمطار **Catch basin** بحوض صرف مساحته ٤٥ هكتار ، إذا وجد أن طول المسار الحرج هو ٨٧٠ متر ، وسطح الأرض بحوض الصرف مرصوف ، ومتوسط انحدار سطح الحوض مقداره ٠,٣٠ ٪ ، علماً بأنه تجري مياه السيول في أخدود في حبس طوله ٧٠٠ متر قبل أن تدخل إلى مصيدة الأمطار ، وأن عمق المياه المتوسط بالأخدود هو ٠,٥٠ متر ، وعرض القاع هو ٢,٠ متر ، والميول الجانبية له مقدارها ٢ (أفقي) : ١ (رأسي) ، وأن معامل مانج لخشونة قاع الأخدود وجوانبه هي ٠,٠١٨ .

خطوات الحل :

أ - حساب أطوال أحباس صور الجريان المختلفة :

بدايةً يتم تحديد أطوال الأحباس المقابلة لكل صورة من صور الجريان المختلفة لمياه السيول على سطح حوض الصرف على النحو التالي :

- نظراً لأن سطح الحوض مرصوف وطول المسار الحرج أكبر من ٩١,٤٤ متر فإن طول مسار جريان المياه بصورة شرائحية **(Sheet Flow)** سيكون ٩١,٤٤ متر .
- طول الأخدود **(Open Ditch)** يساوي ٧٠٠ متر ، كما هو معطى سلفاً بالمثال.
- وبالتالي سيكون طول مسار المياه على سطح الحوض وهي تجري بصورة ضحلة **(Shallow Concentrated)** يمكن حسابه هكذا :

$$L_{Shallow} = 870 - 91.44 - 700 = 78.56m$$

ب - حساب زمن التركيز للجريان الشرائحي :

- طول الحبس هو ٩١,٤٤ متر ، وانحدار سطح الحوض هو ٠,٣٪.
- زمن التركيز يمكن حسابه باستخدام المعادلة رقم (٢ -٤) هكذا :

$$T_{C_{sheet}} = 0.06628 \text{ x } \left(\frac{60 \times (91.44/1000)^{0.77}}{0.003^{0.385}} \right) = 5.9 \min$$

ج - **حساب زمن التركيز للجريان الضحل :**

- طول الحبس هو ٧٨,٥٦ متر .
- سرعة جريان المياه على سطح الحوض يمكن حسابها باستخدام المعادلة رقم (٢ -٦) هكذا :

$$V_{shallow} = 6.196035 \times 0.003^{0.5} = 0.34 m/\sec$$

- كذلك يمكن حساب زمن التركيز بتطبيق المعادلة (٢ -٨) هكذا :

$$T_{C_{shallow}} = \left(\frac{78.56}{60 \times 0.34}\right) = 3.86 \min$$

د - **زمن التركيز لجريان المياه في الأخدود :**

- طول الحبس هو ٧٠٠ متر .
- مساحة القطاع المائي للأخدود $A = (2 + 2 \times 0.5) \times 0.5 = 1.5 m^2$
- طول المحيط المبتل $P = 2 + 2 \times 0.5 \times (1 + 2^2)^{0.5} = 4.24 m$
- نصف القطر الهيدروليكي $R = A / P = 1.5 / 4.24 = 0.354 m$
- معامل مانتج لخشونة قاع الأخدود وجوانبه **n = 0.018**.
- سرعة المياه في الأخدود يتم حسابها بتطبيق معادلة مانتج رقم (٢ -٥) هكذا :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} = \frac{1}{0.018} \times 0.354^{2/3} \times 0.003^{1/2} = 1.52 m/\sec$$

- زمن التركيز يتم حسابه بتطبيق المعادلة رقم (٢ -٩) هكذا :

$$T_{C_{open\text{-}ditch}} = \left(\frac{700}{60 \times 1.52}\right) = 7.68 \min$$

هـ - **ويتم حساب زمن التركيز التجميعي لجريان المياه فوق سطح حوض الصرف حتى مداخل مصائد الأمطار أو المطابق باستخدام المعادلة رقم (2-11a) وهو :**

$$T_{C_{Total}} = 5.90 + 3.86 + 7.68 = 17.44 \min$$

٢ـ٥ طرق تقدير كميات مياه السيول :

في هذا الجزء من الباب سوف يتم تناول أشهر الطرق التطبيقية المختلفة وأكثرها استخداماً لحساب معدل الجريان السطحي لمياه الأمطار والتقدير الدقيق للتصرفات العظمى لمياه السيول وبيان شروط وحدود إستخدام كل طريقة والأسس التي تعتمد عليها . ويمكن تلخيص أهم الطرق التطبيقية المستخدمة لهذا الغرض في الطرق التالية :

١ - الطريقة المنطقية **Rational Method** .

٢ - طريقة رقم المنحنى **Soil Conservation Services Curve Number Method** .

وتجدر الإشارة إلى أن علم الهيدرولوجيا لا يعتبر من العلوم التي تعتمد على المعادلات الرياضية التي لها حل وحيد **Unique Solution** ، بل هو علم تجريبي يعتمد على طرق التحليل الإحصائي للبيانات التي تم تسجيلها سلفاً بمحطات رصد البيانات ، ولذا قد نجد فروقاً جوهرية وملحوظة بين النتائج الحسابية عند تطبيق الطرق المختلفة سالفة الذكر في تقدير كميات مياه السيول لنفس الحالة ، وعلى المهندس المصمم مراعاة الدقة في اختيار الطريقة المناسبة لهذا الغرض وحدود وشروط استخدامها كي يحصل على نتائج دقيقة ومنطقية.

كما ينبغي قبل البدء في تقدير كميات مياه السيول الإحاطة بكافة المشاكل البيئية الموجودة بأحواض الصرف وخصائصها والإحاطة بمشاكلها من ناحية مياه السيول والصعوبات الطبوغرافية والجيولوجية التي تعترض تصريفها بسهولة ويسر ونقاط تجميع مياه الأمطار بها ، والقيام بتحليل كل هذه البيانات تحليلاً علمياً دقيقاً لأن ذلك سوف يؤثر بالإيجاب في التقدير الدقيق لكميات مياه السيول ، وربما يكون عوناً في اختيار الطريقة المثلى لإجراء الحسابات الهيدرولوجية.

٢ـ٥ـ١ الطريقة المنطقية (Rational Method) :

تعد الطريقة المنطقية من أقدم الطرق المستخدمة في تقدير كميات مياه السيول ، إذ يجري استخدام هذه الطريقة لأكثر من قرن من الزمان ومنذ أواخر القرن التاسع عشر الميلادي وتحديداً في عام ١٨٨٩م ، ونظراً لسهولة تطبيق هذه الطريقة وبساطتها يلجأ أكثر المهندسين ومن يعملون في هذا المجال إلى استخدامها دون النظر لشروط استخدامها والفروض الظنية التي بنيت عليها ، لكن تجدر الإشارة والتنويه إلى أن هذه الطريقة لا تناسب إلا أحواض الصرف ذات المساحات الصغيرة والخالية تماماً من أي برك تجميع تخزينية ، كما ينبغي أن تكون الأماكن المصمتة ذات النفاذية الضعيفة بحوض الصرف متصلة مع بعضها البعض ، وفي حالة استخدام هذه الطريقة لأحواض صرف بخلاف هذه الشروط فإن تقدير كميات مياه السيول بهذه الطريقة سوف يشوبه عدم الدقة، وذلك لاعتمادها علي عدة افتراضات ظنية لا يمكن تحقيقها إلا في أحواض الصرف ذات المساحات الصغيرة فقط .

أ ـ الفروض الأساسية للطريقة :

ويمكن توضيح الفروض الأساسية التي بنيت عليها الطريقة المنطقية في النقاط التالية :

- "**زمن العاصفة الممطرة يكون مساوياً لزمن تركيز مياه السيول عند أي نقطة في حوض الصرف**" ، ولا يتوفر تحقيق هذا الفرض إلا في أحواض الصرف صغيرة المساحة ويصعب بل يستحيل تحقيقه في الأحواض ذات المساحات الكبيرة ، وذلك أن زمن التركيز لأحواض الصرف ذات المساحات الشاسعة يكون كبيراً جداً مقارنة بزمن حدوث العاصفة الممطرة الذي عادةً ما يكون أقل .
- "**شدة تساقط الأمطار تكون منتظمة علي جميع جهات وجوانب حوض الصرف**" ، وهذا الفرض قد يستقيم في أحواض الصرف صغيرة المساحة ولا يمكن التحقق منه في الأحواض الكبيرة ، وذلك أن شدة تساقط الأمطار في الأحواض ذات المساحات الشاسعة تتغير من مكان لأخر.

ومع اعتبار هذين الفرضين كشروط لاستخدام الطريقة من شأنه أن يجعل ظروف تقدير مياه السيول أقصى ما يمكن ومنافٍ للحقيقة والواقع إلا في حالة أحواض الصرف المحدودة وذات المساحات الصغيرة.

ب ـ حدود استخدام الطريقة المنطقية :

ولاستخدام هذه الطريقة بشكل دقيق لابد من مراعاة الشروط التالية :

- مساحة حوض الصرف تكون أقل من ٨١ هكتار (٢٠٠ إيكر **acres**) .
- زمن تركيز مياه السيول بالحوض لا يزيد عن ساعتين ، وفي حالة أحواض الصرف ذات المساحات الصغيرة والإنحدار البسيط جداً عادةً ما يكون زمن التركيز كبير نسبياً ، وفي هذه الحالة لابد من وضع حداً أعلى لقيمة زمن التركيز ألا يزيد عن ساعتين ، وفي حالة زيادته عن هذا الحد يُعتبر ساعتين وإلا وجب إستخدام طريقة أخرى أكثر ملاءمة ودقة .
- عدم وجود برك تجميع تخزينية بحوض الصرف .
- اتصال الأماكن ذات الأسطح المصمتة والنفاذية الضعيفة (كالأسطح الإسفلتية والخرسانية والصخرية ونحوها) في حوض الصرف مع بعضها البعض .

ج ـ المعادلات الأساسية للطريقة المنطقية :

في هذه الطريقة يتم تقدير معدل الجريان السطحي لمياه السيول عند أي موضع بحوض الصرف على أنه دالة في مساحة الحوض (حتى هذا الموضع) ومعامل الفائض ومتوسط شدة تساقط الأمطار لعاصفة ممطرة زمنها مساوٍ لزمن تركيز مياه السيول عند ذلك الموضع الذي يتم حساب معدل الجريان عنده . ويمكن التعبير عن هذه الطريقة بالمعادلة التالية :

$$Q = C_f\left(\frac{C \times I_R \times A_B}{360}\right) \quad \text{.....} \quad (2\text{-}12)$$

حيث أن :

- Q = معدل الجريان السطحي لمياه السيول فوق سطح الحوض (م^3/ثانية) .
- C = معامل الفائض **Runoff Coefficient** لمياه الأمطار ، وتتوقف قيمة هذا المعامل على مدى التغير في طبوغرافية الحوض واستخدام الأرض وطبيعة الأنشطة المقامة عليها وطبيعة الغطاء النباتي وكثافته ونوع التربة وتركيبها الإنشائي والمحتوى الرطوبي لها ومعدل سريان المياه فيها (معدل الرشح **Infiltration Rate**) ، ويجب مراعاة الدقة عند تحديد قيمة هذا المعامل لتأثيره البالغ في تقدير معدل جريان مياه السيول فوق سطح حوض الصرف ، ويجب القيام بعدة زيارات ميدانية لمعاينة خصائص سطح الحوض وتوصيفه توصيفاً جيداً ومراعاة التطوير البيئي لحوض الصرف في المستقبل ، والجدول رقم (٢ -١٠) يبين الأنواع المختلفة لأسطح أحواض الصرف ومعامل الفائض المقابل لكل نوع .
- C_f = معامل تصحيح **Correction Factor** يعتمد على مقدار الفترة التكرارية التي يتم التصميم وفقاً لها ، كما هو مبين بالجدول رقم (٢ -١١).
- I_R = شدة تساقط مياه الأمطار **Rainfall Intensity** للعاصفة التصميمية (مم/ساعة) ، والذي يتوقف على قيمة زمن التركيز عند الموضع الذي يتم التصميم عنده ، ويتم الحصول عليها من منحنى الهطول رقم (٢ -٤) والخاص بمدينة الرياض.
- A_B = مساحة حوض الصرف عند الموضع الذي يتم التصميم عنده (هكتار) .
- ٣٦٠ = معامل لاستخدام نظام الوحدات المترية فقط.

كما يمكن الحصول على قيمة متوسط معامل الفائض لحوض صرف مكون من عدد **(M)** من الأحواض الفرعية ذات أنواع مختلفة من الأنشطة أو ذات أسطح مختلفة (الإسفلت والمناطق السكنية والمناطق التجارية) وكذلك على متوسط معامل فائض خط تصريف السيول عند المطبق رقم **(N)** باستخدام المعادلات التالية :

$$C_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} A_i \times C_i}{\sum_{i=1}^{i=M} A_i} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}13a)$$

$$C_{ave}^{N} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N-1} A_i \times C_{ave_i}}{\sum_{i=1}^{i=N-1} A_i} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}13b)$$

حيث إن :

- C_{ave} = متوسط معامل الفائض لحوض صرف ذو سطح متعدد الأنشطة .
- C_{ave}^{N} = متوسط معامل فائض خط تصريف السيول حتى المطبق رقم **(N)** .
- i = عداد الأحواض الفرعية لحوض الصرف الخاص بمطبقٍ ما ، وكذا المطابق المقامة على خط تصريف السيول ، ويبدأ عادة بقيمة الواحد الصحيح .
- M = عدد الأحواض الفرعية لحوض الصرف بحسب الأنشطة والإستخدام .
- N = رقم المطبق المراد حساب متوسط معامل فائض الخط عنده .

جدول (٢-١٠) معامل الفائض لمياه الأمطار وعلاقته بطبيعة وخصائص سطح حوض الصرف

نوع الغطاء النباتي والظروف الهيدرولوجية لسطح حوض الصرف Cover Type and Hydrologic Conditions	معامل الفائض Runoff Coefficient (C)
أ- أراض خضراء Lawns	
• تربة رملية ضعيفة الإنحدار (أقل من ٢٪) Sandy soil, flat,< 2%	٠,٠٥ - ٠,١٠
• تربة رملية متوسطة الإنحدار (من ٢٪ إلى ٧٪) Sandy soil, average, 2% - 7%	٠,١٠ - ٠,١٥
• تربة رملية شديدة الإنحدار (أكبر من ٧٪) Sandy soil, steep, >7%	٠,١٥ - ٠,٢٠
• تربة طينية ضعيفة الإنحدار (أقل من ٢٪) Clay soil, flat,< 2%	٠,١٣ - ٠,١٧
• تربة طينية متوسطة الإنحدار (من ٢٪ إلى ٧٪) Clay soil, average, 2% - 7%	٠,١٨ - ٠,٢٢
• تربة طينية شديدة الإنحدار (أكبر من ٧٪) Clay soil, steep, >7%	٠,٢٥ - ٠,٣٥
ب- مناطق غير ممهدة (غابة) Unimproved areas (forest)	
• تربة رملية أو رملية طميية (أقل من ٣٪) Sandy, sandy loam soil	٠,١٥ - ٠,٢٠
• تربة رملية أو رملية طميية (٣- ٥٪) Sandy, sandy loam soil	٠,٢٠ - ٠,٢٥
• تربة سمراء كثيفة (أقل من ٣٪) Black or loessial soil	٠,١٨ - ٠,٢٥
• تربة سمراء كثيفة (٣- ٥٪) Black or loessial soil	٠,٢٥ - ٠,٣٠
• تربة سمراء كثيفة (أكبر من ٥٪) Black or loessial soil	٠,٧٠ - ٠,٨٠
• تربة رملية عميقة Deep sand area	٠,٠٥ - ٠,١٥
• مناطق عشبية شديدة الإنحدار Steep grassed slopes	٠,٧٠

تابع جدول (٢-١٠) معامل الفائض لمياه الأمطار وعلاقته بطبيعة وخصائص سطح حوض الصرف

نوع الغطاء النباتي والظروف الهيدرولوجية لسطح حوض الصرف Cover Type and Hydrologic Conditions	معامل الفائض Runoff Coefficient (C)
ج- مناطق تجارية Commercial and business	
• وسط البلد Downtown area	٠,٧٠ - ٠,٩٥
• مناطق مجاورة Neighborhood area	٠,٣٠ - ٠,٧٠
د- مناطق سكنية Residential	
• إسكان أسرة واحدة (فيلا) Single family area	٠,٣٠ - ٠,٥٠
• عمارات سكنية منفصلة Multi-units detached	٠,٤٠ - ٠,٦٠
• عمارات سكنية ملتصقة Multi-units attached	٠,٦٠ - ٠,٧٥
• ضواح صغيرة Suburban	٠,٣٥ - ٠,٤٠
• شقق سكنية متجاورة Apartment dwelling area	٠,٣٠ - ٠,٧٠
هـ- مناطق صناعية Industrial	
• مناطق خفيفة Light area	٠,٣٠ - ٠,٨٠
• مناطق ذات كثافة عالية Heavy area	٠,٦٠ - ٠,٩٠
و- الحدائق والمقابر Parks & cemeteries	٠,١٠ - ٠,٢٥
ل- الملاعب Playgrounds	٠,٣٠ - ٠,٤٠
م- مناطق انتظار السكك الحديدية Railroads yard areas	٠,٣٠ - ٠,٤٠
ن- الشوارع Streets	
• أسفلتية Asphalt	٠,٨٥ - ٠,٩٥
• خرسانية Concrete	٠,٩٠ - ٠,٩٥
• مرصوفة بالطوب Brick	٠,٧٠ - ٠,٨٥
س- طرق خاصة وطرق مشاة وأسقف Drives, walks, and roofs	٠,٧٥ - ٠,٩٥
ص- المناطق الزلطية Gravel area	٠,٥٠
ض- مناطق متدرجة الإنحدار دون غطاء نباتي Graded and no plant cover	
• تربة رملية ضعيفة الإنحدار (من صفر٪ إلى ٥٪) Sandy soil, flat, 0-5%	٠,٣٠
• تربة رملية متوسطة الإنحدار (من ٥٪ إلى ١٠٪) Sandy soil, average, 5-10%	٠,٤٠
• تربة طينية ضعيفة الإنحدار (من صفر٪ إلى ٥٪) Clay soil, flat, 0-5%	٠,٥٠
• تربة طينية متوسطة الإنحدار (من ٥٪ إلى ١٠٪) Clay soil, average, 5-10%	٠,٦٠

جدول رقم (٢-١١) معامل تصحيح الطريقة المنطقية وعلاقته بالفترة التكرارية

الفترة التكرارية (سنة) Recurrence Interval	معامل التصحيح C_f
١٠ ≤	١,٠٠
٢٥	١,١٠
٥٠	١,٢٠
١٠٠	١,٢٥

د ـ خطوات تطبيق الطريقة المنطقية :

لتطبيق الطريقة المنطقية في تقدير معدل جريان مياه السيول فوق أسطح أحواض الصرف يمكن اتباع الخطوات التالية :

١ - تحديد خصائص ومساحة حوض الصرف حتى الموضع الذي يتم التصميم عنده (هكتار) .

٢ - التأكد من شروط وحدود ومناسبة الطريقة المنطقية لتقدير معدل جريان مياه السيول فوق سطح الحوض حسب خصائص الحوض ومساحته .

٣ - تحديد المسارات المختلفة لمياه السيول فوق سطح حوض الصرف حتى مداخل مصائد الأمطار وانحدار وطول كلٍ منها واختيار المسار الحرج منها .

٤ - تحديد خصائص المسار الحرج (مرصوف أو غير مرصوف وطول كل جزء ، يوجد أخاديد أو لا يوجد وطول الأخدود وأبعاده - إذا وجد) .

٥ - حساب زمن التركيز لمياه السيول فوق سطح الحوض باستخدام المعادلات المناسبة حسب خصائص المسار الحرج ، أنظر المعادلات أرقام (٢ -٤) ، (٢ -٦) ، (٢ -٧) ، (٢ -٨) ، (٢ -٩) ، (٢ -١٠) ، (٢ -١١) .

٦ - تحديد معامل الفائض لمياه الأمطار لكامل حوض الصرف من الجدول رقم (٢ -١٠).

٧ - إختيار الفترة التكرارية أو الزمن الترددي للعاصفة التصميمية باستخدام الجداول أرقام (٢ -٨) و (٢ -٩).

٨ - تحديد شدة تساقط الأمطار من منحنيات الهطول التصميمية لمدينة الرياض من الشكل رقم (٢ -٤) وبمعلومية الفترة التكرارية التصميمية وزمن التركيز المساوي لزمن العاصفة.

٩ - تحديد معامل التصحيح وفقاً للفترة التكرارية للعاصفة التصميمية من الجدول رقم (٢ -١١).

١٠ - حساب أقصى معدل لجريان مياه السيول فوق سطح حوض الصرف ، وذلك بتطبيق المعادلة رقم (٢ -١٢).

مثال (٢-٢) :

إذا كانت مساحة حوض الصرف المذكور بالمثال (٢ -١) هي حوالي ٤٥ هكتارا ، وكانت استعمالات الأرض بالحوض على النحو التالي :

- ٥٠٪ إسكان أسرة واحدة (فيلات) .
- ١٠٪ عمارات سكنية منفصلة .
- ٢٥٪ شوارع أسفلتية .
- ١٥٪ حدائق .

والمطلوب استخدام الطريقة المنطقية في حساب معدل تدفق مياه السيول فوق سطح الحوض عند مداخل مصائد الأمطار ليتم تصريفها من خلال خط أنابيب سيتم إنشاؤه خصيصاً لهذا الحوض .

خطوات الحل :

أ - الخطوات من (١) ← (٥) من خطوات تطبيق الطريقة المنطقية :

بما أن مساحة حوض الصرف أقل من ٨١ هكتارا ، ولا يوجد بها برك تجميع تخزينية وبإهمال شرط اتصال الأماكن ذات النفاذية الضعيفة (الأسفلتية والخرسانية) - نظراً لوجود حدائق تتخللها – إذن يمكننا القول أن الطريقة المنطقية تصلح كطريقة مناسبة لحساب معدل تدفق مياه السيول فوق سطح الحوض ، وبمراجعة خطوات الطريقة المنطقية المذكورة سلفاً نجد أن الخطوات الخمس الأولى قد تم اجتيازها وذلك بحساب زمن التركيز للجريان السطحي فوق سطح الحوض بالمثال رقم (٢ -١) ، وقد تم تقديره بـ ١٧,٤٤ دقيقة .

ب - الخطوة (٦) " تحديد متوسط معامل الفائض" :

يمكن حساب متوسط معامل الفائض لكامل مساحة الحوض باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٣) وكما هو مبين بالجدول الموضح أدناه :

إستعمالات الأرض	النسبة المئوية للمساحة	المساحة (هكتار)	معامل الفائض
إسكان أسرة واحدة (فيلات)	٥٠٪	٢٢,٥٠	٠,٥٠
عمارات سكنية منفصلة	١٠٪	٤,٥٠	٠,٦٠
شوارع أسفلتية	٢٥٪	١١,٢٥	٠,٩٥
حدائق (طبيعية)	١٥٪	٦,٧٥	٠,٢٥

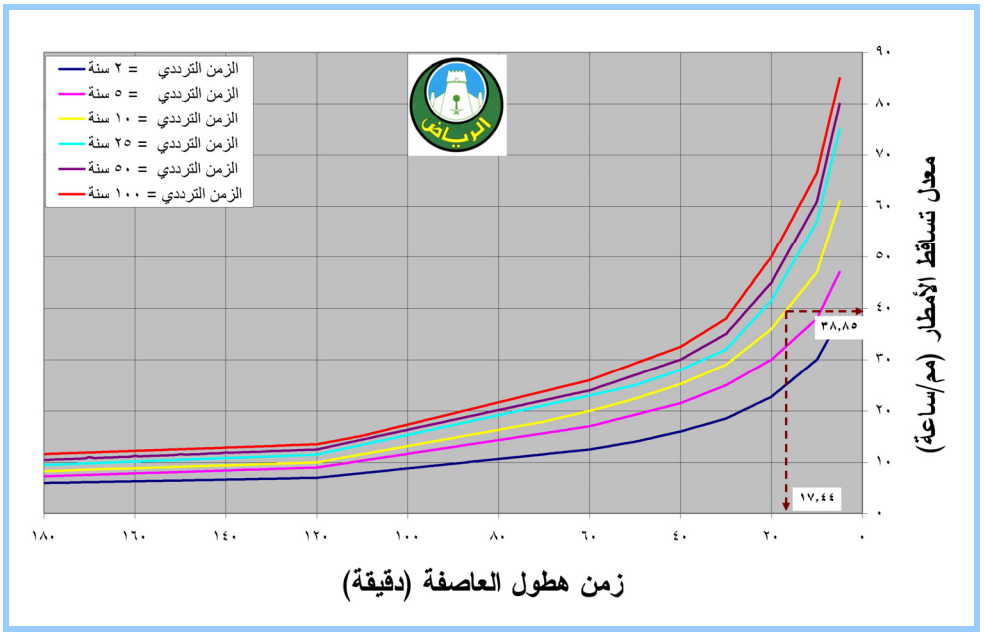
$$C_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{i=4}(22.5\times 0.50 + 4.5\times 0.60 + 11.25\times 0.95 + 6.75\times 0.25)}{45} = 0.585$$

ج - **الخطوة (٧) "إختيار الفترة التكرارية أو الزمن الترددي للعاصفة التصميمية" :**

بالرجوع إلى الجداول أرقام (٢ -٨) ، (٢ -٩) نجد أن الفترة التكرارية التصميمية هي ما بين ٥ سنوات و ١٠ سنوات ، وكما ذكرنا سلفاً يجب ضرورة مراعاة عوامل الأمان واختيار الأكبر منها ، وهي ١٠ سنوات .

د - **الخطوة (٨) "تحديد شدة تساقط الأمطار" :**

بمعلومية زمن التركيز (١٧,٤٤ دقيقة) والفترة التكرارية (١٠ سنوات) وبالدخول في منحنى الهطول لمدينة الرياض المبين بشكل رقم (٢ -٤) ومن الجداول الرقمية للمنحنى نجد أن شدة تساقط الأمطار على حوض الصرف المقابلة لزمن التركيز ١٧,٤٤ دقيقة هي ٣٨,٨٥ مم/ساعة ، كما هو مبين بالشكل رقم (٢ -٩) الموضح أدناه.



شكل (٢-٩) تحديد شدة تساقط الأمطار على حوض الصرف بالمثال (٢-٢)

ه - الخطوة (٩) "<u>تحديد معامل التصحيح</u>" :

بمعلومية الفترة التكرارية التصميمية التي تم اختيارها وهي ١٠ سنوات وكذلك الجدول رقم (٢ -١١) نجد أن معامل التصحيح هو الواحد الصحيح .

و - **الخطوة (١٠) "<u>تقدير معدل تدفق مياه السيول</u>" :**

باستخدام معادلة الطريقة المنطقية رقم (٢ -١٢) يمكن القول أن معدل مياه السيول التي يجب تصميم خط الأنابيب وفقاً لها هو :

$$Q = C_f\left(\frac{C \times I_R \times A_B}{360}\right) = 1.0 \times \left(\frac{0.585 \times 38.85 \times 45}{360}\right) = 2.82 m^3/\sec$$

٢-٥-٢ طريقة رقم المنحنى (SCS Curve Number Method) :

تستخدم هذه الطريقة لتقدير الجريان السطحي وتحديد التدفقات العظمي لمياه السيول بعد خصم قيم الفواقد المختلفة من مياه الأمطار المتساقطة على حوض الصرف طبقاً لخصائص التربة والأنشطة المقامة عليها واستخدامات الأرض ، ويعبر عن هذه الفواقد بمعامل يطلق عليه رقم منحني الجريان السطحي **(Runoff Curve Number, RCN)** ، وتعتبر طريقة رقم المنحنى من الطرق شائعة الإستخدام لكافة أحواض الصرف مهما اختلفت مساحتها - حيث لا يوجد حد أعلى لمساحة الأحواض التي يمكن تطبيق الطريقة عليها - كما هو بالطريقة المنطقية ، ولكن كلما كانت مساحة حوض الصرف أصغر كانت نتائجها أدق ، شأنها في ذلك شأن الطرق الأخرى.

ويرجع ذلك إلى تأثير المساحة في مقدار الدقة في تحديد خصائص حوض الصرف السطحية والطبوغرافية ، إذ كلما كانت مساحة حوض الصرف صغيرة كلما كان توصيف خصائصه الجيولوجية وطبيعة الأنشطة والإستخدام لسطحه أدق عكس الأحواض ذات المساحات الشاسعة ، ولأجل ذلك فإن الحسابات المتعلقة بتحديد معدل جريان السيول فوق سطح حوض الصرف باستخدام طريقة رقم المنحنى أكثر دقة وأقرب للواقع إذا كان زمن التركيز لمياه السيول أقل من أو يساوي ١٠ ساعات وهو لاشك زمن طويل يوحي بترامي أحواض الصرف وكبر مساحتها.

كما أن هذه الطريقة تعتمد بشكل أساسي على التقدير الدقيق للمعاملات الهيدرولوجية التالية للعاصفة التصميمية :

- التوزيع الزمني للعاصفة الممطرة .
- الفواقد الإبتدائية للأمطار والتخزين الأولي لحوض الصرف والمتعلقة بكمية المياه المختزنة ببرك التجميع والمناطق المنخفضة بالحوض وكذلك المستنفذة في عملية الترطيب المبدئي لسطح الحوض .
- معدل الرشح خلال حبيبات التربة **Infiltration Rate** الذي يقل تدريجياً مع مرور الوقت من بداية العاصفة المطرية حتى يصل لقيمة ثابتة تتوقف في الغالب على خصائص التربة الفيزيائية وتركيبها الإنشائي ونسبة المواد العضوية فيها .

ولإيضاح كيفية تطبيق طريقة رقم المنحنى وشرح جوانبها نرى أنه لابد من تناول تفاصيل البيانات اللازم تجهيزها ، والمعادلات التطبيقية المختلفة المستخدمة، وتصنيف التربة المكونة لأحواض الصرف بحسب خصائصها الفيزيائية ومعدلات الرشح الخاصة بها ، كما ينبغي علينا أن نتناول كيفية تفاوت رقم المنحنى وتأثره بحالة الحوض وخصائص التربة ومكوناتها والمحتوى الرطوبي لها قبل العاصفة مباشرة بشيءٍ من التفصيل كما يلي :

أ ـ البيانات اللازمة لتطبيق الطريقة :

تتطلب طريقة رقم المنحنى تجهيز البيانات التالية لحوض الصرف كي يمكن تطبيقها بسهولة :

- مساحة حوض الصرف **Watershed Area** (هكتار) .
- حساب زمن التركيز لجريان مياه السيول فوق سطح الحوض (ساعة) .
- رقم منحنى السيل **Runoff Curve Number, RCN** .
- قيمة أقصى معدل تساقط أمطار يومي على مدينة الرياض للعاصفة الممطرة المقابل للفترة التكرارية التصميمية (مم/يوم).

وفي حالة أحواض الصرف ذات الأنشطة المتعددة والإستخدامات المختلفة يتم حساب متوسط رقم المنحنى لسطح الحوض بطريقة تقريبية ، حيث يتم تقسيم الحوض في هذه الحالة إلى مجموعة أحواض فرعية تختلف في عددها باختلاف الأنشطة وطبيعة استخدام كلٍ منها ، كما يتم حساب متوسط قيمة رقم منحنى خط تصريف السيول عند المطبق رقم **(N)** باستخدام المعادلات التالية :

$$RCN_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{i=M} A_i \times RCN_i}{\sum_{i=1}^{i=M} A_i} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2-14a)}$$

$$RCN_{ave}^{N} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N-1} A_i \times RCN_{ave_i}}{\sum_{i=1}^{i=N-1} A_i} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2-14b)}$$

حيث أن :

- RCN_{ave} = قيمة رقم المنحنى لحوض صرف ذو سطح متعدد الأنشطة.
- RCN_{ave}^{N} = متوسط رقم منحنى الخط لمساحة حوض الصرف الكلية لخط تصريف السيول من المطبق رقم (١) وحتى المطبق رقم **(N)**.
- i = عدد الأحواض الفرعية لحوض الصرف الخاص بمطبق ما ، وكذا المطابق المقامة على خط تصريف السيول ، ويبدأ عادة بقيمة الواحد الصحيح .
- M = عدد الأحواض الفرعية لحوض الصرف بحسب الأنشطة والإستخدام .
- N = رقم المطبق المراد حساب متوسط رقم منحنى الخط عنده .

ب - المعادلات التطبيقية لطريقة رقم المنحنى :

في هذه الطريقة يتم تقدير عمق مياه السيول **(Runoff Depth R)** على وحدة المساحات فوق سطح أحواض الصرف باستخدام المعادلة التالية:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{.....} \quad (2\text{-}15)$$

حيث إن :

- R = عمق مياه السيل **Runoff Depth** المتوقع حدوثه على وحدة المساحات من حوض الصرف (مم) .
- P = أقصى معدل يومي لتساقط مياه الأمطار **Precipitation Rate** (مم/يوم) للعاصفة المطرة التصميمية ، والجدول رقم (٢ -٦) يبين قيم أقصى معدل يومي لتساقط مياه الأمطار على مدينة الرياض للفترات التكرارية المختلفة (١٩٦٣م -٢٠٠٠م) .
- I_a = مقدار الفواقد الإبتدائية واستيعاب الحوض الأولي للعاصفة المطرة **Initial Abstraction** (مم) ، ويشمل التخزين السطحي في تعاريج سطح الحوض ، وكمية مياه الأمطار المختزنة على أسطح أوراق الأشجار والنباتات والغطاء النباتي للحوض – إن وجد – ومياه الأمطار التي تسربت في باطن التربة ..... الخ .
- S = أقصى سعة تخزينية **(Potential Maximum Retention)** لحوض الصرف المتساقط عليه الأمطار (مم) .

ويمكن حساب السعة التخزينية القصوى لحوض الصرف بالمعادلة التالية :

$$S = z\left(\frac{100}{RCN} - 1\right) \quad \text{.....} \quad (2\text{-}16)$$

حيث إن :

- z = ثابت تتوقف قيمته على نظام الوحدات المتبع ، z = ٢٥٤ للوحدات المترية.
- RCN = رقم منحنى السيل **(Runoff Curve Number)** ، وتتوقف قيمته على نوع تربة الحوض ونوع الإستخدام والأنشطة الحياتية التي تمارس على سطحه ، والجداول أرقام (٢ -١٢) حتى (٢ -١٥) تبين قيم رقم منحنى السيل لأصناف التربة المختلفة ومختلف أنواع الأنشطة.

كما يمكن التعبير عن الفواقد الإبتدائية واستيعاب الحوض الأولي للعاصفة المطرة **(Initial Abstraction I_a)** بالمعادلة التالية :

$$I_a = 0.20 \times S \quad \text{(2-17)}$$

وبالتعويض بالمعادلة رقم (٢ -١٧) في المعادلة رقم (٢ -١٥) يمكن التعبير عن عمق مياه السيول **(Runoff Depth R)** على وحدة المساحات فوق سطح أحواض الصرف بالمعادلة التالية:

$$R = \frac{(P - 0.2 \times S)^2}{P + 0.8 \times S} \quad \text{(2-18)}$$

كذلك يمكن الحصول على معدل تدفق مياه السيول لوحدة المساحات ولوحدة عمق المطر المتساقط على سطح الحوض ويعرف بوحدة التدفق الأقصى **(Unit Peak Discharge)** باستخدام المعادلة :

$$q_u = \left(10^{C_o - 3.36609}\right) \times \left(T_c^{C_1 + C_2 \times \log(T_c)}\right) \quad \text{(2-19)}$$

حيث إن :

- q_u = وحدة التدفق الأقصى (م^3/ث/كم^2/مم) .
- T_c = زمن التركيز (ساعة) .
- C_o, C_1, C_2 = ثوابت تتوقف قيمتها على نسبة الفواقد الإبتدائية من مياه الأمطار والإستيعاب الأولي لحوض الصرف **(I_a/P)** ، وتم تحديدها بناء على دراسات احصائية لقياسات حقلية كما هو موضح بالجدول رقم (٢ -١٦) ، وإذا كانت نسبة هذه الفواقد **(I_a/P)** أقل من ٠,١٠ ففي هذه الحالة يتم اعتبار القيم المقابلة لنسبة **(I_a/P)** = ٠,١٠ ، وللقيم غير الموضحة بالجدول وأقل من ٠,٥٠ فيتم الحصول عليها بالنسبة والتناسب **Interpolation** .

وأخيرا يتم الحصول على التدفق الأقصى للجريان السطحي لمياه السيول فوق سطح حوض الصرف باستخدام المعادلة التالية :

$$Q = q_u \times A_B \times R \times F \quad \text{(2-20)}$$

حيث أن :

- Q = التدفق الأقصى لمياه السيول على كامل مساحة حوض الصرف (م^3/ثانية) .
- A_B = مساحة حوض الصرف (كم^2) .
- R = عمق مياه السيل **Runoff Depth** المتوقع حدوثه على وحدة المساحات من حوض الصرف (مم) ، الذي تم حسابه باستخدام المعادلة (٢ -١٨) .
- F = معامل لتصحيح قيمة الجريان السطحي نتيجة وجود برك التجميع بحوض الصرف ، وتحدد قيمته من الجدول رقم (٢ -١٧) .

جدول (٢-١٢) رقم منحنى السيل للمناطق الحضرية (Urban Areas)

نوع الغطاء النباتي والظروف الهيدرولوجية لحوض الصرف	النسبة المئوية للمنطقة الصماء	رقم منحنى السيل حسب تصنيف التربة			
		A	B	C	D
مساحات مفتوحة (متنزهات، حدائق، ملاعب الجولف، مقابر، ....الخ)					
• غطاء نباتي ضعيف Poor condition (grass cover < 50%)		٦٨	٧٩	٨٦	٨٩
• غطاء نباتي متوسط Fair condition (grass cover 50% to 75%)		٤٩	٦٩	٧٩	٨٤
• غطاء نباتي جيد Good condition (grass cover > 75%)		٣٩	٦١	٧٤	٨٠
أماكن إنتظار السيارات، أسطح المباني، ومداخل الطرق المرصوفة، ....الخ (باستثناء حرم الطريق) Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		٩٨	٩٨	٩٨	٩٨
الشوارع والطرق Streets and roads					
• المرصوفة وبها أرصفة ومصارف للمياه (مصائد أمطار) (باستثناء حرم الطريق)		٩٨	٩٨	٩٨	٩٨
• المرصوفة وبها قنوات مفتوحة (بما في ذلك حرم الطريق)		٨٣	٨٩	٩٢	٩٣
• الزلطية (بما في ذلك حرم الطريق)		٧٦	٨٥	٨٩	٩١
• الترابية (بما في ذلك حرم الطريق)		٧٢	٨٢	٨٧	٨٩
المناطق الصحراوية بجوار المناطق الحضرية Western desert urban areas					
• الحدائق الطبيعية الصحراوية		٦٣	٧٧	٨٥	٨٨
• الحدائق الصناعية الصحراوية		٩٦	٩٦	٩٦	٩٦
المناطق الحضرية Urban districts					
• أماكن تجارية Commercial and business	٨٥	٨٩	٩٢	٩٤	٩٥
• أماكن صناعية Industrial	٧٢	٨١	٨٨	٩١	٩٣
المناطق السكنية Residential districts by average lot size مقسمة طبقاً لمساحة تجمعات المباني					
• ١/٨ إيكر (acre) أو أقل (٥٠٦ متر مربع أو أقل)	٦٥	٧٧	٨٥	٩٠	٩٢
• ١/٤ إيكر (acre) (١٠١٢ متر مربع)	٣٨	٦١	٧٥	٨٣	٨٧
• ١/٣ إيكر (acre) (١٣٥٠ متر مربع)	٣٠	٥٧	٧٢	٨١	٨٦
• ١/٢ إيكر (acre) (٢٠٢٤ متر مربع)	٢٥	٥٤	٧٠	٨٠	٨٥
• ١ إيكر (acre) (٤٠٤٧ متر مربع)	٢٠	٥١	٦٨	٧٩	٨٤
• ٢ إيكر (acre) (٨٠٩٤ متر مربع)	١٢	٤٦	٦٥	٧٧	٨٢
إمتداد المناطق الحضرية Developing urban areas (أماكن جديدة بدون زراعات)		٧٧	٨٦	٩١	٩٤

جدول (٢-١٣) رقم منحنى السيل للمناطق المنزرعة

نوع الغطاء	الوصف	الظروف الهيدرولوجية*	رقم منحنى السيل حسب تصنيف التربة			
			A	B	C	D
أراض في فترة الراحة بين المواسم الزراعية Fallow	أرض فضاء Bare soil		٧٧	٨٦	٩١	٩٤
	بقايا المحصول السابق Crop residue cover (CR)	ضعيفة	٧٦	٨٥	٩٠	٩٣
		جيدة	٧٤	٨٣	٨٨	٩٣
محاصيل متراصة Row Crops	صف مستقيم Straight Row (SR)	ضعيفة	٧٢	٨١	٨٨	٩١
		جيدة	٦٧	٧٨	٨٥	٨٩
	صف مستقيم مع بقايا المحصول السابق SR + CR	ضعيفة	٧١	٨٠	٨٧	٩٠
		جيدة	٦٤	٧٥	٨٢	٨٥
	أرض طبيعية Contoured (C)	ضعيفة	٧٠	٧٩	٨٤	٨٨
		جيدة	٦٥	٧٥	٨٢	٨٦
	أرض طبيعية مع بقايا المحصول السابق C + CR	ضعيفة	٦٩	٧٨	٨٣	٨٧
		جيدة	٦٤	٧٤	٨١	٨٥
	أرض طبيعية بمصاطب Contoured & terraced (C&T)	ضعيفة	٦٦	٧٤	٨٠	٨٢
		جيدة	٦٢	٧١	٧٨	٨١
	أرض طبيعية بمصاطب مع بقايا المحصول السابق C&T + CR	ضعيفة	٦٥	٧٣	٧٩	٨١
		جيدة	٦١	٧٠	٧٧	٨٠
حبوب صغيرة Small grain	صف مستقيم Straight row (SR)	ضعيفة	٦٥	٧٦	٨٤	٨٨
		جيدة	٦٣	٧٥	٨٣	٨٧
	صف مستقيم مع بقايا المحصول السابق SR + CR	ضعيفة	٦٤	٧٥	٨٣	٨٦
		جيدة	٦٠	٧٢	٨٠	٨٤
	أرض طبيعية Contoured (C)	ضعيفة	٦٣	٧٤	٨٢	٨٥
		جيدة	٦١	٧٣	٨١	٨٤
	أرض طبيعية مع بقايا المحصول السابق C + CR	ضعيفة	٦٢	٧٣	٨١	٨٤
		جيدة	٦٠	٧٢	٨٠	٨٣
	أرض طبيعية بمصاطب Contoured & terraced (C&T)	ضعيفة	٦١	٧٢	٧٩	٨٢
		جيدة	٥٩	٧٠	٧٨	٨١
	أرض طبيعية بمصاطب مع بقايا المحصول السابق C&T + CR	ضعيفة	٦٠	٧١	٧٨	٨١
		جيدة	٥٨	٦٩	٧٧	٨٠

❖ وتعكس الظروف الهيدرولوجية للتربة التأثير المتبادل لطبيعة استخدام السطح والغطاء النباتي وقيمة معدل الرشح وشدة الجريان السطحي ، وتوصف الظروف الهيدرولوجية بالجيدة في حالة التربة الرخوة ذات الصنف (D) شديدة النفاذية والجريان السطحي البسيط ، بينما توصف بالضعيفة في حالة التربة ذات الصنف (A) ضعيفة النفاذية والجريان السطحي الشديد .

تابع جدول (٢-١٣) رقم منحنى الجريان للمناطق المنزرعة

نوع الغطاء	الوصف	الظروف الهيدرولوجية	تصنيف التربة A	B	C	D
زراعات محكمة أو علي نطاق واسع Close-seeded or broadcast		ضعيفة جيدة	٦٦ ٥٨	٧٧ ٧٢	٨٥ ٨١	٨٩ ٨٥
البقوليات أو المناوبات Legumes or Rotation		ضعيفة جيدة	٦٤ ٥٥	٧٥ ٦٩	٨٣ ٧٨	٨٥ ٨٣
أعشاب Meadow	أرض طبيعية بمصاطب Contoured & terraced (C&T)	ضعيفة جيدة	٦٣ ٥١	٧٣ ٦٧	٨٠ ٧٦	٨٣ ٨٠
ملاحظات : يتم اعتبار بقايا المحصول السابق إذا كانت تمثل على الأقل مساحة ٥٪ من سطح التربة خلال العام .						

جدول (٢-١٤) رقم منحنى الجريان لمناطق المراعي والغابات

نوع الغطاء	الظروف الهيدرولوجية	تصنيف التربة A	B	C	D
المراعي والأراضي العشبية المستخدمة في الرعي Pasture, grassland جيدة إذا كان ≥ ٥٠٪ من مساحة الأرض بها غطاء نباتي. ضعيفة إذا كان ≤ ٧٥٪ بها غطاء نباتي	ضعيفة متوسطة جيدة	٦٨ ٤٩ ٣٩	٧٩ ٦٩ ٦١	٨٦ ٧٩ ٧٤	٨٩ ٨٤ ٨٠
المسطحات الخضراء المحمية Meadow – continuous grass, protected from grazing		٣٠	٥٨	٧١	٧٨
خليط من الحشائش المتناثرة Brush - brush-weed-grass mixture	ضعيفة متوسطة جيدة	٤٨ ٣٥ ٣٠	٦٧ ٥٦ ٤٨	٧٧ ٧٠ ٦٥	٨٣ ٧٧ ٧٣
غابات وبها أراض عشبية Woods – grass combination (orchard or tree farm) جيدة في حالة الغابات المحمية من الرعي . متوسطة في حالة الغابات القليلة ويتم فيها رعي بدون حرق للحشائش. ضعيفة في حالة الأشجار الصغيرة والغابات القليلة وتم إزالة الحشائش بالرعي أو الحرق	ضعيفة متوسطة جيدة	٥٧ ٤٣ ٣٢	٧٣ ٦٥ ٥٨	٨٢ ٧٦ ٧٢	٨٦ ٨٢ ٧٩

تابع جدول (٢-١٤) رقم منحنى الجريان لمناطق المراعي والغابات

نوع الغطاء	الظروف الهيدرولوجية	تصنيف التربة A	B	C	D
غابات Woods جيدة في حالة الغابات المحمية من الرعي . متوسطة في حالة الغابات القليلة ويتم فيها رعي بدون حرق للحشائش . ضعيفة في حالة الأشجار الصغيرة والغابات القليلة وتم إزالة الحشائش بالرعي أو الحرق	ضعيفة متوسطة جيدة	٤٥ ٣٦ ٣٠	٦٦ ٦٠ ٥٥	٧٧ ٧٣ ٧٠	٨٣ ٧٩ ٧٧
المنافع الزراعية والمخازن والممرات Farmsteads – buildings, lanes, driveways		٥٩	٧٤	٨٢	٨٦

جدول (٢-١٥) رقم منحنى الجريان للمناطق الجافة وشبه الجافة

نوع الغطاء	الظروف الهيدرولوجية	تصنيف التربة A	B	C	D
خليط من الأعشاب والحشائش الضارة Herbaceous - mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	ضعيفة متوسطة جيدة	- - -	٨٠ ٧١ ٦٢	٨٧ ٨١ ٧٤	٩٣ ٨٩ ٨٥
خليط من الأشجار والأخشاب Oak-aspen - mountain brush, mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	ضعيفة متوسطة جيدة	- - -	٦٦ ٤٨ ٣٠	٧٤ ٥٧ ٤١	٧٩ ٦٣ ٤٨
أشجار الصنوبر والأشجار المماثلة لها Pinyon-juniper - pinyon, juniper, or both; grass understory.	ضعيفة متوسطة جيدة	- - -	٧٥ ٥٨ ٤١	٨٥ ٧٣ ٦١	٨٩ ٨٠ ٧١
الحشائش المتوسطة الحجم Sagebrush with grass understory.	ضعيفة متوسطة جيدة	- - -	٦٧ ٥١ ٣٥	٨٠ ٦٣ ٤٧	٨٥ ٧٠ ٥٥
الحشائش الصغيرة مثل الصبار Saltbush, greasewood, creosote- bush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	ضعيفة متوسطة جيدة	٦٣ ٥٥ ٤٩	٧٧ ٧٢ ٦٨	٨٥ ٨١ ٧٩	٨٨ ٨٦ ٨٤

تصنيف الظروف الهيدرولوجية

- جيدة إذا ≤ ٧٠٪ من مساحة الأرض مغطاة بحشائش
- متوسطة إذا كان الغطاء من ٣٠ -٧٠٪ من مساحة الأرض
- ضعيفة إذا كان الغطاء ≥ ٣٠٪ من مساحة الأرض.

جدول (٢-١٦) قيم الثوابت المختلفة بالمعادلة رقم (٢-١٥)

(I_a/P)	C_0	C_1	C_2
٠,١٠	٢,٥٥٣٢٣	٠,٦١٥١٢ -	٠,١٦٤٠٣ -
٠,٣٠	٢,٤٦٥٣٢	٠,٦٢٢٥٧ -	٠,١١٦٥٧ -
٠,٣٥	٢,٤١٨٩٦	٠,٦١٥٩٤ -	٠,٠٨٨٢ -
٠,٤٠	٢,٣٦٤٠٩	٠,٥٩٨٥٧ -	٠,٠٥٦٢١ -
٠,٤٥	٢,٢٩٢٣٨	٠,٥٧٠٠٥ -	٠,٠٢٢٨١ -
٠,٥٠	٢,٢٠٢٨٢	٠,٥١٥٩٩ -	٠,٠١٢٥٩ -

ج - تصنيف التربة بحسب معدل الرشح (Infiltration Rate) :

إن خصائص التربة المكونة لأحواض الصرف وتركيبها الإنشائي ليؤثر تأثيراً مباشراً في العلاقة بين كمية الأمطار المتساقطة على الحوض ومقدار الجريان السطحي والسيول الناتجة من هذه الأمطار ، وفي طريقة رقم المنحنى يتم تصنيف التربة بحسب قيمة معدل سريان المياه خلال حبيباتها إلى أربعة أصناف رئيسية يمكن توضيح أهم ملامحها الإنشائية وخصائصها الفيزيائية على النحو التالي :

(أ) الصنف الأول Group (A) :

وهو تربة رملية **Sandy Soils** عميقة ومفككة ، قد تحتوي على بعض الغرين غير المتماسك ، وتتميز هذه التربة بمعدلات رشح عالية حتى وهي متشبعة بالمياه الأرضية ، ويتراوح معدل الرشح لهذا الصنف من التربة بحوالي ٧,٦ مم/ساعة وحتى ١١,٤ مم/ساعة ، وكما هو واضح فإن الجريان السطحي فوق أحواض صرف تتكون من مثل هذه التربة سيكون ضعيفاً .

(ب) الصنف الثاني Group (B) :

وهو تربة رملية طينية **Sandy Loam** متوسطة العمق وحبيباتها ما بين الناعمة **fine** ومتوسطة الخشونة **Moderate Coarse** ، وتتميز هذه التربة بمعدلات رشح بين المتوسطة والعالية في حال التشبع بالمياه الأرضية ، ويتراوح معدل الرشح لهذا الصنف من التربة بحوالي ٣,٨ مم/ساعة وحتى ٧,٦ مم/ساعة ، وكما هو واضح فإن الجريان السطحي فوق أحواض صرف تتكون من مثل هذه التربة سيكون بين الضعيف والمتوسط .

(ج) الصنف الثالث Group (C) :

هو تربة طينية غرينية **Clay Loam** ، الطبقة السطحية لها جيدة الدمك ولا تحتوي على نسبة عالية من المواد العضوية ، وحبيباتها متوسطة النعومة **Moderately Fine** ، وتتميز هذه التربة بمعدلات رشح بين المتوسطة والضعيفة ، ويتراوح معدل الرشح من ١,٣ مم/ساعة وحتى ٣,٨ مم/ساعة في حال

التشبع بالمياه الأرضية ، وكما هو واضح فإن الجريان السطحي فوق أحواض صرف تتكون من مثل هذه التربة سيكون بين متوسط وشديد القوة.

(د) الصنف الرابع (Group (D :

هو تربة طينية **Clay Soil** يليها طبقة صماء ، ومستوى المياه الأرضية فيها مرتفع بصفة دائمة ، وتتميز هذه التربة بمعدلات رشح ضعيفة جداً حيث يتراوح من ٠,٠٥ مم/ساعة وحتى ١,٣ مم/ساعة في حال التشبع بالمياه الأرضية ، وكما هو واضح فإن الجريان السطحي فوق أحواض صرف تتكون من مثل هذه التربة سيكون شديد القوة.

ويجب حال تصنيف تربة أحواض الصرف الأخذ في الإعتبار تأثير التطوير العمراني الذي سيلحق بسطح هذه الأحواض ، ومدى تأثر حبيبات تربتها بحركة المركبات عليها وتغيير خصائصها الفيزيائية .

جدول (٢-١٧) معامل التصحيح للجريان السطحي (F) نتيجة وجود برك التجميع والمستنقعات بحوض الصرف

النسبة المئوية لمساحات برك التجميع والمستنقعات	معامل التصحيح (F)
صفر ٪	١,٠٠
٠,٢ ٪	٠,٩٧
١ ٪	٠,٨٧
٣ ٪	٠,٧٥
٥ ٪	٠,٧٢

د - رقم المنحنى (Runoff Curve Number (RCN :

إن الفواقد التي تستقطع من كميات مياه الأمطار المتساقطة على حوض صرفٍ ما تعتمد بشكلٍ أساسي على خصائص سطح الحوض وطبيعة الأنشطة المقامة عليه ، وفي طريقة رقم المنحنى يتم توصيف رقم منحنى السيل لحوض الصرف بالنظر في هذين العاملين (خصائص السطح ، طبيعة الأنشطة) ، وقيمة هذا الرقم تعكس مدى شدة مياه السيول والجريان السطحي فوق سطح الحوض ومدى ضعفها ، فأحواض الصرف ذات الأسطح المصمتة والتربة المكونة لها من الصنف الرابع **(Group D)** يكون رقم المنحنى لها كبيراً ، وأما الأحواض ذات الأسطح الرخوة والتربة المكونة لها من الصنف الأول **(Group A)** ومعدل الرشح لها عالي القيمة فإن رقم المنحنى لها يكون صغيراً .

وتستخدم قيم رقم منحنى الجريان السطحي والمعطاة بالجداول أرقام (٢ -١٢)، (٢ -١٣)، (٢ -١٤) ، (٢ -١٥) لأحواض الصرف ذات تربة محتوها الرطوبي متوسط - في حالة ما قبل العاصفة الممطرة مباشرةً **(Antecedent Moisture Conditions)** - ذو درجة متوسطة **(AMCII)** ، ما يعني أن التربة تكون في حالة ليست بالجافة **(AMCI)** ولا هي بالرطبة المتشبعة بالمياه الأرضية **(AMCIII)** ولكن بين هذه وتلك .

ورغم أنه عادةً ما تكون التربة المكونة لأحواض الصرف في مدينة الرياض من النوع الجاف والمحتوى الرطوبي من الدرجة الدنيا **(AMCI)** - نظراً للتكوين الجيولوجي لمدينة الرياض وطبيعة المناخ بالمملكة - إلا أنه **يوصى أثناء التصميم الهيدرولوجي لشبكات تصريف السيول ومنشآت الحماية من أخطارها بمراعاة أن يتم اعتبار التربة من النوع الرطب والمحتوى الرطوبي من الدرجة القصوى (AMCIII)** لدواعي الأمان والسلامة في التصميم .

وعلى كلٍ يمكن تصحيح رقم المنحنى المعطى بهذه الجداول إذا كان المحتوى الرطوبي للتربة - قبل العاصفة الممطرة مباشرةً - ذا درجة دنيا **(AMCI)** بمعنى أن التربة جافة – لكنها لم تصل بعد إلى نقطة الذبول **Welting Point** - باستخدام المعادلة التالية :

$$RCN(I) = \left(\frac{4.2 \times RCN(II)}{10 - 0.058 \times RCN(II)} \right) \quad \text{..... (2-21)}$$

كما يمكن تصحيح رقم المنحنى المعطى بالجداول أرقام (٢ -١٢)، (٢ -١٣)، (٢ -١٤)، (٢ -١٥) إذا كان المحتوى الرطوبي للتربة - قبل العاصفة الممطرة مباشرةً - ذو درجة قصوى **(AMC III)** بمعني أن التربة رطبة باستخدام المعادلة التالية :

$$RCN(III) = \left(\frac{23 \times RCN(II)}{10 + 0.13 \times RCN(II)} \right) \quad \text{..... (2-22)}$$

حيث إن :

- $RCN(I)$ = رقم المنحنى لحوض الصرف حال أن تكون التربة جافة والمحتوى الرطوبي ذو درجة دنيا **(I)** .
- $RCN(II)$ = رقم المنحنى لحوض الصرف حال أن تكون التربة متوسطة الرطوبة والمحتوى الرطوبي ذو درجة دنيا **(II)** ، وهي القيم الموجودة بالجداول المعطاة .
- $RCN(III)$ = رقم المنحنى لحوض الصرف حال أن تكون التربة رطبة والمحتوى الرطوبي ذو درجة قصوى **(III)** .

٥ ـ خطوات تطبيق طريقة رقم المنحنى :

١ - يتم تحديد مساحة حوض الصرف (كم^{٢}) .

٢ - يتم تصنيف التربة طبقاً لسعة الترشيح إلى **(A, B, C, or D)** .

٣ - يتم تصنيف التربة المكونة لحوض الصرف في حالة ما قبل العاصفة المطرية مباشرة إلى تربة جافة **(AMCI)**أو متوسطة **(AMCII)** أو رطبة **(AMCIII)** وذلك بحسب المحتوى الرطوبي لها .

٤ - يتم تحديد رقم المنحنى **RCN** لحوض الصرف بحسب الإستخدام وطبيعة النشاط ، وذلك من الجداول أرقام (٢ -١٢) ، (٢ -١٣) ، (٢ -١٤) ، (٢ -١٥) .

٥ - كما يتم تعديل رقم المنحنى بحسب تصنيف التربة المذكور بالخطوة رقم (٣) ، وذلك باستخدام المعادلات أرقام (٢ -٢١) ، (٢ -٢٢) ، وإيجاد متوسط رقم المنحنى بالمعادلة رقم (٢ -١٤) .

٦ - يتم تحديد السعة التخزينية القصوى **(Potential Maximum Retention S)** لحوض الصرف (مم) باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٦) .

٧ - يتم تحديد قيمة الإستيعاب الأولي للتربة **(Initial Abstraction I_a)** (مم) من المعادلة (٢ -١٧) .

٨ - يتم تحديد الفترة التكرارية التصميمية للعاصفة المطرة من الجداول أرقام (٢ -٨) ، (٢ -٩) .

٩ - يتم تحديد أقصى معدل يومي لتساقط أمطار **(Precipitation P)** على مدينة الرياض (مم/يوم) من الجدول رقم (٢ -٦) .

١٠ - يتم تحديد عمق مياه السيول **(Runoff Depth R)** على وحدة المساحات فوق سطح أحواض الصرف من المعادلة رقم (٢ -١٨) .

١١ - يتم تحديد المعاملات **(C_o, C_1, C_2)** من الجدول رقم (٢ -١٦) والتي تعتمد على نسبة **(I_a/P)** .

١٢ - يتم حساب زمن التركيز (ساعة) لمياه السيول فوق سطح الحوض حسب خصائص المسار الحرج، باستخدام المعادلات أرقام (٢ -١)، (٢ -٣)، (٢ -٤)، (٢ -٥)، (٢ -٦)، (٢ -٧)، (٢ -٨) .

١٣ - يتم حساب وحدة التدفق الأقصى من مياه السيول **(Unit Peak Discharge q_u)** وذلك باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٥) .

١٤ - يتم تحديد قيمة معامل التصحيح **(F)** لقيمة الجريان السطحي لمياه السيول نتيجة وجود برك التجميع بحوض الصرف من الجدول رقم (٢ -١٦) .

١٥ - وأخيراً يتم حساب التدفق الأقصى للجريان السطحي لمياه السيول **(Peak Discharge Q)** فوق سطح حوض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٧) .

مثال (٢-٣) :

بالمثال (٢ -٢) استخدم طريقة رقم المنحنى **SCS CN Method** في حساب أقصى معدل لتدفق مياه السيول فوق سطح الحوض عند مداخل مصائد الأمطار ليتم تصريفها من خلال خط أنابيب سيتم إنشاؤه خصيصاً لهذا الحوض وذلك وفق البيانات التصميمية التالية :

- التربة المكونة للحوض رملية من الصنف **(C)** .
- الحالة العامة للتربة المكونة للحوض رطبة وذلك قبل هطول العاصفة الممطرة مباشرة والمحتوى الرطوبي لها من الدرجة الثالثة **AMC-III** .
- مساحة برك التجميع والمستنقعات حوالي ٤٪ من مساحة حوض الصرف .

خطوات الحل :

١ - مساحة حوض الصرف A_B = ٤٥ هكتار .

٢ - التربة المكونة للحوض من الصنف **(C)** .

٣ - الحالة العامة للتربة المكونة للحوض رطبة وذلك قبل هطول العاصفةالممطرة مباشرة والمحتوى الرطوبي لها من الدرجة الثالثة **AMC-III** .

٤ - وفقاً لاستخدام سطح حوض الصرف وصنف التربة المكونة لحوض الصرف وهو **(C)** ، وباستخدام الجدول رقم (٢ -١٢) والمعادلة رقم (٢ -٢١) فإن رقم المنحنى المعدل **(RCN)** المقابل للأنشطة المختلفة موضح كما هو بالجدول أدناه .

إستعمالات الأرض	النسبة المئوية للمساحة	رقم المنحنى RCN(II)	رقم المنحنى المعدل RCN(III)
إسكان أسرة واحدة (فيلات)	٥٠٪	٩٠	٩٥,٣٩
عمارات سكنية منفصلة	١٠٪	٩٠	٩٥,٣٩
شوارع أسفلتية	٢٥٪	٩٨	٩٨
حدائق (طبيعية)	١٥٪	٨٥	٩٢,٨٧

وباستخدام المعادلة رقم (٢ -١٤) ، فإن متوسط رقم المنحنى الممثل لسطح الحوض ككل = ٩٥,٦٧

٥ - يتم تحديد السعة التخزينية القصوى **(S)** لحوض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٦) هكذا :

$$S = 254 \times \left(\frac{100}{95.67} - 1 \right) = 11.51mm$$

٦ - تحديد الفواقد الإبتدائية والإستيعاب الأولي للحوض من مياه الأمطار المتساقطة باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٧) هكذا :

$$I_a = 0.2 \times S = 0.2 \times 11.51 = 2.30mm$$

٧ - تحديد الفترة التكرارية التصميمية باستخدام الجداول أرقام (٢ -٨)، (٢ -٩) وقد تم تحديدها سلفاً بالمثال (٢ -٢) بـ ١٠ سنوات .

٨ - تحديد أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض **(P)** من الجدول رقم (٢ -٦) للفترة التكرارية ١٠ سنوات وهي **P** = ٣٣,٠٨ مم/يوم .

٩ - تحديد عمق مياه السيول **Runoff Depth (R)** على وحدة المساحات فوق سطح حوض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٨) هكذا :

$$R = \frac{(33.08 - 0.2 \times 11.51)^2}{33.08 + 0.8 \times 11.51} = 22.40mm$$

١٠ - تحديد نسبة الفواقد الإبتدائية والإستيعاب الأولى لحوض الصرف من مياه الأمطار وذلك باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٧) ، وفي حالة كونها أقل من ٠,١٠ سيتم اعتبارها مساوية لـ ٠,١٠ :

$$\frac{I_a}{P} = \frac{2.30}{33.08} = 0.07 \cong 0.10$$

١١ - تحديد المعاملات **(C_o , C_1 , C_2)** ، وبالرجوع للجدول رقم (٢ -١٦) وبمعلومية قيمة النسبة $I_a/P = 0.10$ ، نجد أن :

$$C_o = 2.5532 \quad , \quad C_1 = -0.6151 \quad , \quad C_2 = -0.1640$$

١٢ - حساب زمن التركيز (ساعة) لمياه السيول فوق سطح الحوض حسب خصائص المسار الحرج ، وقد تم حسابه سلفاً بالمثال (٢ -٢) بـ ١٧,٤٤ دقيقة أي حوالي ٠,٢٩ ساعة .

١٣ - حساب وحدة التدفق الأقصى من مياه السيول **(Unit Peak Discharge q_u)** وذلك باستخدام المعادلة رقم (٢ -٢١) على النحو التالي :

$$q_u = \left(10^{2.5532-3.36609}\right) \times \left(0.29^{-0.6151-0.1640 \times Log(0.29)}\right) = 0.30m^3/\sec/km^2/mm$$

١٤ - تحديد قيمة معامل التصحيح **(F)** نتيجة وجود برك التجميع بحوض الصرف بنسبة ٤٪ وذلك بالنسبة والتناسب من الجدول رقم (٢ -١٧) لتكون **F = 0.815** .

١٥ - حساب التدفق الأقصى للجريان السطحي لمياه السيول **(Peak Discharge Q)** فوق سطح حوض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -٢٢) على النحو التالي :

$$Q = q_u \times A_B \times R \times F = 0.30 \times \frac{45}{100} \times 22.40 \times 0.815 = 2.42m^3/\sec$$

ـ الباب الثالث ـ

هيدروليكا السيول

٣ـ١ تمهيد :

تناولنا بالباب الثاني الدراسات الهيدرولوجية اللازم إجراؤها والإحاطة بها من كل من يتعامل مع تساقط الأمطار والعواصف المطرية المصاحبة لها والسيول الناتجة عنها ومن يتعرض – على وجه الخصوص – لتصميم شبكات تصريف مياه السيول ، وكانت الخلاصة من الدراسات المتعلقة بهيدرولوجيا السيول هي تحديد سمات العاصفة التصميمية والتقدير السليم والدقيق لكميات ومعدلات مياه السيول المتوقع حدوثها جراء عاصفة ممطرة محددة .

وفي هذا الباب سيتم تناول الدراسات الهيدروليكية اللازمة لنقل مياه السيول والأمطار المتساقطة على حوض صرفٍ ما حتى أماكن تجميعها والاستفادة منها والحيلولة دون مخاطرها والأضرار التي تلحق بالبنية التحتية للمدن والتجمعات العمرانية نتيجة القوى المدمرة المصاحبة لمياه السيول عادةً - خاصةً إذا كانت الخصائص الطبوغرافية لأحواض الصرف ذات انحدارات شديدة - وسيتم تحديد الخصائص الهندسية والأبعاد الآمنة لشبكة تصريف السيول اللازمة لنقل هذه المياه سواء كانت هذه الشبكات من الأودية والشعاب والقنوات المكشوفة أو من الأنابيب والقنوات الصندوقية .

والمقصود بالدراسات الهيدروليكية لمياه السيول هو تناول النظريات العلمية والمعادلات التطبيقية الضرورية لتصميم شبكات تصريف مياه السيول **(Open Channels, Pipes and Box Culverts)** من حيث العناصر التالية :

أ - تحديد الأبعاد الآمنة للقناة وتشمل :

- قنوات مكشوفة (عرض القاع ، عمق المياه ، الميول الجانبية للقطاع المائي).
- أنابيب (قطر) .
- قنوات صندوقية (عرض الفتحة ، ارتفاعها ، عدد الفتحات).

ب - تحديد السرعة الآمنة للمياه بحيث :

- لا تكون كبيرة فينتج عنها نحر لجدران القناة فتؤدي لانهيارها مع الزمن .
- ولا تكون صغيرة فينتج عنها ترسيب المواد العالقة – والتي غالباً ما تكون مصاحبة لمياه السيول – وتؤدي للإنسداد الكلي أو الجزئي للقناة وما ينتج عن ذلك من التأثير السلبي على كفاءة وفاعلية الشبكة .

ج - تحديد الإنحدارات الآمنة للشبكة بحيث يمكنها استيعاب كميات مياه السيول والأمطار المتساقطة دون فيضانها **(Overtopping)** من غرف التفتيش فتؤدي إلى التأثير السلبي في الحركة المرورية للشوارع والطرق .

وسيبدأ الباب بالحديث عن القنوات المكشوفة وخصائص جريان المياه بها والطرق المختلفة لتصميمها ، وسينتهي بالحديث عن القنوات الصندوقية والأنابيب وخصائص جريان المياه بها والطرق التطبيقية المختلفة لتصميمها .

٣ـ٢ خصائص الجريان بالقنوات المكشوفة :

إن جريان المياه في القنوات المكشوفة **Open Channel Flow** له خصائص وسمات معقدة حتى على الكثير ممن يعملون في هذا المجال ، ويرجع ذلك لتعدد العوامل والقوى الخارجية المؤثرة عليه وصعوبة وربما استحالة قياسها ، مما يدفع الباحثين في هذا المجال لتقديرها بوسائل وأساليب تقريبية ، وإن التعامل مع مجاري السيول (أودية أو شعاب أو قنوات تجميعية) من حيث التحكم في كمية التدفق المار أو توجيه حركة المياه من الشعاب الفرعية إلي الوديان الرئيسية وكذا إقامة منشآت التحكم اللازمة من سدود وعبارات وخلافه ليستلزم في المقام الأول الإلمام بالقواعد العامة للجريان خلال القنوات المكشوفة ومعرفة الطرق المختلفة والعوامل المؤثرة في تصميم مثل هذه القنوات .

كذلك يجب الإحاطة بمختلف أنواع الجريان وخصائص كل نوع ، وذلك بهدف الوصول لأسلوب علمي متكامل الغرض منه التحكم الأمثل في مياه السيول ودرء أخطارها وتحقيق الإستفادة القصوى منها .

وسوف يتم تناول المعايير والأسس والقواعد التي يجب إتباعها عند التعامل مع مجاري مياه السيول (شعاب وأودية) سواء في تصميم القطاعات المائية المختلفة لها على إمتداد مجرى السيل أو تهذيب تلك القطاعات وضمان ثباتها في المناطق التي يمر فيها السيل ، وبالأخص خلال التجمعات السكنية والمناطق العمرانية ، أو بغرض صيانتها ورفع كفاءة الأداء الهيدروليكي لها وذلك بما يتناسب مع كميات المياه القصوى المتوقع مرورها خلال هذه القطاعات ، مما يؤدي إلى ضمان أن تقوم هذه القنوات بكامل وظيفتها في نقل وتصريف مياه السيول بالشكل الآمن الذي يحول دون تعرض التجمعات السكنية والممتلكات العمرانية المتنامية على ضفافها لأي أخطار أو تلف وبما لا يؤثر على التطوير العمراني وعجلة التنمية .

٣ـ٢ـ١ تعريف إصطلاحي للقناة المكشوفة :

يمكن تعريف القنوات المائية المكشوفة **(Open Channels)** بأنها أي مجرى مائي سطحه العلوي معرَّض للضغط الجوي -بغض النظر عن الشكل الهندسي للقطاع ، ويتساوى في ذلك إذا كان القطاع مكشوفاً أو مغطى (بشرط ضمان تعرض سطحه العلوي للضغط الجوي علي امتداد مساره) .

٣-٢-٢ تصنيف القنوات المكشوفة : (Open Channels Classification)

يختلف تصنيف القنوات المائية المكشوفة بحسب نشأة المجرى نفسه وطبيعة حدوده وشكله الهندسي وإنتظامه وكذا إنتظام ميل القاع على طول مساره ، وفيما يلي يمكن تصنيف المجاري المائية المكشوفة إلى :

٣-٢-٢-١ حسب نشأة القناة :

أ ـ قناة طبيعية : (Natural)

وهي تلك القناة التي تم شق مسارها بصورة طبيعية على سطح الأرض دون تدخل للإنسان في تشكيل حدودها مثل مجاري الأنهار وروافدها ومجاري أودية السيول وشعابها الطبيعية ، وتتميز هذه القنوات بعدم انتظام خصائصها الهندسية والهيدروليكية على طول مسارها .

ب ـ قناة صناعية : (Artificial)

وهي القناة التي قام الإنسان بإنشائها بغض النظر عن الغرض الذي أنشأها من أجله وتتميز هذه القنوات بأن خصائصها الهندسية وخواصها الهيدروليكية محددة سلفاً ويمكن توقُّع التغيرات التي يمكن أن تحدث تحت تأثير جريان المياه بها.

٣-٢-٢-٢ حسب طبيعة الجدار :

أ ـ قناة ذات جدار صلب : (Rigid)

وهي القناة التي تتميز بثبات شكل قطاعها العرضي وعدم حدوث تغيُّرات نتيجة مرور المياه بها (لا يحدث بها نحر أو ترسيب) ، وهذه القنوات لا توجد في الطبيعة إلا بالمناطق الصخرية أو تكون القنوات مبطنة الجدران بالخرسانة العادية ونحوها .

ب ـ قناة ذات جدار قابل للنحر : (Alluvial)

وهي القناة التي يحدث بها تغير لشكل القاع والجوانب بمرور الوقت نتيجة جريان المياه بها (يحدث بها نحر وترسيب) .

وتختلف مجاري السيول تبعاً لهذا التصنيف بحسب نوع التربة التي يمر بها مجرى السيل وحجم حبيباتها وتركيبها الإنشائي حيث نجد أن الشعاب الفرعية - والتي غالباً ما توجد بالمناطق الجبلية - لا يحدث بها نحر إلا نادراً ، على عكس الوديان الرئيسية والقنوات التجميعية لمياه السيول - التي غالباً ما تمر بأراض رسوبية - يمكن أن يحدث فيها النحر بصورة كبيرة ومن ثم تحدث عمليات الترسيب ، وقد تمر الشعاب بمناطق رسوبية والوديان بمناطق جبلية والأمر يتوقف على نوع التربة التي يمر بها مجرى السيل .

٣-٢-٢-٣ حسب شكل القطاع الهندسي :

يمكن تقسيم القطاعات العرضية للمجاري المائية حسب الشكل إلي (قطاعات مستطيلة – قطاعات مثلثة – قطاعات شبه منحرفة – قطاعات نصف دائرية – قطاعات مركبة .... إلخ) ، وعادة ما يتم تصميم قطاع المجرى المائي على شكل شبه منحرف **(Trapezoidal Cross-Section)** لكونه الأكثر إتزاناً ، ولكن بمرور الوقت تصبح هذه القطاعات غير منتظمة الشكل بفعل عمليات النحر والترسيب والصيانة المتلاحقة .

٣-٢-٢-٤ حسب إنتظام شكل القطاع :

أ ـ قنوات منتظمة الشكل : (Prismatic)

وهي تلك القنوات التي يظل بها شكل القطاع وأبعاده الهندسية وكذلك إنحدار قاع المجرى ثابتاً على طول مساره ، ونادراً ما تجد مثل هذه القنوات في الطبيعة نظراً لإختلاف خصائص التربة من منطقة لأخرى وكذا إنحدار سطح وتعرض التدفق المار بالقناة للزيادة أو النقصان بحسب الغرض من إستخدام القناة نفسها وغير ذلك .

ب ـ قنوات غير منتظمة الشكل : (Non-Prismatic)

وهي تلك القنوات التي يتغير بها شكل القطاع وأبعاده الهندسية من مكان لآخر على إمتداد مسار المجرى المائي ، ويمكن أن يكون جزء من مسار المجرى المائي منتظم الشكل وآخر غير منتظم بحسب نوع التربة التي يمر بها وخصائصها الإنشائية ، وعادة ما تكون مجاري السيول (أودية وشعاب) من النوع غير المنتظم الشكل إلا في بعض الأحباس التي تمر بتربة صخرية .

٣-٢-٣ تصنيف الجريان بالقنوات المكشوفة : (Types of Open Channel Flow)

هناك العديد من العوامل والمعاملات التي تؤثر في تصنيف الجريان بالمجاري المائية ومدى تغير الخصائص الهيدروليكية لجريان المياه تبعاً لهذه المعاملات مثل (الزمن – المسافة – حالة تغير الجريان – قيمة رقم فرود **Froude No.** أو قيمة رقم رينولدز **Reynolds No.**) ، وفيما يلي نستعرض الطرق المختلفة المستخدمة في تصنيف جريان المياه بالمجاري المائية المكشوفة ، كما هو موضح الشكل رقم (٣ -١) :

٣-٢-٣-١ حسب الزمن : (Time)

أ ـ جريان مستقر : (Steady)

إن أبسط حالات الجريان هو الحالة المستقرة التي لا تتغير فيها الخصائص الهيدروليكية (عمق المياه، السرعة ، التدفق) على إمتداد مسار القناة عند نفس القطاع مع الزمن .

ب ـ جريان غير مستقر : (Un-Steady)

وهو الجريان الذي تتغير خصائصه الهيدروليكية (عمق المياه ، السرعة ، التدفق) على إمتداد مسار القناة عند نفس القطاع مع الزمن . ولذلك يكون الجريان غير المستقر معقداً وأكثر صعوبة في التعامل معه حسابياً .

٣ـ٢ـ٣ـ٢ حسب المسافة : (Distance)

أ ـ جريان منتظم : (Uniform)

وهو الجريان الذي لا تتغير خصائصه الهيدروليكية (عمق المياه ، السرعة ، التدفق) مع المسافة - عند إنتقاله من نقطة إلى أخرى على إمتداد مسار القناة .

ب ـ جريان غير منتظم : (Non-Uniform)

وهو الجريان الذي تتغير خصائصه الهيدروليكية (عمق المياه ، السرعة ، التدفق) مع المسافة -عند إنتقاله من نقطة إلى أخرى على إمتداد مسار القناة .

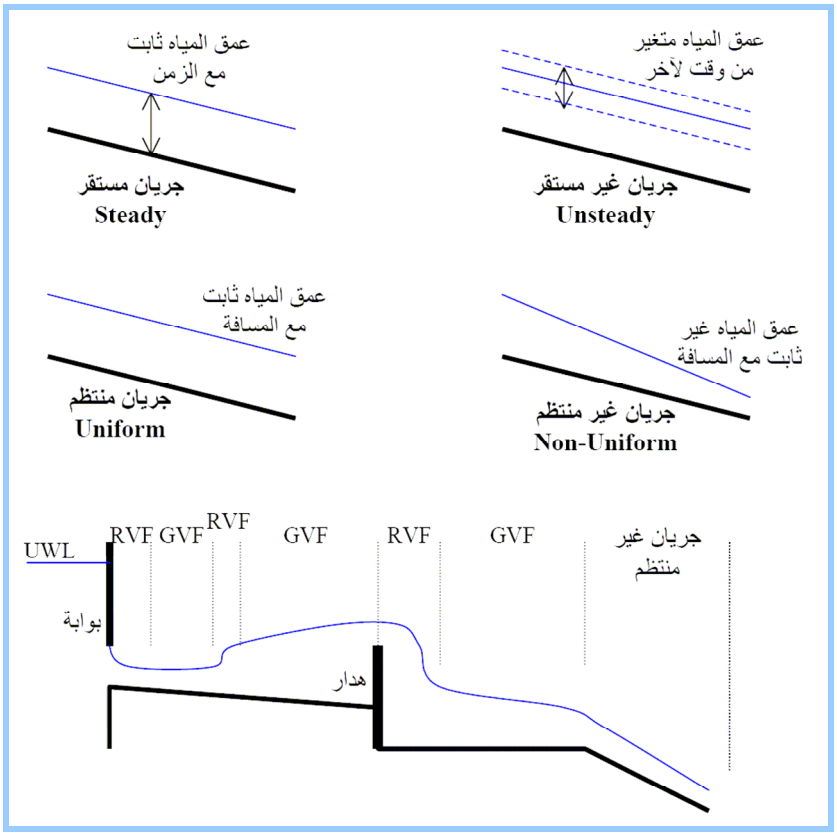
٣ـ٢ـ٣ـ٣ حسب تغير حالة الجريان :

أ ـ جريان بطيء التغير Gradually Varied (Flow, GVF) :

ويسمى الجريان في القنوات المكشوفة جريانا بطيئ التغير إذا كان التغير في خصائصه الهيدروليكية (عمق المياه ، السرعة ، التدفق) مع المسافة يحدث بصورة بطيئة وعلى مسافة أفقية طويلة نسبياً ، مثل تغير عمق المياه أمام منشآت التخزين الكبرى كالسدود والقناطر الضخمة المقامة على الأنهار والقنوات الرئيسية .

ب ـ جريان سريع التغير Rapidly Varied (Flow, RVF) :

أما إذا حدث التغير في خصائص الجريان الهيدروليكية (عمق المياه ، السرعة ، التدفق) بصورة مفاجئة وعلي مسافة أفقية قصيرة نسبياً فيسمى الجريان في القنوات المكشوفة جرياناً سريع التغير، مثل تغير سطح المياه بالقفزة الهيدروليكية **Hydraulic Jump** التي عادةً ما تحدث خلف الهدارات والبوابات ومنشآت التحكم .



شكل (٣-١) تصنيف الجريان بالقنوات المكشوفة

٣-٢-٣-٤ حسب رقم رينولدز : (Reynolds No.)

يمكن تعريف رقم رينولدز من المعادلة التالية :

$$R_N = \frac{V \times l}{\upsilon} \quad \text{.....(3-1)}$$

حيث إن :

- R_N : رقم رينولدز .
- V : قيمة السرعة المتوسطة داخل المجري المائي (م/ثانية) .
- l : خاصية الطول التي يعبر عنها في حالة الجريان في الأنابيب بالقطر **D** بينما تمثل نصف القطر الهيدروليكي **R** بالقنوات المكشوفة (م) .
- υ : معامل اللزوجة الكينماتيكية للمياه **(Kinematic Viscosity)** (م^{٢}/ثانية) التي تساوي اللزوجة الديناميكية مقسومة على كثافة المياه $\upsilon = \mu / \rho$.

وعليه يمكن تصنيف جريان المياه بالمجاري المائية المكشوفة بحسب قيمة رقم رينولدز إلى ثلاثة أصناف رئيسية كما يلي :

- جريان شرائحي (Laminar Flow) في حالة أن يكون R_N < ٥٠٠
- جريان انتقالي (Transitional Flow) في حالة أن يكون ٥٠٠ < R_N < ٢٠٠٠
- جريان مضطرب (Turbulent Flow) في حالة أن يكون R_N > ٢٠٠٠

بينما يتم تصنيف جريان المياه بالأنابيب بحسب قيمة رقم رينولدز Reynolds Number إلى ثلاثة أصناف أيضاً لها نفس المسمى ولكن باختلاف حدود رقم رينولدز عن تلك التي للقنوات المكشوفة كما يلي :

- جريان شـــــرائحي (Laminar Flow) في حالة أن يكون R_N < ٢٠٠٠
- جريان انتقالي (Transitional Flow) في حالة أن يكون ٢٠٠٠ < R_N < ٤٠٠٠
- جريان مضطـــرب (Turbulent Flow) في حالة أن يكون R_N > ٤٠٠٠

٣-٢-٣-٥ حسب رقم فرود : (Froude No.)

يمكن تعريف رقم فرود من المعادلة التالية :

$$F_N = \frac{V}{\sqrt{g \times Y_h}} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}2)$$

حيث إن :

- F_N = رقم فرود .
- Y_h = متوسط العمق الهيدروليكي بالقناة ، $Y_h = A/T$ ، الذي يساوي عمق المياه بالنسبة للقطاع مستطيل الشكل .
- A = مساحة القطاع المائي بالقناة .
- T = عرض سطح المياه بالقناة .
- g = عجلة الجاذبية الأرضية (g = ٩,٨١ م٢/ثانية) .

وعليه يمكن تصنيف جريان المياه بالمجاري المائية المكشوفة بحسب قيمة رقم فرود إلى رينولدز إلى ثلاثة أصناف رئيسية كما يلي :

- جريان تحت الحرج (Sub-Critical Flow) في حالة أن يكون F_N < ١
- جريان حـــرج (Critical Flow) في حالة أن يكون F_N = ١
- جريان فوق الحرج (Super-Critical Flow) في حالة أن يكون F_N > ١

وسيتم الحديث عن كيفية حساب العمق الحرج للمياه في القنوات المكشوفة لاحقاً إن شاء الله تعالى.

٣-٢-٤ مقارنة بين خصائص الجريان في الأنابيب والقنوات المكشوفة :

تختلف طبيعة وخصائص الجريان بالقنوات المكشوفة **(Open Channel Flow)** عنه في الأنابيب **(Pipe Flow or Closed System)** في بعض النقاط التي يمكن تلخيصها ، كما هو موضح بالجدول رقم (٣ -١) . ويمكن إجمال أهم الفروقات الجوهرية بين الجريان بالقنوات المكشوفة والجريان في الأنابيب في النقاط التالية :

١ - القوة الرئيسية المسببة لحركة المياه في الأنابيب هي قوى الضغط **(Pressure)** ، بينما تعتبر الجاذبية الأرضية هي القوة الرئيسية المسببة لحركة المياه في القنوات المكشوفة .

٢ - خط الإنحدار الهيدروليكي **(Hydraulic Gradient Line)** يوازي الراسم العلوي في حالة الجريان في الأنابيب بينما يوازي سطح المياه في حالة القنوات المكشوفة .

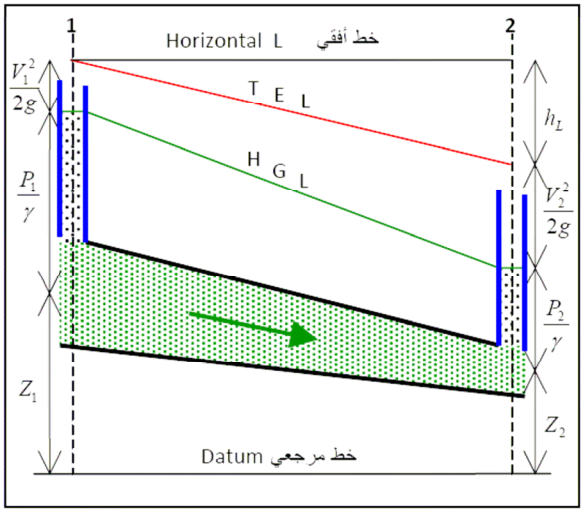
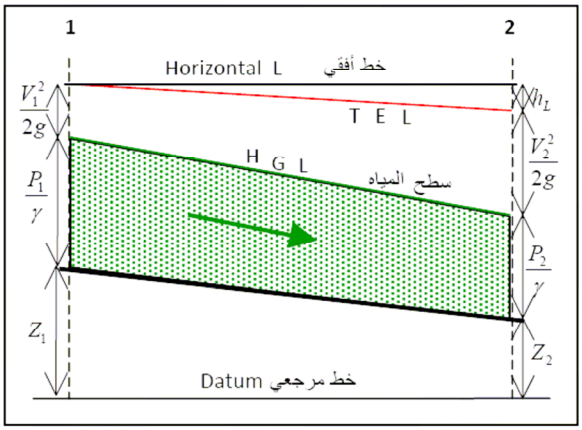
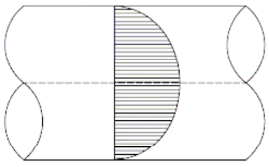
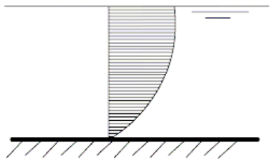
٣ - إنحدار القاع يؤثر بشكل فعال علي الجريان في القنوات المكشوفة ، بينما لا يؤثر في حالة الجريان في الأنابيب .

٤ - جريان المياه في الأنابيب يكون في غالب الأحيان أكثر إضطراباً **Turbulent** (R_N > ٤٠٠٠) بينما يكون في القنوات المكشوفة أقل إضطراباً (R_N > ٥٠٠) .

٥ - وأخيراً لابد من التذكير أنه قد يكون الجريان في الأنابيب أو القنوات الصندوقية من نوع الجريان في القنوات المكشوفة وذلك في حالة أن قطاع الأنبوب أو القناة الصندوقية غير ممتلئ بالمياه أو بمعنى أدق أن سطح المياه بالأنبوب معرض للضغط الجوي .

في حالة الجريان في الأنابيب أو القنوات الصندوقية التي تكون قوى الضغط فيها من النوع البسيط **(Low Pressure Pipe Line)** ويكون الضغط أقل بكثير من واحد بار (بار = ١٠,٣٣ متر تقريباً) ، في هذه الحالة قد يكون لانحدار الأنبوب في بعض الأحباس عل طول مسار الأنبوب بعض التأثير والأمر متوقف على امتلاء الأنبوب بالمياه من عدمه .

جدول (٣-١) مقارنة بين خصائص الجريان داخل الأنابيب والقنوات المكشوفة

الجريان داخل الأنابيب	الجريان في القنوات المكشوفة
	
القوي الرئيسية المؤثرة في الجريان هي قوة الضغط وقوة اللزوجة	القوي الرئيسية المؤثرة في الجريان هي قوة القصور الذاتي وقوة الجاذبية الأرضية
الجريان تحت تأثير قوى الضغط	الجريان تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية
خط الإنحدار الهيدروليكي (HGL) يوازي الراسم العلوي للأنبوب	خط الإنحدار الهيدروليكي (HGL) ينطبق علي سطح المياه
معامل الخشونة منتظم علي كامل القطاع وكامل طول المسار	الخشونة غير منتظمة علي الحدود الخارجية للقطاع و كذلك علي امتداد مسار القناة
إنحدار القاع لا يؤثر علي الجريان لوجود قوى الضغط كمحرك أساسي لجريان المياه بالأنبوب	إنحدار القاع يؤثر علي الجريان لأنه يعتبر المحرك الأساسي للجريان بالقناة
جريان شرائحي $R_N <$ ٢٠٠٠ جريان انتقالي ٢٠٠٠ $< R_N <$ ٤٠٠٠ جريان مضطرب $R_N >$ ٤٠٠٠	جريان شرائحي $R_N <$ ٥٠٠ جريان انتقالي ٥٠٠ $< R_N <$ ٢٠٠٠ جريان مضطرب $R_N >$ ٢٠٠٠
يتغير شكل توزيع السرعات في الإتجاه العرضي داخل الأنابيب على صورة منحنى بارابولا Parabolic Distribution 	يتغير شكل توزيع السرعات في الإتجاه الرأسي في القنوات المكشوفة على صورة منحنى لوغاريتمي Logarithmic Distribution 

٣-٢-٥ المعاملات الهندسية للقطاعات :

الخصائص والمعاملات الهندسية التي تميز القطاعات المختلفة للقنوات المكشوفة تشمل الآتي :

- عرض القاع ، ويرمز له بالرمز **(B)** .
- عمق المياه بالقطاع ، ويرمز له بالرمز **(Y)** .
- عرض سطح المياه بقطاع القناة ، ويرمز له بالرمز **(T)** .
- مساحة القطاع المائي ، ويرمز لها بالرمز **(A)** .
- محيط القطاع المبتل ، ويرمز له بالرمز **(P)** .
- نصف القطر الهيدروليكي ، ويرمز له بالرمز **(R)** .
- متوسط العمق الهيدروليكي ، ويرمز له بالرمز **(Y_h)** .

ويوضح الجدول رقم (٣ -٢) الأبعاد والخصائص الهندسية للأشكال الهندسية المختلفة لقطاعات المجاري المائية المكشوفة .

٣-٢-٦ القطاع الهيدروليكي الأمثل : (Best Hydraulic Section)

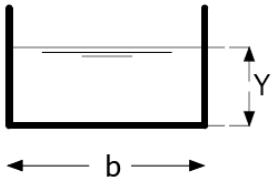
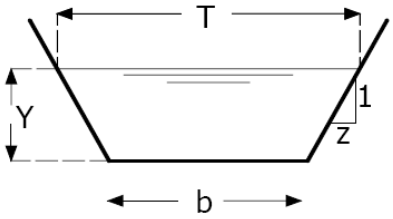
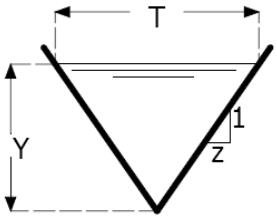
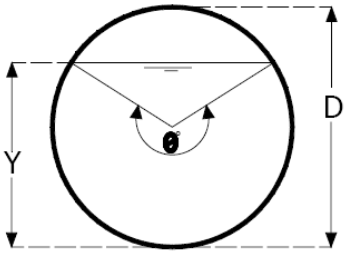
يمكن تعريف القطاع الهيدروليكي الأمثل لقناة مكشوفة علي أنه القطاع الذي يعطي أقصى تدفق لأقل محيط مبتل مع ثبات مساحة القطاع المائي وميل قاع المجرى وكذلك معامل خشونة القطاع ، ويلاحظ أن مقطع القناة الذي له أقل محيط مبتل لمساحة مقطع مائي معين هو الأكثر فعالية وكفاءة في نقل المياه من وجهة النظر الهيدروليكية ، ولكل شكل من أشكال القطاعات المختلفة للقنوات المكشوفة أبعاده الخاصة لكي يحقق شرط القطاع الهيدروليكي الأمثل . ويبين الجدول رقم (٣ -٢) شرط القطاع الهيدروليكي الأمثل لمختلف الأشكال الهندسية للقنوات المائية .

وبملاحظة الخصائص الهندسية المعروضة بالجدول رقم (٣ -٢) للقطاعات المختلفة وشرط القطاع الأمثل لكلٍ منها يمكن استقراء الملاحظات التالية :

- يعتبر القطاع النصف الدائري أحسن القطاعات الهيدروليكية المثلي للقنوات المكشوفة مقارنةً بالقطاعات الهندسية المختلفة وذلك لأنه يعطي أقل محيط مبتل بالنسبة لجميع القطاعات .
- في القنوات المكشوفة ثابتة الجدران (كالقنوات الخرسانية أو الصخرية) عادةً ما يفضل تصميم قطاعاتها بتطبيق شرط القطاع الهيدروليكي الأمثل ، ولكن تلك التي تتعرض جدرانها لعمليات النحر والترسيب فيتم تصميمها بأسلوب يضمن اتزان وثبات قطاعاتها ، وسوف يأتي شرح ذلك بالتفصيل لاحقاً في الفقرة (٣ -٤) إن شاء الله تعالى .

وتعتبر هذه المقدمة في تصنيف المجاري المائية المكشوفة وتصنيف أنواع الجريان بها أساساً مهماً لتصميم المجاري المائية المكشوفة ومنشآت التحكم المقامة عليها وأيضاً لإنشاء أو حماية وصيانة وكذا تبطين المجاري المائية المكشوفة .

جدول (٣-٢) الخصائص الهندسية لقطاعات القنوات المكشوفة ذات الأشكال المختلفة

شكل القطاع	نوع القطاع	الخصائص الهندسية للقطاع	شرط القطاع الهيدروليكي الأمثل
	مستطيل	$A = b \times Y$ $P = b + 2Y$ $R = A/P$ $Y_h = A/T$	$B = 2y$ $R = \frac{Y}{2}$
	شبه منحرف	$A = (b + ZY)Y$ $P = b + 2Y\sqrt{Z^2 + 1}$ $R = A/P$ $T = b + 2ZY$ $Y_h = A/T$	$Z = 1/\sqrt{3}$ $R = \frac{Y}{2}$
	مثلث	$A = ZY^2$ $P = 2Y\sqrt{Z^2 + 1}$ $R = A/P$ $T = 2ZY$ $Y_h = A/T$	$Z = 1$ $R = \frac{Y}{2\sqrt{2}}$
	دائري	$A = \frac{D^2}{8}(\theta_r - \sin\theta)$ $P = \frac{D}{2}\theta_r$ $T = 2r\sin\left(\frac{360 - \theta}{2}\right)$ $R = A/P$ $Y_h = A/T$	$y = \frac{D}{2}$ $\theta = 180^o$

٣ـ٣ المعادلات الرئيسية التي تحكم حركة المياه بقنوات تصريف السيول :

سوف نتناول هنا أهم المعادلات التطبيقية الأساسية التي تحكم حركة المياه بقنوات تصريف مياه السيول (قنوات مكشوفة ، أنابيب ، قنوات صندوقية) بالإضافة إلى شرح كافة المعاملات الهيدروليكية التي تؤثر فيها .

٣ـ٣ـ١ معادلة الإستمرارية : (Continuity Equation)

وهي إحدى القواعد العامة المستخدمة في علم هيدروليكا القنوات المكشوفة وهيدروليكا الأنابيب ، وفي هذه القاعدة يمكن التعبير عن معدل الجريان أو ما يطلق عليه في علم الهيدروليكا بمصطلح "تدفق المياه" أنه حاصل ضرب مساحة القطاع المائي للمجرى والسرعة المتوسطة للمياه ، وذلك وفقاً للإفتراضات التالية :

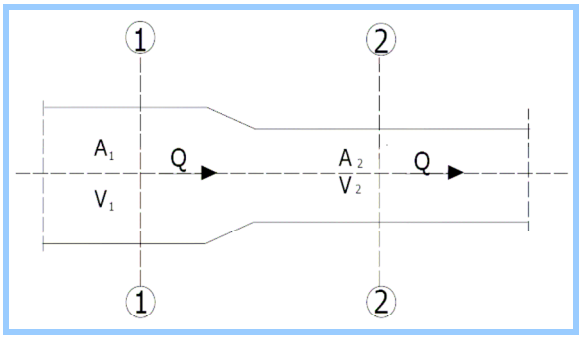
- المياه المتدفقة خلال القناة غير المنضغطة **Incompressible** .
- جريان المياه من النوع المستقر **Steady Flow** .
- معدل تدفق المياه ثابت ولا يتغير على طول مسار المجرى المائي ما دام الجريان مستقراً .

والصورة المبسطة لهذه المعادلة هي :

$$Q = A \times V = \textbf{Constant} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-3a)}$$

وعند انتقال المياه من قطاع رقم (١) إلى قطاع رقم (٢) على طول المجرى المائي فإن معدل التدفق يكون ثابتاً لا يتغير ، أنظر الشكل رقم (٣ -٢) ، كما بالمعادلة :

$$Q = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 = \textbf{Constant} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-3b)}$$



شكل (٣ـ٢) شكل توضيحي لبيان إستمرارية التدفق

حيث إن :

- Q = معدل الجريان للمياه في المجرى المائي ويطلق عليه اصطلاحاً (تصرف المياه) .
- A_1 = مساحة القطاع المائي للمجرى المائي عند القطاع (١) على طول مسار المجرى .
- A_2 = مساحة القطاع المائي للمجرى المائي عند القطاع (٢) على طول مسار المجرى .

- V_1 = السرعة المتوسطة للمياه عند القطاع (١) على طول مسار المجرى .
- V_2 = السرعة المتوسطة للمياه عند القطاع (٢) على طول مسار المجرى .

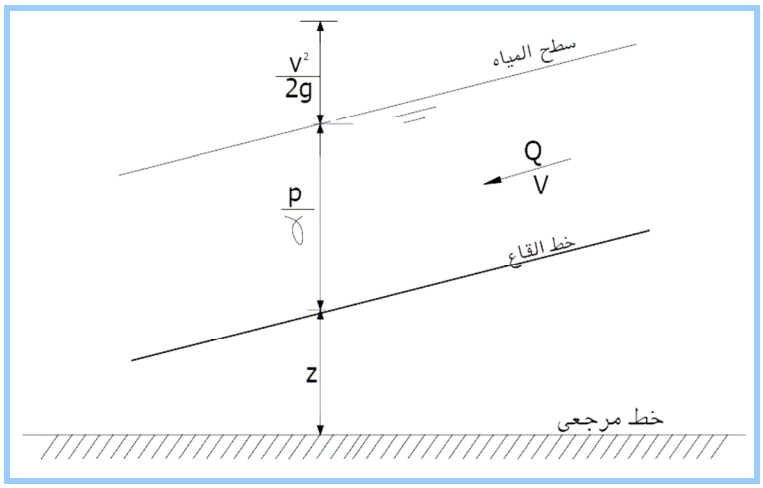
٣-٣-٢ معادلة الطاقة : (Energy Equation)

تتحرك المياه داخل القنوات المكشوفة أو الأنابيب تحت تأثير ثلاثة أنواع مختلفة من الطاقة وهي ، أنظر الشكل رقم (٣ -٣) ورقم (٣ -٤) :

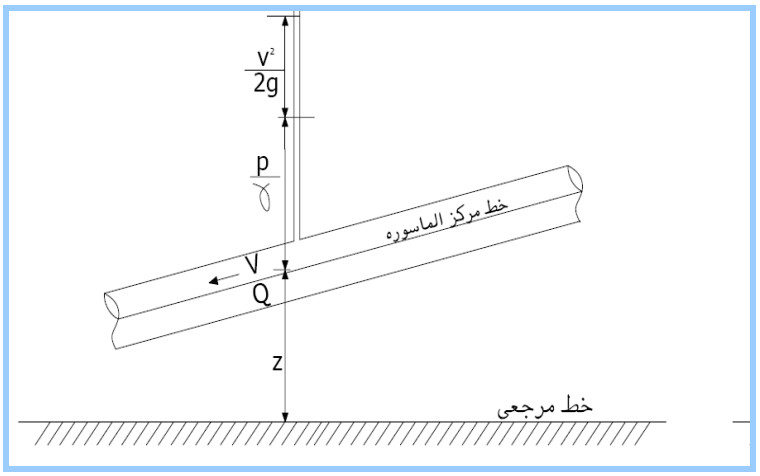
١ - طاقة الوضع **Position Head** (Z) .

٢ - طاقة الضغط **Pressure Head** ($P/\gamma = Y$) .

٣ - طاقة الحركة **Kinetic Energy Head** ($V^2/2g$) .



شكل (٣-٣) شكل توضيحي يبين الطاقة الكلية للجريان بالقنوات المكشوفة



شكل (٣-٤) شكل توضيحي يبين الطاقة الكلية للجريان بالأنابيب

وبالتالي تكون الطاقة الكلية لجريان المياه بالقنوات المكشوفة أو الأنابيب هي المجموع الجبري لهذه القوى الثلاث ، وبتطبيق معادلة برنولي الشهيرة عند نقطتين أو محطتين **(Two Stations)** على طول مسار القناة المكشوفة (١) و (٢) ، يمكن التعبير عن الطاقة الكلية لجريان المياه بالقنوات المائية كما هو مبين بالمعادلة (٣ -٢) :

$$E_1 = Z_1 + Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-4a)}$$

$$E_2 = Z_2 + Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-4b)}$$

$$E_1 = E_2 + (h_L)_{1\to 2} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-4c)}$$

حيث إن :

- $Z_1 \,\&\, Z_2$ = إرتفاع قاع القناة فوق الخط المرجعي **(Datum)** .
- $(h_L)_{1\to 2}$ = مقدار الفاقد في الطاقة **(Head Loss)** بانتقال المياه من القطاع (١) إلى القطاع (٢) على طول مسار المجرى .

وإن الاستخدام المكافئ للمعادلة رقم (٣ -٢) يمكن أن ينطبق أيضاً على حالة الجريان في الأنابيب كما هو في حالة القنوات المكشوفة ، أنظر الشكل رقم (٣ -٥) ورقم (٣ -٦) .

كما يمكن التعبير عن الطاقة النوعية **(Specific Energy)** للجريان عند أي قطاع في المجرى المائي – باعتبار قاع المجرى كخط مرجعي **(Datum)** -بالمعادلة التالية :

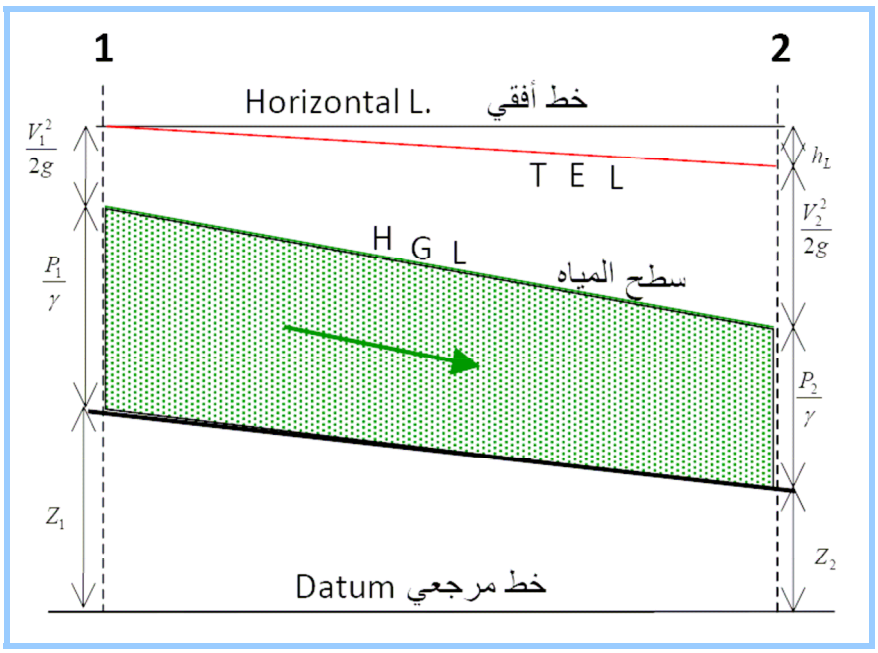
$$E_{specific} = Y + V^2/2g \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-5a)}$$

$$E_1 = E_2 + h_L \quad \textbf{OR}$$

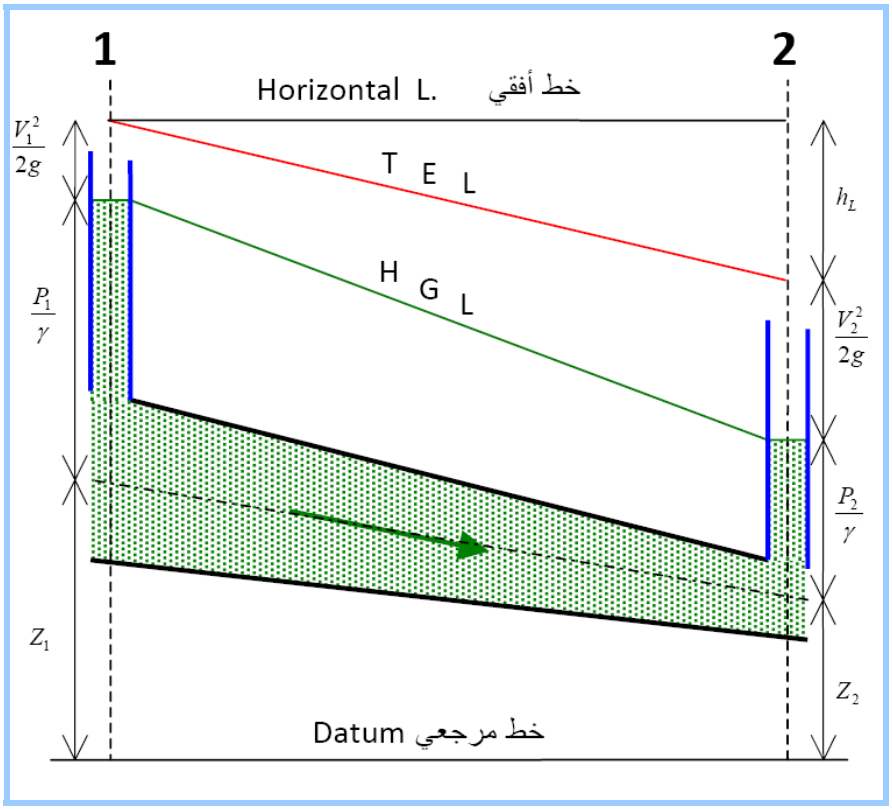
$$Y_1 + V_1^2/2g = Y_2 + V_2^2/2g + h_L \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-5b)}$$

حيث إن :

- $E_{specific}$ = الطاقة النوعية لجريان المياه بالقنوات المكشوفة .



شكل (٣-٥) شكل توضيحي لبيان تطبيق معادلة برنولي بالقنوات المكشوفة



شكل (٣-٦) شكل توضيحي لبيان تطبيق معادلة برنولي بالأنابيب

٣ـ٤ السرعة المتوسطة لجريان لمياه بالقنوات المكشوفة :

إن توزيع سرعة جريان المياه في القنوات المكشوفة معقد بدرجة كبيرة ، ويرجع ذلك لكثرة العوامل التي تؤثر فيه ، ويختلف هذا التوزيع في القطاع الطولي للقناة كما يختلف في القطاع المائي العرضي ، ومما هو ثابتٌ في المراجع العلمية أن أقصى قيمة لسرعة المياه بالقطاع المائي العرضي للقناة تتواجد عند محور القناة على بعد مسافة بسيطة تحت سطح المياه ، ويتحقق هذا فقط في القطاعات المائية المنتظمة ، أما في القطاعات غير المنتظمة فقد ينحرف مكان أقصى سرعة للمياه لأحد جانبي القناة عن محور القناة بحسب تركيز التدفق جهة هذا الجانب أو ذاك ، لكن في كل الحالات وفي كل القطاعات نجد أنه كلما اتجهنا إلى قاع القناة تقل السرعة حتى تتلاشى تماماً عند القاع .

ويوجد العديد من المعادلات التجريبية المستخدمة لحساب السرعة المتوسطة للمياه بالقنوات المكشوفة استنتجت أساساً جرَّاء جهود مضنية قام بها باحثون من أوربا وأمريكا وفرنسا والإتحاد السوفيتي أواخر القرن الثامن عشر وحتى منتصف القرن العشرين كما قدم فين تي تشاو **V.T. Chow** أبحاثه المتميزة في عام ١٩٥٩م.

ونظراً لكون القطاع المائي بالقنوات المكشوفة لا يمكن حصره في شكل هندسي منتظم فهناك بعض الإفتراضات التي يجب مراعاتها عند استخدام هذه المعادلات في النواحي التطبيقية وهي :

١ - الجريان مستقر ومنتظم على امتداد المجرى المائي **(Steady and Uniform)**.

٢ - المحيط الخارجي للمجرى المائي صلب وغير منفذ **(Rigid Boundary)** .

٣ - الجريان بالمجرى المائي غير قابل للإنضغاط **(Incompressible Flow)** .

٤ - ميل القاع في اتجاه الجريان مواز لميل سطح المياه وخط الطاقة $(S_E = S_W = S_o)$.

وفي ضوء ما سبق من إفتراضات يمكن حصر أهم وأشهر المعادلات التطبيقية لحساب السرعة المتوسطة للمياه بالقنوات المكشوفة فيما يلي :

٣ـ٤ـ١ معادلة تشيزي : (Chezy Equation)

قدم المهندس الفرنسي تشيزي عام (١٧٦٩ م) علاقة أصيلة بين سرعة جريان المياه والخواص الهيدروليكية لنمط الجريان وميل خط انحدار الطاقة ، وكان عمل تشيزي مبنياً أساساً على قياسات حقلية أجريت على قناة كوربلت ونهر السين في شمال فرنسا ، وبناءً على هذه القياسات قدم تشيزي معادلته الشهيرة في حساب السرعة المتوسطة للمياه بالقنوات المكشوفة – التي كثيراً ما يفضل استخدامها في العديد من الدول -وبخاصة في الدول الناطقة بالفرنسية – وتأخذ المعادلة الصورة التالية :

$$V = C\sqrt{RS} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}6)$$

حيث إن :

- C = معامل تشيزي لخشونة القاع ، وتتراوح قيمته من ٣٠ (للقنوات الصغيرة ذات السطح الخشن) إلى ٩٠ (للقنوات الكبيرة ذات السطح الناعم) .
- R = نصف القطر الهيدروليكي ، ويعرف بأنه حاصل قسمة مساحة القطاع العرضي للمجرى المائي على طول المحيط المبتل للقطاع $R = A/P$.
- A = مساحة القطاع المائي للمجرى .
- P = طول المحيط المبتل من القطاع المائي للمجرى .
- S = ميل خط انحدار الطاقة .

ويمكن حساب معامل تشيزي للخشونة من خلال العلاقة التي تربط بينه وبين معامل مانج **(n)** التي قدمها بافلوفسكي عام (١٩٢٥م) وتنص على :

$$C = \frac{1}{n}.R^{x.}$$ **(Metric System)** ..... **(3-7a)**

$$C = \frac{1.486}{n}.R^{x.}$$ **(English System)** ..... **(3-7b)**

حيث إن :

- **x** = ثابت تتوقف قيمته على كل من معامل مانج للخشونة ونصف القطر الهيدروليكي على النحو التالي :

$x = 1.50\sqrt{n}$ **for** $R < 1.0$ ..... **(3-8a)**

$x = 1.30\sqrt{n}$ **for** $1.0 \le R \le 3.0$ ..... **(3-8b)**

وفي حالة عدم وجود بيانات دقيقة عن أبعاد القطاع المائي للمجرى المائي فتقدِّر قيمة **x** بحوالي **(1/6)** .

٣-٤-٢ معادلة مانج: (Manning Equation)

قدَّم المهندس الأيرلندي روبرت مانج عام (١٨٨٩م) معادلته الشهيرة لحساب السرعة المتوسطة للمياه بالقنوات المكشوفة بعد إجراء العديد من التجارب المعملية ، التي تعتبر من أكثر المعادلات استخداماً على نطاق واسع في تحليل سلوكيات السريان وحساب السرعة المتوسطة في القنوات المكشوفة من قبل المهندسين المختصين في هذا المجال وذلك بسبب موازنتها بين البساطة ودقة النتائج ، وقد وضعها في الصورة التالية :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$ **(Metric System) ..... (3-9a)**

$$V = \frac{1.486}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$ **(English System) ..... (3-9b)**

حيث إن :

- **n** = معامل ماننج لخشونة قاع وجوانب المجرى المائي ، والذي يتوقف على طبيعة سطح ومسار المجرى المائي وخصائص التربة المكونة للقطاع وخصائص المياه نفسها من حيث اللزوجة ودرجة الحرارة وكونها محملة بالطمي العالق أو خالية منه ، بالإضافة لنوع الجريان وطبيعته ، والجدول رقم (٣ -٣) يبين القيم الإفتراضية لمعامل ماننج في الظروف البيئية وأنواع التربة المختلفة المكونة لقطاع المجرى المائي .
- R = نصف القطر الهيدروليكي .
- S = ميل خط انحدار الطاقة الذي يوازي ميل قاع المجرى المائي بحسب الإفتراضات السابقة .

٣-٤-٣ العوامل المؤثرة في معامل ماننج للخشونة :

نظراً لأن قنوات تصريف السيول (أودية ، شعاب ، أخاديد) عادةً ما تكون ذات طبيعة خاصة وتعاريج متعددة وتنمو بها الحشائش وبعض الشجيرات متشعبة الأطراف ، كما أن بها منخفضات (بيارات) وكسر أحجار وصخور نتيجة عوامل التعرية من جهة وعدم انتظام أعمال الصيانة الدورية في غالب الأحيان ، ونظراً لأن تحديد معامل خشونة القاع والجوانب للقناة المكشوفة يعتبر عاملاً مؤثراً في قدرة قطاع القناة على استيعاب معدل جريان المياه بها ، كان لابد من الإشارة إلى أهم العوامل التي تؤثر على قيمة هذا المعامل ، ويمكن تلخيص هذه العوامل في النقاط العشر الآتية :

١- الخشونة السطحية :

تعتمد خشونة السطح المبتل علي طبيعة حبيبات التربة المكونة لجوانب وقاع المجرى المائي وطبيعة وكثافة الغطاء الخضري من الحشائش والأعشاب التي عادة ما تغطي قنوات تصريف السيول من أودية وشعاب وغيرها ، وعموماً فإن حبيبات التربة الناعمة ذات الأقطار الصغيرة (مثل الطمي والغرين) تعطي قيما لمعامل ماننج أقل من الحبيبات الخشنة الكبيرة مثل (الرمل ونحوه) .

جدول (٣-٣) القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)

نوع القناة وتوصيفها	الصغرى	المتوسطة	العظمى
أ. الجريان في أنبوب مغلق مملوء جزئياً			
أ-١ جدار الأنبوب معدني			
أ. نحاس أصفر أملس	٠,٠٠٩	٠,٠١٠	٠,٠١٣
ب. صلب (فولاذ)			
١. شريحة مثبتة بلحام	٠,٠١٠	٠,٠١٢	٠,٠١٤
٢. شريحة مثبتة ببرشام	٠,٠١٣	٠,٠١٦	٠,٠١٧
ج. حديد زهر			
١. مطلي	٠,٠١٠	٠,٠١٣	٠,٠١٤
٢. غير مطلي	٠,٠١١	٠,٠١٤	٠,٠١٦
د. حديد مشغول (مطرق)			
١. أسود	٠,٠١٢	٠,٠١٤	٠,٠١٥
٢. مطلي بالزنك	٠,٠١٣	٠,٠١٦	٠,٠١٧
هـ. معدن متجعد (مموج)			
١. صرف مغطى	٠,٠١٧	٠,٠١٩	٠,٠٢١
٢. صرف شديد	٠,٠٢١	٠,٠٢٤	٠,٠٣٠
أ-٢ جدار الأنبوب غير معدني			
أ. شفاف (صاف)	٠,٠٠٨	٠,٠٠٩	٠,٠١٠
ب. زجاجي	٠,٠٠٩	٠,٠١٠	٠,٠١٣
ج. أسمنتي			
١. سطح ناعم	٠,٠١٠	٠,٠١١	٠,٠١٣
٢. ملاط	٠,٠١١	٠,٠١٣	٠,٠١٥
د. خرسانة أسمنتية			
١. عبارة ذات مسار مستقيم	٠,٠١٠	٠,٠١١	٠,٠١٣
٢. عبارة ذات مسار منحن	٠,٠١١	٠,٠١٣	٠,٠١٤
٣. النهايات	٠,٠١١	٠,٠١٢	٠,٠١٧

تابع (٣-٣) القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)

نوع القناة وتوصيفها	الصغرى	المتوسطة	العظمى
ب. الجريان في قناة مكشوفة			
بـ١ جدار القناة معدني			
أ. صلب ذو سطح ناعم	٠,٠١١	٠,٠١٢	٠,٠١٤
١. غير مطلي	٠,٠١٢	٠,٠١٣	٠,٠١٧
٢. مطلي	٠,٠٢١	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠
ب. مجعد			
بـ٢ جدار القناة غير معدني			
أ. أسمنتي	٠,٠١٠	٠,٠١١	٠,٠١٣
١. سطح ناعم	٠,٠١١	٠,٠١٣	٠,٠١٥
٢. مملط	٠,٠١١	٠,٠١٥	٠,٠٢٧
ب. خرساني			
ج. قاع من الحصى وجوانب من			
١. قالب (صبة) خرساني	٠,٠١٧	٠,٠٢٠	٠,٠٢٥
٢. حجر مثبت بالملاط	٠,٠٢٠	٠,٠٢٣	٠,٠٢٦
٣. كسر حجارة	٠,٠٢٣	٠,٠٣٣	٠,٠٣٦
د. مبني			
١. أملس السطح	٠,٠١١	٠,٠١٣	٠,٠١٥
٢. مغطى بالأسمنت	٠,٠١٢	٠,٠١٥	٠,٠١٨
هـ. أسفلت			
١. ناعم	٠,٠١٣	٠,٠١٣	
٢. خشن	٠,٠١٦	٠,٠١٦	
و. مبطن بالعشب	٠,٠٣٠	-	٠,٥٠٠
ج. حفرمع رفع مكونات الحفر			
أ. تربة مستقيمة ومتجانسة			
١. نظيفة تم إنجازها منذ عهد قريب	٠,٠١٦	٠,٠١٨	٠,٠٢٠
٢. نظيفة بسبب تأثير العوامل الجوية	٠,٠١٨	٠,٠٢٢	٠,٠٢٥
٣. حفر قطاع منتظم ونظيف	٠,٠٢٢	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠
٤. مع عشب قصير وقليل	٠,٠٢٢	٠,٠٢٧	٠,٠٣٣

تابع (٣-٣) القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)

نوع القناة وتوصيفها	الصغرى	المتوسطة	العظمى
ب. تربة منعطفة وراكدة			
١. دون نباتات	٠,٠٢٣	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠
٢. تحتوي على عشب صغير	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠	٠,٠٣٣
٣. تحتوي على عشب كثيف أو نباتات مائية في القاع	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥	٠,٠٤٠
٤. قاع ترابي وجوانب من الدبش	٠,٠٢٨	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥
٥. قاع صخري مغطى بالأعشاب	٠,٠٢٥	٠,٠٣٥	٠,٠٤٠
٦. قاع مرصوف بالحصى ونظيف الجوانب	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٦٠
ج. حفر ورفع مكونات الحفر بالحفارة			
١. دون نباتات	٠,٠٢٥	٠,٠٢٨	٠,٠٣٣
٢. يحتوي على ركام خفيف وأغصان غير مقطوعة	٠,٠٣٥	٠,٠٥٠	٠,٠٦٠
د. يقطع بالهزاز			
١. ناعم ومنتظم	٠,٠٢٥	٠,٠٣٥	٠,٠٤٠
٢. خشن وغير منتظم (غير قياسي)	٠,٠٣٥	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠
هـ. قناة غير مصانة بها عشب وأغصان غير مقطوعة			
١. عشب كثيف ومرتفع عن سطح الماء	٠,٠٥٠	٠,٠٨٠	٠,١٢٠
٢. القاع نظيف والأغصان في الجوانب	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠	٠,٠٨٠
٣. نفس درجة ارتفاع الماء	٠,٠٤٥	٠,٠٧٠	٠,١١٠
٤. أغصان كثيفة ومرتفعة	٠,٠٨٠	٠,١٠٠	٠,١٤٠
د. جداول طبيعية (أودية وشعاب وما شابه)			
د-١ جدول صغير عرض سطح الماء أقل من ٣٠ مترا			
أ. جداول منبسطة			
١. نظيفة، مستقيمة، مكتملة الطور، لا علو ولا انخفاض بها	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥
٢. كما بالسابق وبها كثير من الحجارة والأعشاب	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥	٠,٠٤٠
٣. نظيفة، منعطفة، بها بعض الحفر والأكوام	٠,٠٣٣	٠,٠٤٠	٠,٠٤٥
٤. كما بالسابق مع بعض الحجارة والأعشاب	٠,٠٠٣٥	٠,٠٤٥	٠,٠٥٠
٥. كما بالسابق، أطوار منخفضة، ميول وقطاعات غير فعالة	٠,٠٤٠	٠,٠٤٨	٠,٠٥٥
٦. كما في ٤. ولكن بحجارة أكثر	٠,٠٤٥	٠,٠٥٠	٠,٠٦٠

تابع (٣-٣) القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)

نوع القناة وتوصيفها	الصغرى	المتوسطة	العظمى
٧. مراكز راكدة، عشبية، حفر عميقة	٠,٠٥٠	٠,٠٧٠	٠,٠٨٠
٨. مراكز عشبية جداً، وحفر عميقة أو ممرات غمر بها نباتات واقفة وأغصان سفلية	٠,٠٧٥	٠,١٠٠	٠,٠١٠٠
ب. جداول جبلية، قنوات دون نمو نباتات، القاع عادةً منحدر، أشجار وأغصان على طول القاع مغمورة بنسبة كبيرة			
١. القاع صخري، حصى وصخور قليلة	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠
٢. القاع صخري، حصى وصخور كبيرة	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠	٠,٠٧٠
د-٢ مسطحات مغمورة			
أ. مراعي بدون أغصان			
١. عشب قصير	٠,٠٢٥	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥
٢. عشب طويل	٠,٠٣٠	٠,٠٣٥	٠,٠٥٠
ب. مناطق محروثة			
١. بدون محصول	٠,٠٢٠	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠
٢. محاصيل ناضجة على صفوف	٠,٠٢٥	٠,٠٣٥	٠,٠٤٥
٣. محاصيل حقلية مدروسة (محشوشة)	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠
ج. بدون أغصان			
١. أغصان مقطوعة ومبعثرة وعشب كثيف	٠,٠٣٥	٠,٠٥٠	٠,٠٧٠
٢. أغصان قليلة وأشجار في الشتاء	٠,٠٣٥	٠,٠٥٠	٠,٠٦٠
٣. أغصان قليلة وأشجار في الصيف	٠,٠٤٠	٠,٠٦٠	٠,٠٨٠
٤. أغصان متوسطة إلى كثيفة في الشتاء	٠,٠٤٥	٠,٠٧٠	٠,١١٠
٥. أغصان متوسطة إلى كثيفة في الصيف	٠,٠٧٠	٠,١٠٠	٠,١٦٠
د. أشجار			
١. صفصاف كثيف، صيفية، مستقيمة	٠,١١٠	٠,١٥٠	٠,٢٠٠
٢. أرض خالية بها جذوع أشجار خالية الأوراق	٠,٠٣٠	٠,٠٤٠	٠,٠٥٠
٣. أرض خالية بها جذوع أشجار عليها نموات كثيفة	٠,٠٥٠	٠,٠٦٠	٠,٠٨٠
٤. سنادات خشبية رأسية وقليل من الأشجار على الأرض مع قليل تحت النمو، ومرحلة غمر تحت الأغصان	٠,٠٨٠	٠,١٠٠	٠,١٢٠
٥. كما في السابق ولكن الغمر وصل الأغصان	٠,١٠٠	٠,١٢٠	٠,١٦٠

تابع (٣-٣) القيم المختلفة لمعامل ماننج للخشونة للقنوات المختلفة (القيم السميكة وتحتها خط تستخدم في التصميم)

نوع القناة وتوصيفها	الصغرى	المتوسطة	العظمى
د-٣ الجدول في الغالب عرض سطح الماء فيه أكبر من ١٠٠قدم له نفس المواصفات السابقة			
أ. مقطع منتظم دون أشجار أو أغصان	٠,٠٢٥	-	٠,٠٦٠
ب. مقطع غير منتظم وخشن	٠,٠٣٥	-	٠,١٠٠

٢- انتظام قطاع المجرى المائي :

يؤثر شكل جدران القطاع من حيث انتظامه وانسيابيته علي طول المحيط المبتل وكذلك على مساحة القطاع المائي نفسه وتتأثر تبعاً لذلك قدرة السطح على إعاقة حركة المياه وكذا قوى الإحتكاك بين سطح الجدران وكتلة المياه المتحركة ، وعموماً فإن قيمة معامل ماننج لقطاع منتظم الشكل أقل منها لقطاع متعرج وذى نتوءات حتى وإن كان له نفس المساحة .

٣- مسار المجرى المائي :

يؤثر مسار المجرى المائي على معامل الخشونة وقوى الإحتكاك المقاومة لحركة المياه حيث إن قيمة معامل ماننج للوصلات المستقيمة من القناة تكون أصغر من الوصلات المنحنية والمتعرجة .

٤- النحر والترسيب :

عادةً ما تتعرض قطاعات المجاري المائية للقنوات المكشوفة غير المتزنة لحدوث ظاهرة النحر والإطماء في بعض مناطق القطاع المائي وعلى طول مسار القناة ، وظاهرة النحر تسبب زيادة طول المحيط المبتل مما يؤدي إلى زيادة قيمة معامل ماننج للخشونة ، بينما تؤدي ظاهرة الإطماء إلى تقليل طول المحيط المبتل من القطاع وتقليل قيمة معامل ماننج تبعاً لذلك ، وفي بعض الأحيان يحدث العكس وذلك بحسب الشكل الهندسي للحبيبات المترسبة والدورات الزمنية لتدفق المياه في القناة ، و يجب تفهم كل هذه الظواهر ليتم تحديد القيمة المتوسطة لمعامل ماننج.

٥- الحشائش :

من النادر في المجاري المائية الطبيعية عموماً وقنوات تصريف السيول على وجه الخصوص أن تخلو قطاعاتها المائية من نمو بعض الحشائش التي قد تنتشر على جدرانها أو تطفو على سطحها مما يعتبر معوقاً أساسياً لجريان المياه حيث تزيد معها قوى الإحتكاك وتقلل القطاع المائي ويتوقف ذلك علي كثافة الحشائش وارتفاعها وتوزيعها علي جدران المجرى المائي وذلك يزيد من قيمة معامل ماننج للخشونة .

٦ـ وجود عوائق بالقطاع :

إن العوائق التي تعترض جريان المياه بالمجرى المائي لتؤثر تأثيراً واضحاً على معدل تدفق المياه بالمجرى حيث تقلل هذه العوائق مساحة القطاع المائي فضلاً عن أنها تزيد مسطح قوى الإحتكاك بين المياه المتدفقة وجدران القطاع وذلك يزيد من قيمة معامل ماننج للخشونة .

٧ـ أبعاد وشكل القطاع الهندسي :

يتأثر معامل ماننج للخشونة بحجم وأبعاد وشكل القطاع المائي للقناة حيث تزيد قيمة معامل ماننج في القنوات الضحلة بينما تقل في القنوات العميقة وعموماً كلما كان المحيط المبتل لقطاع القناة كبيراً كلما أدى ذلك إلى زيادة قيمة معامل ماننج .

٨ـ حالة الجريان والتدفق :

كلما كان تدفق المياه بالمجرى المائي صغيراً كلما أدى ذلك إلى زيادة قيمة معامل ماننج ، وكذلك أيضاً كلما كانت حالة الجريان مضطربة **Turbulent Flow** والعكس صحيح .

٩ـ التغيرات الموسمية لتدفق المياه بالمجرى :

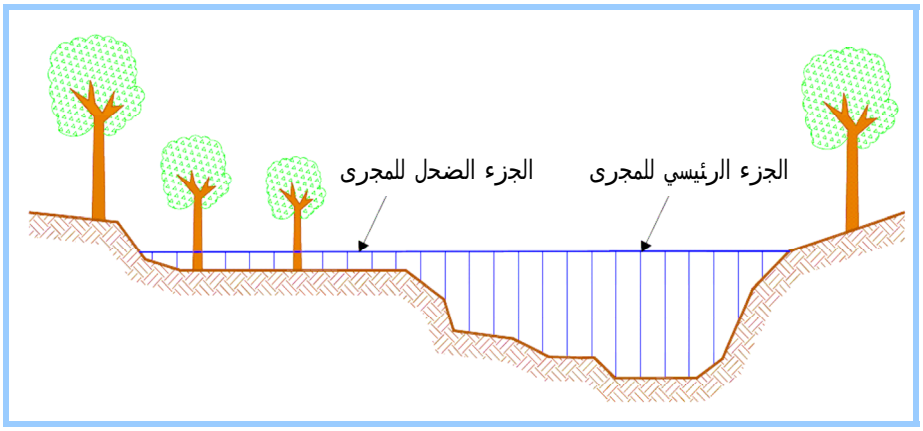
تؤدي التغيرات الموسمية من حيث جريان المياه من عدمه وكذلك زيادة التدفق ونقصانه إلي زيادة نمو الحشائش والطحالب على جدران القناة مما يؤدي إلي زيادة معامل ماننج للخشونة .

١٠ـ تركيز المواد العالقة :

يزداد تركيز المواد العالقة بمياه بعض المجاري المائية الطبيعية وخاصة مجاري مياه السيول ، ويتوقف ذلك على طبيعة التربة المكونة لأحواض الصرف التي تجمعت منها مياه الأمطار والسيول ، وكذلك طبيعة التربة المكونة لجدران القناة نفسها ، وكلما زاد تركيز المواد العالقة بمياه القناة أدى ذلك إلى زيادة قيمة معامل ماننج .

٣-٤-٤ القطاعات المركبة :

في القنوات المائية ومجاري السيول التي غالباً ما يرتفع منسوب المياه بها في موسم الفيضان أو عقب العواصف الممطرة الحادة ليغطي أجزاء من الجسور والطرق الموازية لمساراتها ، عند ذلك يتكون قطاع المجرى المائي من جزء رئيسي عميق بالإضافة إلى بعض الأجزاء الضحلة التي تنتشر يميناً أو يساراً من الجزء الرئيسي ، أنظر الشكل رقم (٣ -٧) ، ولقد وجد أن الأجزاء الجانبية من القطاع تسبب مقاومة للجريان وتكون ذات خشونة أكبر من الجزء الرئيسي الأمر الذي يجعل السرعة المتوسطة للمياه في الجزء الرئيسي أكبر منها في الأجزاء الجانبية .



شكل (٣-٧) القطاعات المركبة في القنوات المكشوفة

ولحساب التدفق المار بالمجرى المائي في مثل هذه الحالات لابد من إجراء الخطوات التالية :

١ - يتم تقسيم القطاع المائي للقناة إلى عدة أجزاء منفصلة ويتم حساب مساحة كل جزء $a_1, a_2, ..., a_N$ ، وكذا المحيط المبتل لكل جزء $p_1, p_2, ..., p_N$ ، ثم يتم استخدام معادلة تشيزي أو ماننج لحساب السرعة المتوسطة للمياه في كل جزء من أجزاء القطاع كلٌ على حدة $V_1, V_2, V_2, ..., V_N$ ، ثم يتم استخدام معادلة الإستمرارية لحساب التدفق المار بكل جزء $q_1, q_2, q_2, ..., q_N$ ، ويكون التدفق الكلي المار بالقناة هو مجموع التدفقات المارة بالأجزاء المختلفة من القطاع $Q_1 = \sum_{i=1}^{N} q_i$.

٢ - باعتبار القطاع كله كوحدة واحدة يتم حساب مساحة القطاع A وطول المحيط المبتل P ، وباستخدام معادلة تشيزي أو ماننج يتم حساب السرعة المتوسطة للمياه في القناة V ، ثم يتم استخدام معادلة الإستمرارية لحساب التدفق المار بكامل القطاع $Q_2 = A \times V$.

٣ - يتم إعتبار التدفق المار بالقناة هو القيمة الأكبر من القيم المحسوبة $Q = Max.(Q_1, Q_2)$ في الخطوتين (١) ، (٢) .

٣-٤-٥ القطاعات ذات الخشونة المختلفة :

عادةً ما تكون درجة خشونة القاع مختلفة على طول المحيط المبتل من القطاع نظراً لنمو الأعشاب والطحالب على بعض الأجزاء دون بعض أو تكون كثافة هذه الأعشاب بدرجات متفاوتة كذلك قد تتركز بعض النتوءات في جزء من القطاع بدرجة أكبر من غيرها ، وفي القنوات والمجاري المائية البسيطة يتم إختيار قيمة متوسطة لمعامل الخشونة تمثل كامل المحيط المبتل عند حساب السرعة المتوسطة للمياه في كامل القطاع دون الحاجة إلى تقسيم القطاع إلى أجزاء فرعية ، أما في القطاعات المركبة فيتم حساب معامل الخشونة المكافئ الذي يمثل كامل المحيط المبتل للقطاع على النحو التالي :

$$n_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^{N} n_i \left(A_i^{5/3} / P_i^{2/3}\right)}{\sum_{i=1}^{N} \left(A_i^{5/3} / P_i^{2/3}\right)} \quad \text{..... (3-10)}$$

٣-٤-٦ حالة الجريان الحرج : (Critical Flow)

يُعرَّف الجريان الحرج عند مرور تدفقٍ معين للمياه بالقناة المكشوفة بأنه الحالة التي تكون فيها الطاقة النوعية لجريان المياه أقل ما يمكن ، في هذه الحالة يكون رقم فرود مساوياً للواحد الصحيح ، والشرط العام لتحقق حالة الجريان الحرج بالقنوات المكشوفة - على اختلاف أشكالها الهندسية – وتكون الطاقة النوعية أقل ما يمكن (E_{min}) وكذلك رقم فرود يساوي الواحد الصحيح (F_N) هو المذكور بالمعادلة التالية :

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \quad \text{(For Non-Rectangular Section) ..... (3-11)}$$

حيث إن :

- Q = تدفق المياه بالقناة المكشوفة (م^3/ثانية) .
- g = عجلة الجاذبية الأرضية ، $g = 9.81 m/\sec^2$.
- T = عرض سطح المياه بالقطاع المائي للقناة .

وبتطبيق الشرط المذكور بالمعادلة (٣ -٩) على القطاع مستطيل الشكل فإن العمق الحرج لجريان المياه يمكن الحصول عليه بالمعادلة التالية :

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \text{(For Rectangular Section) ..... (3-12)}$$

حيث إن :

- Y_c = العمق الحرج لجريان المياه بالقناة .
- q = مقدار تدفق المياه لكل متر طولي من عرض قاع القناة مستطيلة الشكل ويساوي $q = Q/B$.
- B = عرض قاع القناة .

ويمكن استنباط السرعة المتوسطة للمياه في حالة الجريان الحرج بالقناة مستطيلة الشكل وذلك بإعادة صياغة المعادلة **(3-12)** على النحو التالي :

$$V_c = \sqrt{gY_c} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-13)}$$

ومنها يمكن استنتاج أنه في حالة الجريان الحرج تكون طاقة الحركة للجريان مساوية لنصف العمق الحرج كما بالعلاقة التالية:

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{Y_c}{2} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-14)}$$

وبالتعويض بالمعادلة رقم **(3-12)** في المعادلة رقم **(3-3a)** نجد أن الطاقة النوعية الدنيا لجريان المياه خلال قناة مكشوفة مستطيلة الشكل يمكن الحصول عليها بالمعادلة التالية :

$$E_{\min} = Y_c + \frac{V_c^2}{2g} = \frac{3}{2}Y_c \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-15)}$$

كذلك يمكن التعبير عن عمق الجريان الحرج لجريان المياه خلال قناة مكشوفة مستطيلة القطاع بالمعادلة التالية :

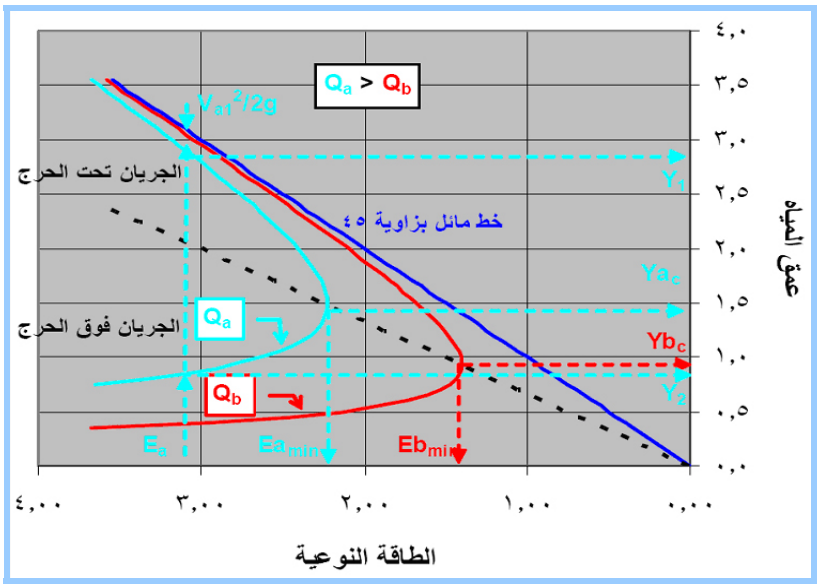
$$Y_c = \frac{2}{3}E_{\min} \quad \textbf{OR} \quad E_{\min} = 1.50 \times Y_c \quad \text{.....} \quad \textbf{(3-16)}$$

٣-٤-٧ الطاقة النوعية : (Specific Energy)

إن عمق المياه الطبيعي أو المنتظم **(Normal Water Depth)** عادةً ما يتحقق في المجاري المائية المكشوفة عند ثبات التدفق وأبعاد القطاع ومعامل ماننج للخشونة وانحدار القاع على طول جزء كبير من مسار القناة ، وعلى طول هذا الجزء من مسار القناة يكون عمق المياه ثابتاً ، والطاقة النوعية لجريان المياه في القنوات المكشوفة يمكن تعريفها بأنها هي مجموع طاقة الضغط **(Pressure Head)** ويساوي عمق المياه في القناة بالإضافة إلى طاقة الحركة **(Kinetic Energy)** وذلك باعتبار أن قاع القناة هو خط المرجع **(Datum)** ، وهو ما تم التعبير عنه بالمعادلة **(3-3a)** التي يمكن إعادة صياغتها على النحو التالي :

$$E_{specific.Energy} = \text{Pressure Head + Kinetic Energy Head} = Y + \frac{V^2}{2g}$$

ويمكن رسم العلاقة بين كلٍ من الطاقة النوعية ($E_{specific.Energy}$) وعمق المياه **(Y)** وذلك لتدفق معين كما هو مبين بالشكل رقم (٣ -٨) ، وبالقراءة المتأنية لهذه العلاقة يمكن استنتاج الملاحظات التالية :



شكل (٣-٨) منحنى الطاقة النوعية بالقنوات المكشوفة

١ - أن المياه التي تجري في قناة مكشوفة بتدفق معين **(Q_a)** مثلاً يمكن أن يكون لها حالتان تجري بهما بنفس قيمة الطاقة النوعية **(Ea)** :

أ - حالة الجريان تحت الحرج **(Sub-Critical Flow)** عندما يكون عمق المياه **(Y_1)** أكبر من العمق الحرج **(Ya_c)** ورقم فرود أقل من الواحد الصحيح .

ب - حالة الجريان فوق الحرج **(Super-Critical Flow)** عندما يكون عمق المياه **(Y_2)** أقل من العمق الحرج **(Ya_c)** ورقم فرود أكبر من الواحد الصحيح.

٢ - أن جريان المياه يكون من النوع الحرج إذا كان عمق المياه مساوياً للعمق الحرج وفي هذه الحالة يكون رقم فرود مساوياً للواحد الصحيح .

٣ - أن الطاقة النوعية لجريان المياه خلال قناة مكشوفة تكون أقل ما يمكن **(E_{min})** عندما يكون عمق المياه مساوياً للعمق الحرج .

٤ - أن الطاقة النوعية لجريان المياه خلال قناة مكشوفة تزيد بزيادة التدفق خلال نفس القناة .

٥ - أن العمق الحرج لجريان المياه خلال قناة مكشوفة يزيد بزيادة التدفق خلال نفس القناة .

٦ - أن جريان المياه يكون من نوع تحت الحرج إذا كان عمق المياه أكبر من العمق الحرج .

٧ - أن جريان المياه يكون من نوع فوق الحرج إذا كان عمق المياه أقل من العمق الحرج.

٨ - أن العلاقة بين الحدود الدنيا للطاقة النوعية **(Emin)** وعمق المياه خلال قناة مكشوفة ذات قطاع مائي معين هي علاقة خط مستقيم ميله يساوي ١,٥٠ وتمثلها المعادلة رقم (٣ -١٦).

مثال (٣-١) :

قناة خرسانية قطاعها مستطيل الشكل ومستقيمة المسار وسطح جدرانها غير مصقول ، فإذا فرض أن الجريان منتظم ، وكان انحدار القاع = ٠,٠١١ ، وعرض القناة = ١,٨٠ متر ، وعمق المياه = ٠,٥٤١ متر ، إحسب المعاملات الهيدروليكية التالية باستخدام كلٍ من معادلة تشيزي ومعادلة ماننج :

- تدفق المياه في القناة .
- الطاقة النوعية لجريان المياه .
- العمق الحرج .
- الطاقة النوعية الدنيا **(E_{min})** .

الحل :

باستخدام الجدول (٣ -٣) نجد أن القيمة المتوسطة التصميمية لمعامل ماننج للخشونة لمثل هذا النوع من القنوات الخرسانية ذات الجدران غير المصقولة هي $n = 0.015$

(أ) **باستخدام معادلة تشيزي :**

١ - إحسب مساحة المقطع المائي لقطاع القناة **(A)** :

$$A = B \times Y = 1.80 \times 0.541 = 0.974 m^2$$

٢ - إحسب طول المحيط المبتل **(P)** :

$$P = B + 2Y = 1.80 + 2 \times 0.541 = 2.882 m$$

٣ - إحسب نصف القطر الهيدروليكي **(R)** :

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.974}{2.882} = 0.338 m$$

٤ - إحسب قيمة معامل تشيزي باستخدام المعادلة رقم **(3-7a)** :

$$C = \frac{1}{n} \times R^x$$

وبما أن قيمة $R < 1$ ، سيتم حساب المعامل **x** باستخدام المعادلة رقم **(3-8a)**

$$x = 1.50\sqrt{n} = 1.50 \times \sqrt{0.015} = 0.184$$

ومنها فإن قيمة معامل تشيزي تساوي

$$C = \frac{1}{n} \times R^x = \frac{1}{0.015} \times (0.338)^{0.184} = 54.62 \rightarrow 54.605$$

٥ - باستخدام المعادلة رقم **(3-6)** فإن قيمة السرعة المتوسطة للمياه بالقناة تساوي :

$$V = C\sqrt{RS} = 54.605 \times \sqrt{0.33789 \times 0.011} = 3.33\,m/\sec$$

٦ - وباستخدام معادلة الإستمرارية رقم **(3-3a)** فإن تدفق المياه بالقناة يساوي :

$$Q = A \times V = 0.974 \times 3.33 = 3.243\,m^3/\sec$$

٧ - يتم حساب الطاقة النوعية بتطبيق المعادلة رقم **(3-5a)** هكذا :

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} = 0.541 + \frac{3.33^2}{2 \times 9.81} = 1.106\,m$$

٨ - يتم حساب العمق الحرج لجريان المياه بتطبيق المعادلة رقم **(3-12)** هكذا :

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(3.243/1.80)^2}{9.81}} = \sqrt[3]{\frac{1.801^2}{9.81}} = 0.692m$$

٩ - كما يتم حساب الطاقة النوعية الدنيا لجريان المياه بتطبيق المعادلة رقم **(3-15)** هكذا:

$$E_{\min} = \frac{3}{2}Y_c = 1.50 \times 0.692 = 1.04m$$

(ب) <u>باستخدام معادلة مانج :</u>

١ - باستخدام المعادلة رقم **(3-9a)** وبالتعويض بقيم **A** ، **P** ، **R** التي تم الحصول عليها في الخطوات (١) ، (٢) ، (٣) سالفة الذكر ، فإن قيمة السرعة المتوسطة للمياه بالقناة تساوي :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.015} \times 0.338^{\frac{2}{3}} \times 0.011^{\frac{1}{2}} = 3.392m/\sec$$

٢ - وباستخدام معادلة الإستمرارية رقم **(3-3a)** فإن تدفق المياه بالقناة يساوي :

$$Q = A \times V = 0.974 \times 3.392 = 3.303m^3/\sec$$

٣ - يتم حساب الطاقة النوعية بتطبيق المعادلة رقم **(3-5a)** هكذا :

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} = 0.541 + \frac{3.392^2}{2 \times 9.81} = 1.127m$$

٤ - يتم حساب العمق الحرج لجريان المياه بتطبيق المعادلة رقم **(3-12)** هكذا :

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(3.303/1.80)^2}{9.81}} = \sqrt[3]{\frac{1.835^2}{9.81}} = 0.7002m$$

٥ - ويتم حساب الطاقة النوعية الدنيا لجريان المياه في القناة بتطبيق المعادلة رقم **(3-15)** :

$$E_{\min} = \frac{3}{2}Y_c = 1.50 \times 0.7002 = 1.05\,m$$

٣ـ٥ أسس تصميم القنوات المكشوفة : (Design Criteria of Open Channels)

٣ـ٥ـ١ مقدمة :

في هذه الفقرة سوف يتم توضيح أهم المعادلات التجريبية والطرق العلمية المستخدمة في تصميم القطاعات المائية للقنوات المكشوفة بأشكالها الهندسية المختلفة في حالة الجريان المنتظم ، وذلك لأن الجريان المنتظم هو الحالة العامة لجريان المياه في القنوات المائية طويلة المسار ومنتظمة المقطع العرضي وثابتة الإنحدار وذلك عندما لا يكون فيها أي عوائق أو منشآت .

٣ـ٥ـ٢ تصميم القنوات المكشوفة :

يعتمد تصميم القطاع المائي للقنوات المائية المكشوفة على قابلية هذه القنوات للإنجراف أو النحر نتيجة جريان المياه بها ومدى ثبات جوانب قطاع القناة ومقاومته لقوى القص والإحتكاك وسائر القوى الناتجة من جريان المياه بقطاع القناة ، ولابد من مراعاة الناحية التطبيقية والعملية لإنشاء القنوات مع الإعتبارات الإقتصادية في تقدير أبعاد القنوات ، ويمكن تقسيم القنوات المكشوفة من حيث هذا المعنى إلى :

أ - غير قابلة للنحر أو الإنجراف **(Rigid or Non-Erodible Boundaries)** .

ب - قابلة للنحر أو الإنجراف **(Erodible Boundaries)** .

٣ـ٥ـ٢ـ١ تصميم القنوات المكشوفة غير القابلة للنحر :

إن المجاري المائية التي تشق طريقها عبر تربة صخرية ثابتة أو المبطنة جدرانها بالخرسانة العادية لهي أمثلة حية لهذا النوع من المجاري المائية التي نادراً ما تتعرض للنحر أو الإنجراف ، ولكن ربما تحدث بها عمليات إطماء بسبب الرسوبيات العالقة مع المياه والمنقولة معها ، ولتصميم هذا النوع من القنوات لابد من مراعاة الأمور التالية عند التصميم :

أ ـ أقل سرعة مسموح بها :

يجب أن لا تقل السرعة المتوسطة للمياه عن المدى المسموح به لأقل سرعة وهو من ٠,٦٠ وحتى ٠,٩٠ م/ثانية ، وهي السرعة التي لا تؤدي إلى نمو النباتات المائية والطحالب على جدران القناة الأمر الذي يعمل على تغيير شكل مقطع القناة العرضي ويسبب تغييراً للجريان عن الذي تم تقديره بافتراض حالة الجريان المنتظم للمياه بالقناة ، ومن المسلم به أن سرعة جريان المياه بالقناة تعتمد بشكل أساسي على ميل القاع الذي يتوقف على تضاريس سطح الأرض التي تمر من خلالها القناة ، لذا يجب التأكد من أن انحدار القاع في الأحباس المنتظمة من القناة يسمح بأقل سرعة مسموح بها .

ب ـ المقطع الهيدروليكي الأمثل :

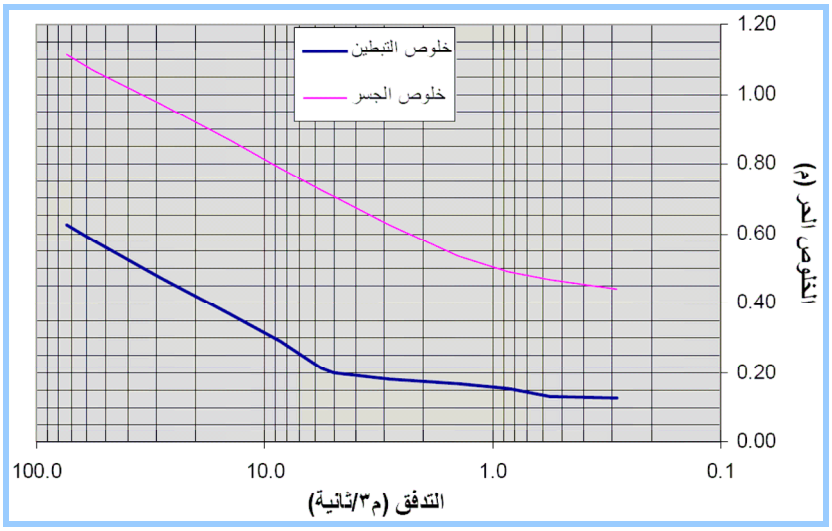
تجدر الإشارة إلى أن مقطع القناة الذي له أقل محيط مبتل لمساحة قطاع عرضي معين هو الأكثر كفاءة وفاعلية في نقل المياه من وجهة النظر الهيدروليكية .وكما تم إيضاحه سلفاً بالفقرة (٣ـ٢ـ٦) أن الشكل النصف دائري هو الشكل الأكثر كفاءة – هيدروليكياً – من بين كل الأشكال الهندسية المختلفة والممكنة للقنوات المكشوفة ، وفي مناطق كثيرة من العالم (تركيا والصين وغيرها) تكون المقاطع الشبه دائرية هي السائدة والسمة الواضحة لقنوات نقل المياه للري وخلافه ، بينما تبدو مقاطع شبه المنحرف هي المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية ومصر والهند وغيرها بسبب سهولة الإنشاء والصيانة ، وإن المقطع النموذجي للقناة هو ذلك القطاع الذي تم تصميمه بناءً على فكرة القطاع الهيدروليكي الأمثل بسبب قدرته على نقل أكبر كمية من المياه لأقل ضاغط هيدروليكي متاح .

ويجب مراعاة أن مبدأ القطاع الهيدروليكي الأمثل واعتبار مبدأ أقل سرعة جريان للمياه مسموح بها يُطبق فقط على القنوات والمجاري المائية غير القابلة للنحر أو الإنجراف ، أما تلك القنوات التي يتم تشييدها بمواد قابلة للإنجراف أو يتم إنشاؤها في تربة قابلة للنحر فيجب أن نأخذ في الإعتبار أقصى سرعة جريان موصى بها وتوزيع القوى الضرورية لإبقاء القناة في حالة مستقرة .

ج ـ الخلوص الحر : Free Board

يمكن تعريف الخلوص الحر بأنه المسافة الرأسية من أعلى منسوب للمياه بالقناة وحافة التبطين أو نهاية القطاع ، ويعتبر الخلوص الحر بمثابة معامل أمان ضروري لضمان التكامل الفيزيائي للقناة في ظروف التشغيل الطارئة التي عندها يكون لزاماً على القناة إمرار تدفقات أكبر من التدفق التصميمي – ولو لفترة وجيزة – ومما لا شك فيه أن الخلوص الحر يوفر الحماية الكافية لجوانب القناة من تأثير الموجات المضطربة المصاحبة لسطح المياه التي قد تضعف من البنية الإنشائية للقطاع وتلحق الضرر بها مما يؤدي إلى الإنهيار الكلي أو الجزئي لكلا أو أحد جانبي القناة .

وتتوقف قيمة الخلوص الحر على حجم ونوعية القناة وظروف الجريان المار بها والطبيعة البيئية لحوض الصرف التي تحدد خصائص المياه التي سوف تمر بالقناة ، وتتراوح قيمته من ٥٪ إلى ٣٠٪ من عمق المياه التصميمي بالقناة ، ويمكن تحديد مقدار الخلوص الحر لقطاع القنوات المبطنة باستخدام منحنيات تقريبية أعدتها دائرة الإستصلاح الأمريكية والموضحة بالشكل رقم (٣ -٩) ، ومن واقع الخبرة العملية يمكن اتباع الجدول رقم (٣ -٤) لتحديد قيمة الخلوص الحر لقنوات تصريف السيول المكشوفة .



شكل (٣-٩) الخلوص الحر للقنوات المبطنة أو غير القابلة للنحر

جدول (٣-٤) مقدار الخلوص الحر في قنوات تصريف السيول

درجة المجرى	الخلوص الحر (م)
مجري سيل رئيسي تجميعي (مساحة حوض الصرف > ٢٠٠,٠٠٠ هكتارا)	١,٢٥ – ١,٥٠
مجري واد كبير (مساحة حوض الصرف > ١٠٠,٠٠٠ هكتارا)	١,٠٠ – ١,٢٥
مجري واد صغير (مساحة حوض الصرف > ٥٠,٠٠٠ هكتارا)	٠,٧٥ – ١,٠٠
الشعاب الفرعية (مساحة حوض الصرف > ٥٠,٠٠٠ هكتارا)	٠,٥٠ – ٠,٧٥

د - حساب أبعاد القطاع المائي :

يمكن تقدير أبعاد القطاع المائي للقنوات أو المجاري المائية غير القابلة للإنجراف أو النحر باتباع الخطوات التالية:

١ - بأخذ عينات من التربة (عمل جسات) على طول مسار القناة يتم تحديد معامل ماننج باستخدام الجدول رقم (٣ -٣) .

٢ - يتم تحديد الميول الجانبية للقطاع حسب نوع التربة ويمكن استخدام الجدول رقم (٣ -٥) لهذا الخصوص .

٣ - يتم تحديد قيمة مناسبة للإنحدار الطولي لقاع القناة حسب درجة وحجم االقناة وحسب القطاع الطولي المبين لتضاريس سطح الأرض ، ويمكن استخدام الجدول رقم (٣ -٦) .

٤ - يتم تطبيق شرط القطاع الهيدروليكي الأمثل السابق ذكره بالجدول رقم (٣ -٢) لإيجاد علاقة بين عرض القاع وعمق المياه .

٥ - كذلك يمكن أن يتم استخدام علاقة بين كلٍ من عرض القاع وعمق المياه بحسب الخبرة التي تختلف من بلد لآخر وحسب نوعية المجاري المائية نفسها وحجمها ، ويمكن استخدام الجدول رقم (٣ -٧) لهذا الغرض ، كما يمكن الإسترشاد بمنحنيات الخبرة الموضحة بالشكل رقم (٣ -١٠) والمعدة بواسطة دائرة الإستصلاح الأمريكية لتصميم قطاعات شبه منحرفة لقنوات مبطنة .

٦ - يتم استخدام كلٍ من معادلة الإستمرارية (٣ -٣) مع معادلة تشيزي (٣ -٦) أو معادلة ماننج (٣ -٧) لحساب السرعة المتوسطة .

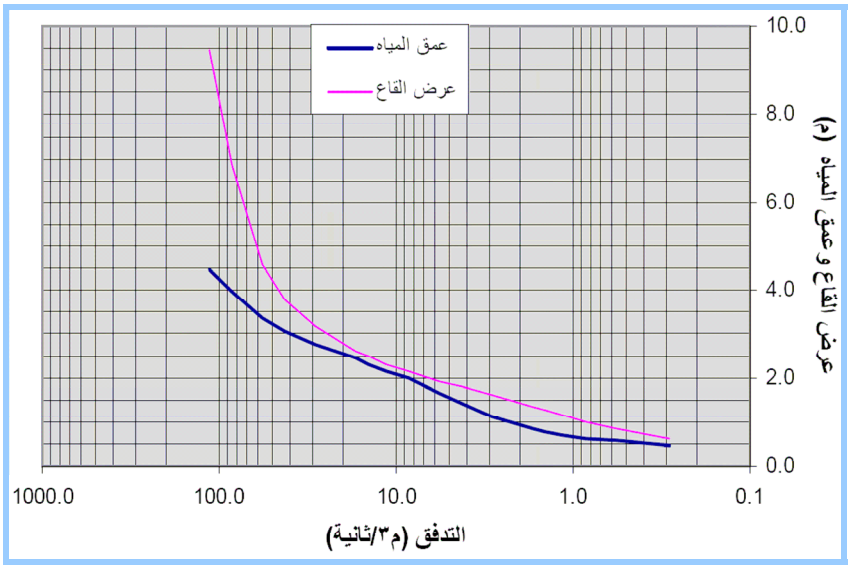
٧ - باتباع طريقة المحاولة والخطأ **(Trial and Error Procedure)** يمكن تحديد أبعاد القطاع الهندسي لمثل هذه القنوات .

٨ - يتم ضبط عرض القاع بالتقريب كما هو موضح بالجدول (٣ -٨) .

٩ - يتم التأكد من قيمة سرعة المياه المتوسطة وأنها في مدى السرعة غير المسببة للإطماء بالمجرى وهو (٠,٦٠ م/ث إلى ٠,٩٠ م/ث) ، وإذا حدث ذلك فبإعادة ضبط العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه وإعادة الحسابات يمكن الوصول إلى الحل الأمثل .

١٠ - يتم تحديد منسوب القاع بحيث يكون أقل من منسوب الراسم السفلي لأقل مصب من مصبات القنوات الفرعية بما لا يقل عن ٠,٥٠ م وكذلك تحديد أقصى منسوب للمياه بحيث يكون أقل من منسوب المياه في القنوات الفرعية بما لا يقل عن ٠,٥٠ م .

١١ - والخطوة الأخيرة هي إضافة قيمة الخلوص الحر باستخدام الجدول رقم (٣ -٨) أو الشكل رقم (٣ -٩) بعد تقريب القيمة النهائية له لأقرب ربع متر .



شكل (٣-١٠) منحنيات الخبرة لعرض القاع وعمق المياه في القنوات المبطنة

جدول (٣-٥) الميول الجانبية الآمنة لمجاري السيول

نوع وطبيعة التربة	الميول الجانبية (أفقي : رأسي)
تربة رملية مفككة	٣ : ١
تربة رملية – طينية (رملية وبها بعض الطمي والغرين)	٢ : ١
تربة طينية ضعيفة	٣ : ٢
تربة طينية متماسكة	١ : ١
تربة صخرية	من ١/٢ : ١ إلى صفر : ١
القاع مبطن بالخرسانة العادية	من ١ : ١ إلى ١/٢ : ١

جدول (٣-٦)الإنحدار الطولي الآمن للقاع في مجاري السيول

درجة المجرى	إنحدار القاع (سم/كم)
مجري سيل رئيسي تجميعي (مساحة حوض الصرف > ٢٠٠,٠٠٠ هكتارا)	٥ – ٨
مجري واد كبير (مساحة حوض الصرف > ١٠٠,٠٠٠ هكتارا)	٨ ـ ١٢
مجري واد صغير (مساحة حوض الصرف > ٥٠,٠٠٠ هكتارا)	١٢ – ١٨
الشعاب الفرعية (مساحة حوض الصرف < ٥٠,٠٠٠ هكتارا)	١٨ – ٣٠

جدول (٣-٧) العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه في مجاري مياه السيول

درجة المجرى	B / Y
مجري سيل رئيسي تجميعي (مساحة حوض الصرف من ١٠٠,٠٠٠ إلى ٢٠٠,٠٠٠ هكتار)	٦ – ١٠
مجري واد كبير(مساحة حوض الصرف من ٥٠,٠٠٠ إلى ١٠٠,٠٠٠ هكتارا)	٤ – ٦
مجري واد صغير (مساحة حوض الصرف من ٢٠,٠٠٠ إلى ٥٠,٠٠٠ هكتارا)	٢ – ٤
الشعاب الفرعية (مساحة حوض الصرف أقل من ٢٠,٠٠٠ هكتارا)	١ – ٢

جدول (٣-٨) ضبط عرض القاع التصميمي بالقنوات المكشوفة

عرض القاع	درجة التقريب
أقل من ٥ أمتار	التقريب لأقرب ٠,٢٥ متر
من ٥ أمتار إلى ١٠ أمتار	التقريب لأقرب ٠,٥٠ متر
أكبر من ١٠ أمتار	التقريب لأقرب واحد متر

٣-٥-٢-٢ تصميم المجاري المائية القابلة للنحر :

إن القنوات والمجاري المائية المكشوفة التي تشق مسارها في تربة غير متماسكة أو مبطنة بالأعشاب أو الطحالب تعتبر قنوات قابلة للإنجراف والنحر ويجب المحافظة على صيانة هذه القنوات بصفة دورية للتأكد من أنها قادرة على استيعاب التدفقات التصميمية بفاعلية وكفاءة مقبولة ، وتتأثر خصائص وسلوكيات جريان المياه في مثل هذه القنوات بالعديد من العوامل البيئية وطبيعة الوسط الذي فيه تشق القنوات مسارها ، مما يجعل تصميم مثل هذه القنوات أكثر تعقيداً والحصول على أبعاد تصميمية محددة لقطاعاتها أمراً ليس بالسهل أو البسيط ويعتمد بشكل أساسي على الخبرة العملية في هذا المجال . إن استقرار مثل هذه القنوات يتم تحقيقه على نحو نمطي بتحديد السرعات القصوى لجريان المياه بقطاع القناة **(Maximum Permissible Velocity)** ليكون في الحدود الآمنة لها أو بتحديد القوى المبذولة من جريان المياه على حبيبات التربة المكونة لقاع وجوانب المجرى المائي **(Maximum Tractive Force)** لتكون في الحدود المسموح به ، وسوف نتناول خطوات تطبيق طريقة السرعة القصوى **(Maximum Permissible Velocity)** بشيء من التفصيل ، ويمكن الرجوع للمراجع العلمية ذات الصلة للتعرف على الطرق الأخرى المخصصة لهذا الغرض .

وتعرَّف السرعة القصوى الآمنة **(Maximum Permissible Velocity)** بأنها أقصى سرعة متوسطة يمكن أن تتحرك بها المياه ولا تتحرك معها حبيبات التربة المكونة للقاع أو الجوانب ، ومن واقع الخبرة العملية المقررة في الكثير من دول العالم يمكن استنباط الملاحظات التالية :

- إن المجاري المائية قديمة النشأة أكثر ثباتاً وقدرة على تحمل جريان المياه بها بسرعات عالية من المجاري حديثة التكوين ، ويرجع ذلك لتأثير الرسوبيات الناعمة والتي تم نقلها عبر جريان المياه من أحواض الصرف البعيدة ليتم ترسيبها على قاع وجوانب المجرى المائي وبفعل الزمن تؤدي هذه الترسبات إلى زيادة اتزان جوانب وقاع المجرى ضد عوامل وقوى النحر .
- كذلك فإن المجاري المائية العميقة أكثر ثباتاً وقدرة على تحمل الجريان بسرعات عالية من المجاري الضحلة ، ويرجع ذلك لكون عملية النحر تتناسب وقيمة السرعة المتوسطة للشرائح الدنيا من المياه التي تسير مباشرةً فوق القاع **(Bottom Velocity)** ، وهذه السرعات عادةً ما تكون ضعيفة في المجاري العميقة عنها في المجاري الضحلة.

ولتحديد السرعة القصوى الآمنة بالمجاري المائية مستقيمة المسار وذات عمق مياه أقل من واحد متر، قدَّم العالمان سكوبي وفورتير عام (١٩٢٥) حدوداً لها لمختلف أنواع التربة من واقع الخبرة العملية والتجارب المعملية كما هو مبين بالجدول رقم (٣ -٩) ، كذلك قدَّمت منظمة إستصلاح الأراضي الأمريكية **(USSR)** عام (١٩٣٦) الشكل رقم (٣ -١١) لتحديد السرعة القصوى الآمنة في حالة التربة غير المتماسكة والشكل رقم (٣ -١٢) للتربة المتماسكة ، كما قدمت معامل لتصحيح قيمة السرعة

القصوى المعطاة من قبل العالمين سكوبي وفورتير في حالة المجاري المائية ذات عمق مياه أكبر من واحد متر كما هو واضح بالشكل رقم (٣ -١٣) .

ويمكن تطبيق طريقة السرعة القصوى الآمنة في تصميم المجاري المائية القابلة للنحر باتباع الخطوات التالية :

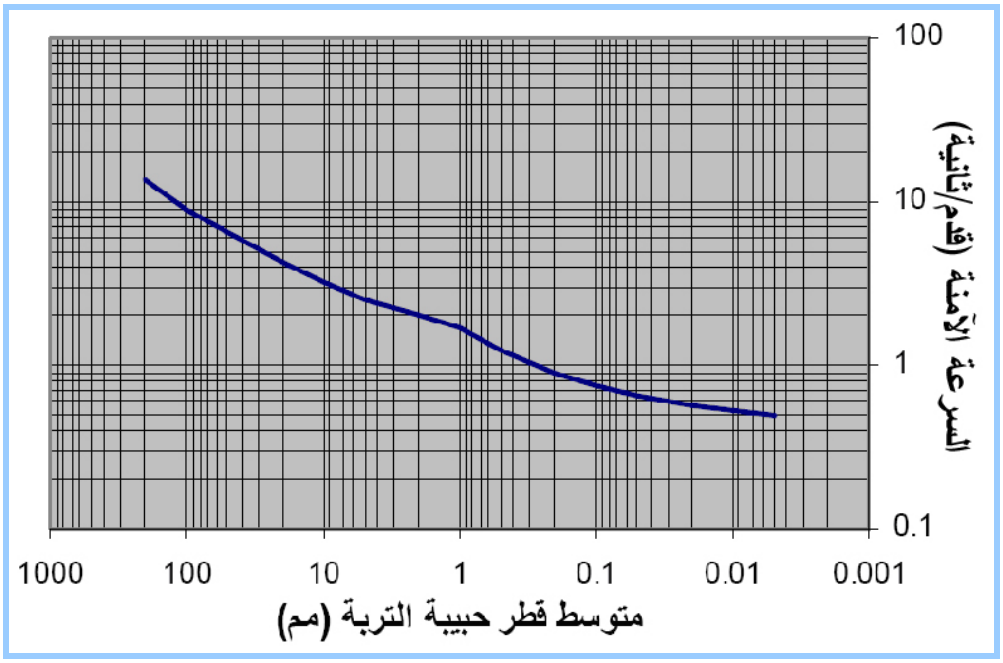
١) بأخذ عينات من التربة (عمل جسات) على طول مسار القناة يتم تحديد قيمة معامل ماننج وقيمة السرعة المتوسطة القصوى باستخدام الجدول رقم (٣ -٩) ، كما يتم تحديد الميول الجانبية المناسبة للقطاع باستخدام الجدول رقم (٣ -٥) وحسب نوع التربة.

٢) باستخدام معادلة ماننج رقم (٣ -٥) ومساواتها بقيمة السرعة المتوسطة القصوى التي تم اختيارها بالخطوة رقم (١) يتم إيجاد علاقة بين كل من عرض القاع **(B)** وعمق المياه **(Y)**.

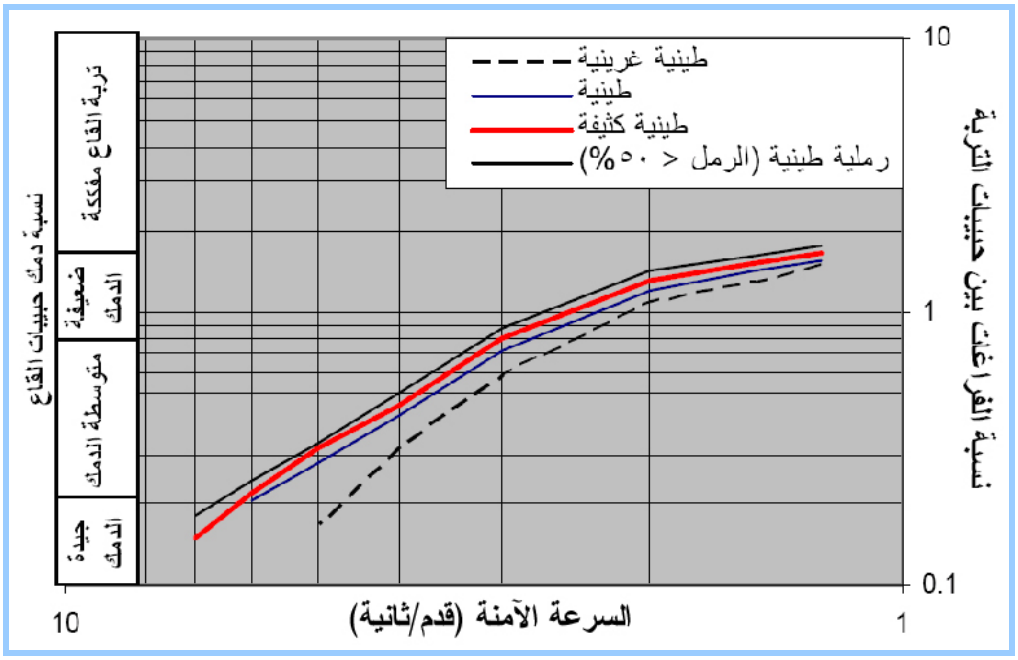
جدول (٣-٩) حدود السرعة القصوى الآمنة لسكوبي وفورتير

نوع التربة المكونة لقاع المجرى	معامل ماننج (n)	مياه خالية من المواد العالقة		مياه محملة بالغرين والطمي	
		V (قدم/ث)	τ_o (رطل/قدم٢)	V (قدم/ث)	τ_o (رطل/قدم٢)
رمل ناعم غروي Fine sand, colloidal	٠,٠٢٠	١,٥٠	٠,٠٢٧.	٢,٥٠	٠,٠٧٥
رمل به طفلة غير غروية Sandy loam, non-colloidal	٠,٠٢٠	١,٧٥	٠,٠٣٧	٢,٥٠	٠,٠٧٥
غرين وطفلة غير غروية Silty loam, non-colloidal	٠,٠٢٠	٢,٠٠	٠,٠٤٨	٣,٠٠	٠,١١
غرين رسوبي غير غروي Alluvial Silts, non-colloidal	٠,٠٢٠	٢,٠٠	٠,٠٤٨	٣,٥٠	٠,١٥
غرين متوسط التماسك Ordinary firm loam	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٠٧٥	٣,٥٠	٠,١٥
رماد وأتربة بركانية Volcanic ash	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٠٧٥	٣,٥٠	٠,١٥
طمي متماسك غروي Stiff clay, very colloidal	٠,٠٢٥	٣,٧٥	٠,٢٦٠	٥,٠٠	٠,٤٦
مواد رسوبية قديمة ومتماسكة Alluvial sites, colloidal	٠,٠٢٥	٣,٧٥	٠,٢٦٠	٥,٠٠	٠,٤٦
Shales and hard pans	٠,٠٢٥	٦,٠٠	٠,٦٧٠	٦,٠٠	٠,٦٧
تربة زلطية (صغير) Fine gravel	٠,٠٢٠	٢,٥٠	٠,٠٧٥	٥,٠٠	٠,٣٢
طفل متدرج Graded loam to cobbles, non-colloidal	٠,٠٣٠	٣,٧٥	٠,٣٨٠	٥,٠٠	٠,٦٦
غرين متدرج Graded silts to cobbles, colloidal	٠,٠٣٠	٤,٠٠	٠,٤٣٠	٥,٥٠	٠,٨٠
تربة زلطية (كبير) Fine gravel	٠,٠٢٥٠	٤,٠٠	٠,٣٠٠	٦,٠٠	٠,٦٧
أحجار كبيرة Cobbles	٠,٠٣٥	٥,٠٠	٠,٩١٠	٥,٥٠	١,١٠

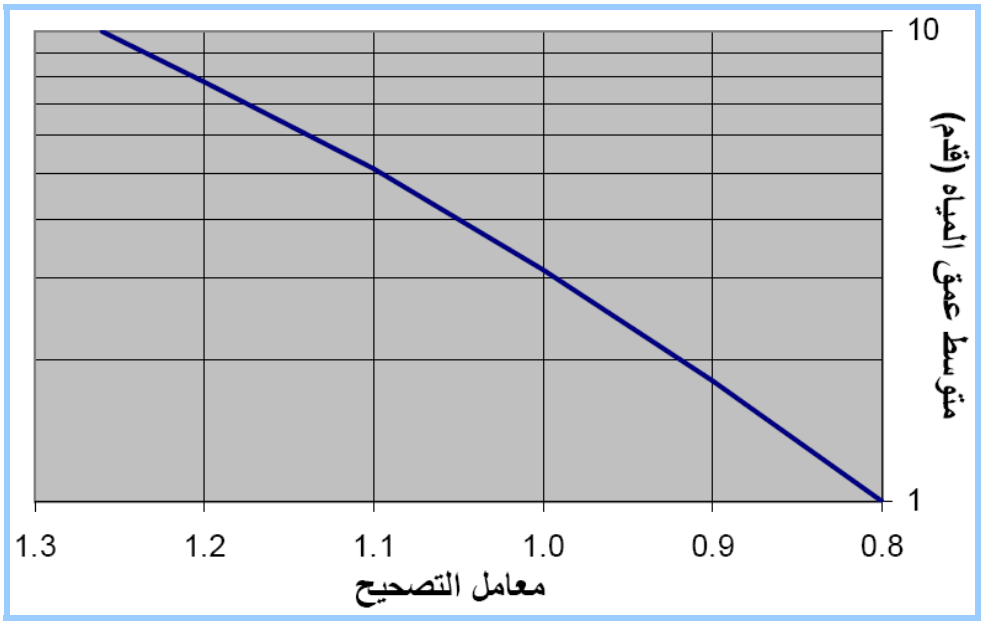
ملحوظة: τ_o هو جهد القص الآمن الذي يتحمله قاع وجوانب المجرى دون حدوث حركة لحبيبات التربة المكونة له مع المياه وهو يساوي (γRS) حيث γ هي الوزن النوعي للمياه .



شكل (٣-١١) السرعة القصوى للتربة غير المتماسكة



شكل (٣-١٢) السرعة القصوى لتربة متماسكة



شكل (٣-١٣) معامل تصحيح للسرعة القصوى لمختلف أعماق المياه بالمجرى المائي

٣) باستخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -١) وقيمة السرعة المتوسطة القصوى يتم إيجاد علاقة أخرى بين كل من عرض القاع **(B)** وعمق المياه **(Y)**.

٤) باستخدام مبدأ المحاولة والخطأ يتم حل العلاقتين اللتين تم الحصول عليهما بالخطوات (٢) ، (٣) ليتم الحصول على القيم المناسبة لكلٍ من عرض القاع **(B)** وعمق المياه **(Y)** .

٥) إذا كان عمق المياه أكبر من ١,٠ أمتار يتم استخدام الشكل (٣ -١٣) للحصول على معامل لتصحيح قيمة السرعة المتوسطة وإعادة الخطوات (٢) ، (٣) ، (٤).

٦) يتم ضبط عرض القاع ليكون مناسبا للتنفيذ بالتقريب كما بالجدول (٣ -٨).

مثال (٣-٢) :

إذا كانت التربة المكونة لقطاع أحد الشعاب من نوع الرمل الذي به بعض الغرين **(Sandy Loam)** ، ومساحة أحواض الصرف التي يخدمها الشعيب حوالي ٦٠ ألف هكتارا ، والتصرف المتوقع مروره بهذا الشعيب حوالي ٣٧,٨٠ م٣/ثانية ، والمطلوب تصميم القطاع المائي للشعيب بحيث يكون على شكل شبه منحرف **(Trapezoidal)** ، في الحالات التالية :

أ - في حالة تبطين قطاع الشعيب بالخرسانة العادية (قطاع غير قابل للنحر) .

ب - في حالة عدم تبطين القطاع (قطاع قابل للنحر) .

الحل :

أ - في حالة تبطين القطاع بالخرسانة العادية (قطاع غير قابل للنحر) :

١) حيث إن نوع التربة **(Sandy Loam)** فإن معامل ماننج **n** = ٠,٠٢ من الجدول رقم (٣ -٩) وميل جوانب القطاع z : ١ هو ٢ : ١ أي أن قيمة **z** = ٢ من الجدول رقم (٣ -٥) .

٢) حيث إن مساحة حوض الصرف لقطاع الوادي هو ٦٠,٠٠٠ هكتار ، يتم تحديد الإنحدار الطولي لقاع الوادي = ١٠ سم/كم من الجدول (٣ -٦) .

٣) باستخدام الجدول (٣ -٧) ومساحة حوض الصرف ، يتم تحديد العلاقة بين عرض القاع وعمق المياه هكذا : **B = 4Y** .

٤) يتم حساب مساحة القطاع**(A)** وطول المحيط المبتل**(P)** ونصف القطر الهيدروليكي **(R)** بدلالة عمق المياه فقط هكذا :

$$A = (B + zY)Y \quad \& \quad P = B + 2Y\sqrt{1+z^2} \quad \& \quad R = \frac{A}{P}$$

بما أن $B = 4Y$ ، $z = 2$ إذن :

$$A = (B + z \times Y)Y = (4Y + 2 \times Y) \times Y = 6Y^2 \qquad \textbf{(1)}$$

$$P = 4Y + 2Y\sqrt{1+2^2} = 4Y + 4.47Y = 8.47Y \qquad \textbf{(2)}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{6Y^2}{8.47Y} = 0.708Y \qquad \textbf{(3)}$$

٥) باستخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -١) ومعادلة ماننج رقم (٣ -٧) ، وبالتعويض بالمعادلات (١) ، (٢) ، (٣) واستخدام مبدأ المحاولة والخطأ يمكن الحصول على عمق المياه هكذا :

$$Q = AV = 37.80 \quad \& \quad 37.80 = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

$$37.80 = \frac{1}{0.02} \times 6Y^2 \times (0.708Y)^{2/3} (\frac{10}{100000})^{1/2} = 2.384Y^{8/3}$$

$$Y = \left(\frac{37.80}{2.384}\right)^{3/8} = 2.82m$$

(4)

ومنها يمكن الحصول على عرض القاع هكذا :

$$B = 4 \times Y = 4 \times 2.82 = 11.28m$$

٦) يتم ضبط عرض القاع مراعاة لظروف التنفيذ بالتقريب لأقرب واحد متر كما بالجدول رقم (٣ -٨) فيكون عرض القاع B = ١١متر .

٧) يتم ضبط عمق المياه بحيث يكون قادراً على استيعاب التصرف المار وذلك بالتطبيق في معادلة ماننج ومعادلة الإستمرارية فيكون عمق المياه المعدل هو **Y** = ٢,٨٥ متر .

٨) يتم التأكد من قيمة السرعة المتوسطة للمياه وأنها في المدى المقبول (٠,٦٠ – ١,٠ م/ث) وذلك بحساب مساحة القطاع والتطبيق في معادلة الإستمرارية هكذا :

$$A = (B + z \times Y)Y = (11 + 2 \times 2.85) \times 2.85 = 47.595m2$$

$$Q = AV = 37.80 \quad \textbf{OR} \quad V = 37.80/47.595 = 0.795m/\sec$$

٩) وبناءً على ما سبق فإن أبعاد القطاع المائي النهائية للشعيب هي :

- عرض القاع = ١١ مترا .
- عمق المياه = ٢,٨٥ متر.
- الميول الجانبية للقطاع هي ٢ : ١.
- الإنحدار الطولي للقاع هو ١٠ سم/كم .

ب - في حالة عدم تبطين القطاع (قابل للنحر) :

١) من الجدول رقم (٣ -٩) فإن معامل ماننج **n** = ٠,٠٢٠ حيث إن نوع التربة **(Sandy Loam)** والسرعة المتوسطة القصوى هي ٢,٥٠ قدم/ثانية أو ما يعادل ٠,٧٦٢ م/ثانية.

٢) كذلك من الجدول رقم (٣ -٥) فإن ميل جوانب القطاع z : ١ هو ٢ : ١ أي أن قيمة $z = 2$.

٣) من الجدول (٣ -٦) يتم تحديد الميل الطولي لقاع الوادي بحسب مساحة حوض الصرف ومنه فإن S = ١٠ سم/كم .

٤) باستخدام معادلة ماننج رقم (٣ -٧) ومساواتها بقيمة السرعة القصوى يتم إيجاد علاقة بين عرض القاع وعمق المياه هكذا :

$$V = \frac{1}{0.02} \times \left(\frac{(B+zY)Y}{B+2Y\sqrt{1+2^2}} \right)^{2/3} \left(\frac{10}{100000}\right)^{1/2} = 0.762 \quad \textbf{m/sec}$$

$$\left(\frac{(B+zY)Y}{B+2Y\sqrt{1+2^2}} \right) = 1.881 \quad \textbf{(1)}$$

٥) باستخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -١) يتم إيجاد علاقة أخرى بين عرض القاع وعمق المياه هكذا :

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{37.80}{0.762} = 49.6063 = (B+zY)Y \quad \textbf{m2} \qquad \textbf{(2)}$$

٦) بحل كلٍ من المعادلتين (١) ، (٢) وباستخدام مبدأ المحاولة والخطأ يمكن الحصول على عرض القاع وعمق المياه هكذا :

- عرض القاع = ١٥,٤٥ متر .
- عمق المياه = ٢,٤٤ متر.

٧) يتم ضبط عرض القاع مراعاة لظروف التنفيذ بالتقريب لأقرب واحد متر كما بالجدول رقم (٣ -٨) فيكون عرض القاع B = ١٥ مترا .

٨) يتم ضبط عمق المياه بحيث يكون قادراً على استيعاب التصرف المار وذلك بالتطبيق في معادلة ماننج ومعادلة الإستمرارية فيكون عرض القاع المعدل هو Y = ٢,٤٨ متر والذي يمرر تصرف مقداره ٣٧,٩٣ م٣/ثانية.

٩) وبناءً على ما سبق فإن أبعاد القطاع المائي النهائية للشعيب في هذه الحالة هي :

- عرض القاع = ١٥ مترا.
- عمق المياه = ٢,٤٤ متر.
- الميول الجانبية للقطاع هي ٢ : ١.
- الإنحدار الطولي للقاع هو ١٠ سم/كم .

٣ـ٦ تصميم شبكات تصريف السيول : (Storm Network Design)

يعد استخدام الأنابيب كوسيلة لنقل المياه على اختلاف أنواعها واحدة من أشهر الطرق المستخدمة في الوقت الراهن حيث تستخدم لنقل مياه الشرب والصرف الصحي ومياه السيول وغيرها ، ونظراً لوجود خصائص فريدة تميزه عن غيره من أنواع الجريان فيطلق على حركة المياه تحت ضغط معين **(Under Pressure)** داخل الأنابيب أو القنوات الصندوقية عموماً جريان الأنابيب **(Pipe Flow)** تمييزاً له عن خصائص الجريان بالقنوات المكشوفة ، وقد تناولنا الفروق الجوهرية بين كل من الجريان داخل الأنابيب والجريان داخل القنوات المكشوفة بالفقرة رقم (**٣ـ١ـ٤**) من هذا الباب .

وعادةً ما تنقسم شبكات تصريف مياه السيول من حيث حجم الشبكة والغرض منها إلى مرحلتين أساسيتين :

أ - شبكة ثانوية **(Minor Storm Drainage System)** غالباً ما تكون من الأنابيب وربما من الأخاديد البسيطة على شكل حرف **V** أو حرف **U** أو نصف دائرية ، والهدف من هذه الشبكة هو صيد مياه الأمطار من أسطح الطرق الرئيسية والفرعية وصرفها بالشبكة الرئيسية بغرض الحفاظ على السلامة المرورية من جهة وعلى صيانة بنية الطريق الإنشائية من جهة أخرى ، ومما لا شك فيه أن عدم تصريف مياه الأمطار من أسطح الطرق يؤدي إلى شلل السيولة المرورية وضعف مقاومة الإنزلاق ، كما يقلل من مستوى الرؤية نتيجة انتشار الرذاذ المتطاير ، مما يجعل التحكم في قيادة الوحدات المرورية من الصعوبة لدرجة يزيد معها احتمال وقوع الحوادث ، وبالذات عند مرور الوحدة المرورية بتجمعات لمياه الأمطار أو عبر ما يعرف بالبرك التجميعية في النقاط المنخفضة من الطريق .

ب - شبكة رئيسية من الأنابيب والقنوات الصندوقية **(Main Storm Drainage System)** لنقل مياه الأمطار التي تم تجميعها إلى أقرب واد أو منخفض أو قناة مفتوحة ، وقد تكون هذه الشبكة من الأنابيب أو القنوات الصندوقية أو من كليهما معاً .

وسوف يتم تناول خصائص ومفردات الشبكة الثانوية في باب منفصل (الباب الرابع) للوقوف على تفاصيلها والإشتراطات الفنية المتعلقة بها .

٣ـ٦ـ١ أنواع الأنابيب المستخدمة في تصريف السيول :

يوجد العديد من أنواع الأنابيب التي يمكن استخدامها في شبكات تصريف مياه السيول والأمطار حسب المادة التي تصنع منها ، وعادةً ما يتم تفضيل نوع على آخر حسب توفر خاماته أو رخص ثمنه ، وهناك ثلاثة أنواع تعتبر من أشهر الأنواع المستخدمة في هذا الخصوص نجمل أهم خصائصها الهندسية ومميزاتها العملية في ما يلي :

١ـ الأنابيب الخرسانية :

تنتج هذه المواسير باستخدام الأسمنت المقاوم للكبريتات بوصلات مرنة ، ويتم استعمالها بكفاءة في تنفيذ شبكات تصريف مياه السيول والأمطار في أكثر دول العالم ، وأهم ما يميز هذا النوع من الأنابيب ما يلي :

- مرونة الوصلات تتيح لخط الأنابيب التكيف عند هبوط التربة دون حدوث أي كسر أو شرخ بالأنبوب .
- رخيصة الثمن نسبياً ، ويمكن إنتاجها محلياً .
- توفرها بأقطار متفاوتة حيث يمكن إنتاجها بأقطار حتى ٣٠٠ مم من الخرسانة العادية ، بينما في الخرسانة المسلحة يمكن أن تصل الأقطار إلى ٣,٠ أمتار .
- ولكن مما يعيب هذا النوع من الأنابيب ما يلي :
- لا تتحمل التفاعلات الكيميائية للغازات التي قد تحدث نتيجة ركود المياه بها أو عند مرور مياه محملة بأملاح ذائبة .
- أثقل وزناً مما يعوق عمليات التركيب والتنفيذ خاصة في الأقطار الكبيرة .
- ليس من السهل معرفة عيوب أنبوب من الخرسانة دون إجراء اختبارات خاصة عليها لضمان عدم تسرب المياه منها أثناء السريان .

٢ـ الأنابيب البلاستيكية : (UPVC)

تصنع هذه الأنابيب من لدائن البلاستيك المسماة بولي فينيل الكلورايد ، ويتم تركيب هذا النوع من الأنابيب باستخدام حلقات من المطاط (جوانات) أو باستخدام مواد لاصقة للحصول على وصلات قوية وسريعة لا تسمح بأي تسريب ، وأهم ما يميز هذا النوع من الأنابيب ما يلي :

- سهولة عمليات النقل والتركيب والصيانة والإصلاح مما يجعلها أرخص من الأنواع الأخرى .
- ذات قدرة عالية علي تحمل الصدمات وتتميز بطول العمر الإفتراضي ، كما أنها مقاومة للكسر حيث تتميز بالمرونة والتكيف مع تحركات التربة .
- تقاوم الأملاح والأحماض والقلويات ، بالإضافة إلى أن السطح الداخلي للجدران ناعم مما يؤدي إلى صغر معامل الاحتكاك وتقليل فواقد الطاقة الهيدروليكية .

٣ـ أنابيب الفيبر جلاس :

هي أنابيب تتميز بخفة الوزن حيث يمكن تركيبها يدوياً حتى قطر ٨٠٠ مم ، مما يوفر الكثير من تكاليف الإنشاء ، وبالنسبة للأقطار أكبر من ٨٠٠ مم فتستخدم معدات ذات قدرة بسيطة للتركيب ، ولكن يعيب هذا النوع من الأنابيب إرتفاع ثمنها ، ومن أهم ما يميزها عن غيرها ما يلي :

- سهولة عمليات النقل والتنفيذ والتركيب لخفة وزنها .
- لا تحتاج لعزل داخلي أو خارجي .

- وصلاتها مرنة مما يعطي معامل أمان لخط الأنابيب عند هبوط التربة .
- العمر الإفتراضي كبير نسبياً حيث تُعَمِّر عشرات السنين .

٤- الأنابيب الزهر :

تتميز هذه الأنابيب بالعمر الطويل جداً وتصنع أنابيب الزهر بصب الحديد الزهر في قوالب رأسية بحيث يكون رأس الأنبوب لأعلي وذيلها لأسفل، وتغمس الأنابيب بعد صبها في حمام من مركب البيتومين الساخن لتغطيتها من الداخل و من الخارج لوقايتها من التآكل ، ومن أهم مميزاتها :

١ - يمكن تصنيعها محليا .
٢ - أسعارها مقبولة .
٣ - لا تحتاج إلي عمليات عزل داخلية أو خارجية .
٤ - سهولة عمليات التركيب .
٥ - عمرها الافتراضي طويل .

ولكن يعيبها ما يلي :

١ - سهلة الكسر وتحتاج لحرص شديد في النقل والتركيب.
٢ - وزن الأنابيب ثقيل نسبيا.
٣ - تصنع بأقطار صغيرة نسبيا لا تزيد عن ٣٠٠ مم.

٣-٦-٢ الحدود الدنيا لأقطار الأنابيب وأبعاد القنوات الصندوقية :

إن أقل قطر لأنابيب الخرسانة المسلحة المستخدمة في الشبكة الرئيسية لنقل وتصريف مياه السيول يجب أن لا يقل عن ٤٠٠ ملليمتر ، كما أنه يجب أن لا يقل عن ١٢ بوصة بالنسبة للأنابيب المصنعة من مادة الـ **(UPVC)** ، وذلك بغرض تسهيل حركة مياه السيول وما تحمله عادةً من زبد وحبيبات التربة الناعمة التي جرفتها معها من أحواض الصرف وتيسير أعمال الصيانة فيما بعد ، أما بخصوص الحد الأقصى لأقطار الأنابيب فيتوقف على أمرين :

١ - الأمر الأول هو مدى ما يتوفر في السوق المحلية من أقطار ، إذ يجب على المهندس المصمم مراعاة الأقطار التي تنتجها مصانع وورش الأنابيب المحلية ، وفي الغالب يتوفر من الأنابيب المصنعة من الخرسانة المسلحة حتى قطر ٣ أمتار بينما يتوفر من الأنابيب المصنعة من مادة الـ **(UPVC)** حتى قطر ٣٢ بوصة .

٢ - الأمر الثاني هو الكلفة الإقتصادية لاستخدام الأنابيب ذات الأقطار الكبيرة إذ يترتب على ذلك زيادة كميات الحفر والنزول بمنسوب الحفر لمناسيب منخفضة.

وأقصى قطر للأنابيب المصنعة من الخرسانة المسلحة والمستخدمة في شبكات تصريف السيول بمدينة الرياض هو ١٢٠٠ ملليمتر ، وفي حالة الحاجة لاستخدام أقطار أكبر من ذلك فيجب استخدام قنوات صندوقية بارتفاع يبدأ من ١٤٠٠ ملليمتر وعرض لا يزيد عن ضعف الإرتفاع ، ولابد من مراعاة عروض الشوارع التي تمر من خلالها مسارات خطوط تصريف السيول في اختيار أبعاد وعدد فتحات القنوات الصندوقية .

٣-٦-٣ حدود إنحدار القاع : (Bed Slope Limits)

سبق أن بيَّنا أن القوى المسببة لحركة المياه في الأنابيب هي قوى الضغط وليست الجاذبية الأرضية كما هو الحال في القنوات المكشوفة ، ونظراً لأن هناك احتمالات هبوب عواصف مطرية بشدة أقل من العواصف التصميمية ومرور مياه السيول خلال الأنابيب بتدفقات أقل من التدفقات التصميمية فقد يتحول الجريان من نوع الجريان تحت ضغط منخفض إلى جريان بتأثير الجاذبية الأرضية ، وفي هذه الحالة يكون لانحدار القاع تاثير واضح في سرعة جريان المياه ، ونظراً لأن الحد الأدنى يتوقف على قيمة التدفق المار وأبعاد القناة فيجب مراعاة الحدود التالية - حتى لا تتراكم الرسوبيات في قاع القناة حين تقل السرعة أو تؤدي إلى النحر وعدم ثبات القطاع حين تزيد ، مما يؤثر على كفاءتها وفاعليتها :

أ - في القنوات الصندوقية يجب أن لا يقل انحدار القاع عن القيمة الأكبر من :

- ربع في الألف (٠,٠٢٥٪) .
- أو الإنحدار الذي عنده تكون سرعة المياه في القناة ٠,٦١ متر/ثانية (٢ قدم/ثانية) عند مرور التدفق التصميمي .

ب - في الأنابيب يجب أن لا يقل انحدار القاع عن القيمة الأكبر من :

- واحد في الألف (٠,١٠٪).
- أو الإنحدار الذي عنده تكون سرعة المياه في القناة ٠,٦١ ٠ متر/ثانية (٢ قدم/ثانية) عند مرور التدفق التصميمي .

والجدول رقم (٣ -١٠) يبين الحد الأدنى والأقصى لانحدار الأنبوب الذي عنده تكون السرعة المتوسطة للمياه = ٠,٦١ ٠ متر/ثانية (٢ قدم/ثانية) و ٥,٥٠ متر/ثانية (١٨ قدم/ثانية) .

جدول (٣-١٠)الحدود الدنيا والقصوى لانحدار الأنبوب للمحافظة على حدود السرعة الآمنة

قطر الأنبوب (مم)	الحد الأدنى (٪)	الحد الأقصى (٪)
٣٠٠	٪٠,٢٠	٪٧,١٥
٤٠٠	٪٠,١٤	٪٤,٨٧
٥٠٠	٪٠,١٠	٪٣,٦٢
٦٠٠	٪٠,٠٨	٪٢,٨٤
٧٠٠	٪٠,٠٦	٪٢,٣١
٨٠٠	٪٠,٠٥	٪١,٩٣
٩٠٠	٪٠,٠٥	٪١,٦٥
١٠٠٠	٪٠,٠٤	٪١,٤٤
١٢٠٠	٪٠,٠٣	٪١,١٣

كذلك فإن الحد الأقصى لانحدار القاع ينبغي أن لا يزيد عن خمسة في المائة (٥٪) لكلٍ من الأنابيب والقنوات الصندوقية .

٣-٦-٤ حدود سرعة المياه : (Flow Velocity Limits)

لكلٍ من الأنابيب والقنوات الصندوقية المكونة للشبكة الرئيسية فإن المدى الآمن لسرعة المياه في حالة التدفقات التصميمية وباعتبار أن المياه تسير في كامل القطاع للقناة هو :

- أن لا تقل عن ٠,٦١ متر /ثانية (حوالي ٢,٠ قدم/ثانية) .
- ولا تزيد عن ٣,٦٦ متر/ثانية (حوالي ١٢ قدم/ثانية) .

أما في حالة التأكد من قدرة الشبكة على تحمل عواصف مطرية ذات تدفقات أكبر من التدفقات التصميمية ، ففي هذه الحالة فقط يمكن السماح لسرعة المياه خلال الشبكة الرئيسية (الأنابيب والقنوات الصندوقية) أن تصل حتى ٥,٥٠ متر/ثانية (حوالي ١٨ قدم/ثانية) ، وذلك لندرة حدوث مثل هذه الحالات الحرجة .

أما سرعة خروج المياه عند المصب **(Outfall Velocity)** فينبغي أن تتناسب وطبيعة التربة المكونة لقاع القناة المكشوفة أو الوادي خلف المصب ، وعلى أي حال إذا زادت سرعة المياه عند المصب عن ٢ متر/ثانية فيجب تبطين القاع خلف المصب بمادة مناسبة (الخرسانة العادية مثلاً) وبطول يتراوح بين ضعفين وثلاثة أضعاف عرض قاع القناة نفسها بحيث لا يقل عن ١٠ أمتار ، وذلك تجنباً لحدوث نحر خلف المصب مباشرةً مما يؤدي إلى تأثر فاعلية وكفاءة الشبكة في تصريف مياه السيول بتراكم مخلفات الحفر خلف المصب مباشرةً .

٣-٦-٥ حدود معامل ماننج للخشونة :

سبق أن بيَّنا سلفاً أن معامل ماننج للخشونة يتوقف على عدة عوامل أهمها نوع المادة المصنع منها الأنابيب وطبيعة سطحها الداخلي ، ويمكن الإسترشاد بالجدول رقم (٣ -١١) في تحديد قيمة معامل ماننج بالنسبة للأنابيب المصنعة من الخرسانة المسلحة أو من مادة **(UPVC)** أو القنوات الصندوقية .

جدول (٣-١١) معامل ماننج للخشونة للأنابيب والقنوات الصندوقية

طبيعة القناة والمادة المصنعة منها	قيمة معامل ماننج للخشونة (n)
أ) المصنعة من الخرسانة المسلحة :	
- القنوات الصندوقية	٠,٠١١ - ٠,٠١٣
- الأنابيب	٠,٠١١ - ٠,٠١٣
ب) المصنعة من البولي فينيل كلورايد (UPVC)	٠,٠١٢
ج) المصنعة من البولي إيثيلين :	
- جدار مفرد	٠,٠٢٤
- جدار مزدوج (ناعم)	٠,٠١٢
د) المصنعة من الزهر :	
- قطر من ١٢ وحتى ٢٤ بوصة	٠,٠٢٠
- قطر من ٢٤ وحتى ٥٤ بوصة	٠,٠٢٢
- قطر أكبر من ٥٤ بوصة	٠,٠٢٤

٣-٦-٦ التعارض بين خطوط المرافق وشبكة تصريف السيول :

في حالة تعارض مسارات شبكة تصريف السيول ومسارات خطوط الخدمات والمرافق الأخرى كالكهرباء والهاتف والصرف الصحي ومياه الشرب والمياه الجوفية وغيرها فيجب إزالة هذا التعارض بتغيير مسار شبكة تصريف السيول أولاً للمواءمة مع مسارات الخدمات الأخرى ، فإن تعذر ذلك فعلى المخطط مخاطبة الجهات المعنية والبدء في إجراءات تغيير مسار هذه الخدمات ، إلا خطوط الصرف الصحي التي يستحيل تغيير مساراتها نظراً لأن المياه بها تسير بفعل الجاذبية الأرضية ، ولذا ففي حالة تعارض خط للصرف الصحي وشبكة تصريف السيول فلابد من إزالة هذا التعارض بتغيير مسار خط تصريف السيول أو تعديل المنسوب التصميمي للقاع.

كما يجب أن لا يقل الخلوص بين الحدود الخارجية لخط تصريف السيول وخطوط المياه أو الصرف الصحي التي تعبر أعلى أو أسفل منه عن نصف متر وذلك حرصاً على سلامة هذه الخطوط أثناء التنفيذ من جهة ومن جهةٍ أخرى تلافياً للتعارض مع مساراتها للتفاوت الذي غالباً ما يحدث بين مناسيب هذه الخطوط من الرسومات الهندسية النهائية وبين ما هو قائم فعلاً في الطبيعة .

٣-٦-٧ خط الإنحدار الهيدروليكي (Hydraulic Gradient Line) :

إن معادلة الطاقة الكلية رقم (٣ -٤) والطاقة النوعية رقم (٣ -٥) التي يتم تطبيقها لجريان المياه في القنوات المكشوفة هي نفسها التي يتم تطبيقها في شبكات نقل المياه التي تتحرك فيها المياه بتأثير الضغط أو تكون فيها خطوط المياه نفسها مغمورة **(Submerged)** – بمعنى أن منسوب المياه التصميمي عند أي قطاع على طول مسار الشبكة يكون أعلى من منسوب الراسم العلوي للأنبوب أو سقف القناة الصندوقية ، ويمكن تعريف خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** بأنه الخط الوهمي الذي يصل بين نقاط منسوب المياه في الأنبوب عند القطاعات المختلفة على طول مسار الأنبوب إذا ما تخيلنا أن الأنبوب تحول إلى قناة مكشوفة – بمعنى أن سطح المياه أصبح معرضاً للضغط الجوي **(Atmospheric Pressure)** .

ويمكن تحديد منسوب خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** عند قطاعٍ ما على طول مسار الأنبوب بإضافة قيمة ضاغط المياه عند هذا القطاع – الذي يساوي عمق المياه الفعلي $(Y = P/\rho g)$ - فوق منسوب محور الأنبوب كما هو موضح بالشكل رقم (٣ -٦) ، حيث P هو مقدار الضغط الواقع على المياه عند هذا القطاع و ρ هي كثافة المياه وتساوي ١٠٠٠ كجم/م^{٣} و g هي عجلة الجاذبية الأرضية وتساوي ٩,٨١ م/ث^{٢} ، وبذلك فإن عمق المياه الفعلي عند أي قطاع على طول مسار القناة ليس هو قطر الأنبوب أو ارتفاع القناة الصندوقية وإنما هو عبارة عن المسافة الرأسية حتى منسوب خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** .

إن إجراء الحسابات المتعلقة بخط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** من الأهمية بمكان وضرورية جداً عند تصميم شبكات تصريف السيول وذلك للتأكد من أن منسوب المياه المتوقع عند أي قطاع على طول مسار القناة – عند حدوث العاصفة التصميمية - أقل من منسوب أغطية غرف التفتيش وإلا أدى ذلك إلى فيضان المياه **(Overtopping)** من غرف التفتيش وما ينتج عن ذلك من أضرار تشل الحركة المرورية بالشوارع وتؤثر على البنية الإنشائية للطرق نفسها ، كذلك فإن انحدار خط الطاقة **(Total Energy Line)** في شبكات نقل المياه (أنابيب أو قنوات صندوقية) يوازي خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** طالما لم يحدث أي تغير في قطر أو أبعاد القناة ، وهذا الإنحدار – أي انحدار خط الطاقة - هو ما يسمى بانحدار الإحتكاك **Friction Slope (S_f)** الذي يمكن حسابه باستخدام معادلة ماننج رقم (٣ -٧) على النحو التالي :

$$S_f = \left(\frac{nV}{R^{2/3}}\right)^2 \qquad \text{(3-17)}$$

ومن المعادلة رقم (٣ -١٧) يمكن التعبير عن فواقد الطاقة **(h_f)** نتيجة الإحتكاك على طول حبس من القناة طوله **(L)** بأنها حاصل ضرب انحدار الإحتكاك **(S_f)** في طول هذا الحبس **(L)** على النحو التالي :

$$S_f = \frac{h_f}{L} \qquad \text{(3-18)}$$

ويمكن إعادة صياغتها هكذا :

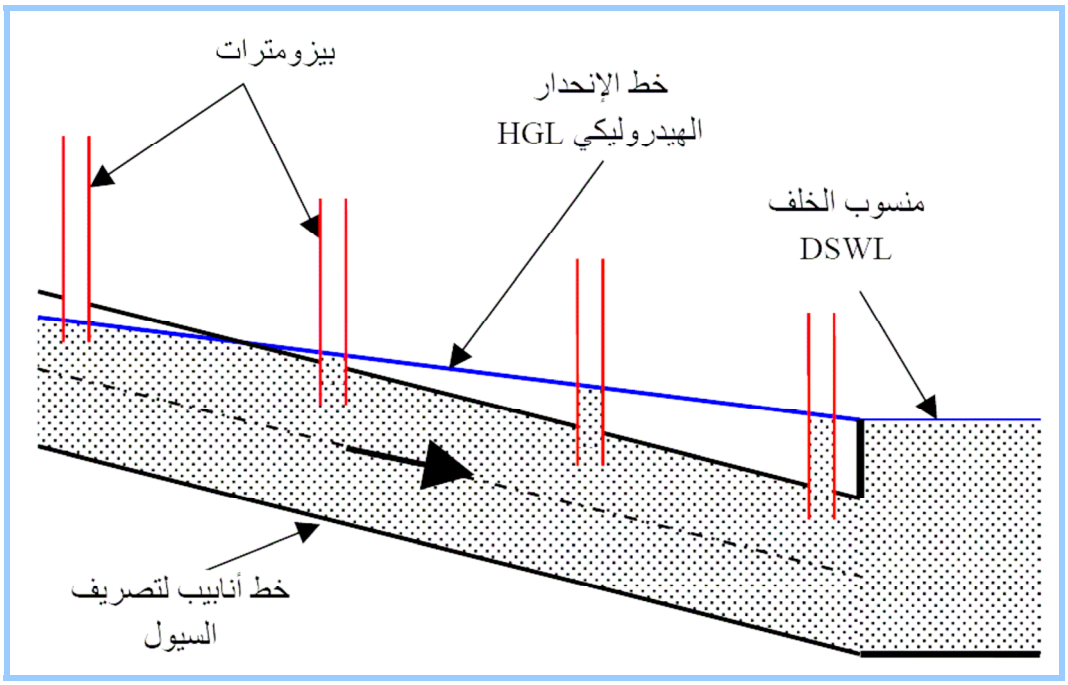
$$h_f = S_f \times L = \left(\frac{nV}{R^{2/3}}\right)^2 \times L \quad \text{.....} \quad (3\text{-}19)$$

حيث إن :

- h_f = فواقد الطاقة نتيجة الإحتكاك بين جزيئات المياه المتدفقة وجدار القناة .
- V = السرعة المتوسطة للمياه داخل القناة .
- R = نصف القطر الهيدروليكي ، $R = A/P$.
- A = مساحة المقطع المائي بالقناة .
- P = طول المحيط المبتل من قطاع القناة.
- S_f = انحدار خط الطاقة.
- n = معامل مانج للخشونة **(Manning Coefficient)** .

ولزيادة الأمر إيضاحاً نفترض أنه أثناء تصميم أحد خطوط تصريف السيول من الأنابيب بقطر معين وجعلنا انحدار قاع الأنبوب مساوياً لقيمة انحدار الإحتكاك **(S_f)** الناتج عن إمرار تدفق معين بهذا الأنبوب ، ففي هذه الحالة سنجد أن خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** سيكون موازياً لجدار الأنبوب مادام قطر الأنبوب ثابتاً لم يتغير ، ولو تصورنا أنه – لسببٍ ما نتيجة تعارض خط تصريف السيول مع خط للصرف الصحي أو أي سبب آخر – جعلنا خط تصريف السيول أكثر انحداراً **(Steep Slope)** لتلافي هذا التعارض ، ففي هذه الحالة سيكون خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** أقل انحداراً من انحدار الأنبوب **(Mild Slope)** ، وسنجد أن منسوب المياه عند نهاية خط تصريف السيول أعلى من منسوب الراسم العلوي لجدار الأنبوب.

ويتضح ذلك بفرض عمل بيزومترات في أعلى جدار الأنبوب ، فسوف نجد أن منسوب المياه سوف يرتفع في هذه البيزومترات على النحو المبين بالشكل رقم (٣ -١٤) ، وسوف يكون الخط الوهمي الواصل بين مناسيب المياه في هذه البيزومترات هو ما يسمى خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** ، والبيزومتر عبارة عن أنبوب مفتوح الطرفين وصغير القطر وذو سطح داخلي أملس.



شكل (٣-١٤) خط الإنحدار الهيدروليكي في الأنابيب

٣-٦-٨ فواقد الطاقة الثانوية :

إن فواقد الطاقة لجريان المياه في الأنابيب أو القنوات الصندوقية تحت ضاغطٍ ما **(Under Pressure)** ليست هي فقط الفواقد الناتجة عن الإحتكاك بين جزيئات المياه وجدران القناة بل هناك فواقد أخرى ثانوية **(Minor Losses)** نتيجة التغيرات المختلفة في خصائص وأبعاد القطاع الهندسي للأنبوب ومساره - وإن كانت فواقد الإحتكاك تعتبر هي الفواقد الرئيسية **(Main Losses)** أو الجزء الأكبر من فواقد الطاقة ، وعلى المهندس الذي يتعامل مع شبكات تصريف السيول بالتصميم أو الإنشاء والصيانة أن يدرك أن الفواقد الثانوية للطاقة عند جريان المياه في مثل هذه الشبكات إنما ترجع في الحقيقة لكل ما من شأنه إحداث تغيير في قيمة أو توزيع السرعة المتوسطة للمياه في القطاع المائي للقناة وحدوث دوامات **(Eddies)** واضطرابات **(Turbulences)** في جريان المياه كالإتساع المفاجئ في قطاع القناة أو تقلصه أو تغير في مسار القناة أو اختلاف انحدارها أو اتصال القناة بقناة أخرى أكبر ونحو ذلك .

وإن كانت الفواقد الثانوية في خطوط الأنابيب قصيرة الطول ومستقيمة المسار وذات القطر الثابت يمكن إهمالها دون تأثير كبير في قيمة فواقد الطاقة الكلية على طول الخط لكن الأمر يختلف تماماً في حال شبكات نقل المياه المعقدة كشبكات تصريف السيول التي لا يمكن فيها إهمال الفواقد الثانوية وإلا أدى ذلك لخللٍ جسيم في التصميم الهيدروليكي للشبكة مما يؤثر سلباً على كفاءتها وفاعليتها في أداء الغرض الذي من أجله تم إنشاؤها .

وعادةً ما يتم التعبير عن الفواقد الثانوية في شبكات نقل المياه كدالة في طاقة الحركة للجريان على النحو التالي :

$$h_L = k\frac{V^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}20)$$

حيث إن :

- k = ثابت تتوقف قيمته على سبب الفواقد الثانوية للطاقة ومقدار تأثيره في تغيير قيمة السرعة المتوسطة للمياه وحدوث دوامات واضطرابات في الجريان .
- V = السرعة المتوسطة لجريان المياه بالأنبوب .

ويتم التعبير عن فواقد الطاقة الكلية في شبكات نقل المياه بأنها الجمع الجبري لفواقد الإحتكاك ومجموع الفواقد الثانوية الناتجة عن جريان المياه في الشبكة .

٣-٦-٨-١ فواقد الطاقة عند تقلص القطاع المفاجئ (Sudden Contraction) :

يمكن التعبير عن فواقد الطاقة نتيجة التقلص المفاجئ لقطاع الأنبوب على النحو التالي – أنظر الشكل رقم (٣ -١٥ أ) :

$$h_{L_c} = k_c\frac{V_2^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}21)$$

حيث إن :

- h_{L_c} = فواقد الطاقة نتيجة تأثير تقلص فوهة الأنبوب .
- V_2 = السرعة المتوسطة للمياه عند المحطة (٢) ، أنظر الشكل (٣ -١٥ أ).
- k_c = ثابت تتوقف قيمته على نسبة تقلص قطاع الأنبوب **(A2/A1)** ، والجدول رقم (٣ -١٢) يبين قيمة الثابت k_c لنسب تقلص مختلفة .

جدول (٣-١٢) قيمة الثابت (k_c) عند تقلص قطاع الأنبوب

(A_2/A_1)	٠	٠,٢٠	٠,٤٠	٠,٦٠	٠,٨٠	١,٠
(k_c)	٠,٥٠	٠,٤٥	٠,٣٨	٠,٢٨	٠,١٤	٠

٣-٦-٨-٢ فواقد الطاقة عند فوهة الأنبوب (Inlet) :

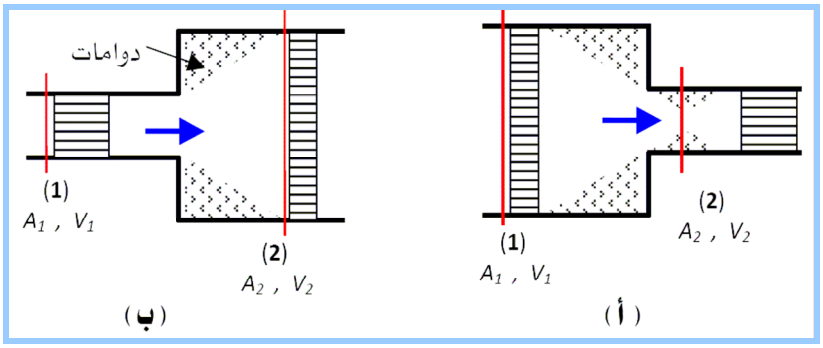
يمكن التعبير عن فواقد الطاقة عند دخول مياه السيول فوهة أو مدخل الأنبوب في أول مطبق أو غرفة تفتيش على النحو التالي :

$$h_{L_{in}} = k_{in}\frac{V_2^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}22)$$

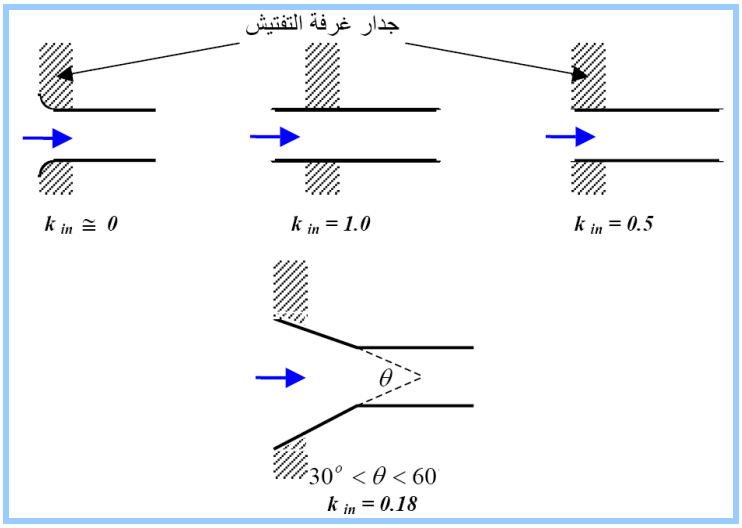
حيث إن :

- $h_{L_{in}}$ = فواقد الطاقة نتيجة تأثير شكل فوهة الأنبوب .
- k_{in} = ثابت تتوقف قيمته على طبيعة شكل فوهة الأنبوب ، أنظر الشكل رقم (٣ -١٦) .

كذلك إذا افترضنا أن مساحة قطاع الأنبوب (A_1) في الشكل (٣ -١٥ أ) تساوي ∞ (غرفة تفتيش أو خزان ونحوه) فإن قيمة (A_2/A_1) تساوي صفراً وعليه ، وبالرجوع للجدول رقم (٣ -١٢) فإن قيمة k_{in} تساوي ٠,٥٠



شكل (٣-١٥) فواقد الطاقة الثانوية للجريان في الأنابيب



شكل (٣-١٦) فواقد الطاقة عند فوهة الأنبوب

٣-٦-٨-٣ فواقد الطاقة عند اتساع الأنبوب المفاجئ (Sudden Enlarement) :

بالتأمل في الشكل رقم (٣ -١٥ ب) نجد أن فواقد الطاقة نتيجة الإتساع المفاجئ لقطاع الأنبوب تتوقف على نسبة الإتساع في القطاع **(A_2/A_1)** كما هو مبين بالمعادلة التالية :

$$h_{L_{en}} = \frac{V_1^2}{2g}\left(1-\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad \text{.....} \quad (3\text{-}23)$$

حيث إن :

- $h_{L_{en}}$ = فواقد الطاقة عند المصب نتيجة الإتساع المفاجئ لقطاع الأنبوب .
- A_1 = مساحة قطاع الأنبوب عند المحطة (١) قبل الإتساع .
- A_2 = مساحة قطاع الأنبوب عند المحطة (٢) بعد الإتساع .

٣-٦-٨-٤ فواقد الطاقة عند مخرج الأنبوب (Exit) :

يمكن التعبير عن فواقد الطاقة عند مصب ومخرج الأنبوب إلى الوادي على النحو التالي :

$$h_{L_{out}} = k_{out}\frac{V_1^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}24)$$

حيث إن :

- $h_{L_{out}}$ = فواقد الطاقة عند المصب نتيجة خروج مياه السيول من الأنبوب إلى الوادي .
- k_{out} = ثابت تتوقف قيمته على طبيعة وشكل الأنبوب عند المصب .

وكما هو ملاحظ بالشكل رقم (٣ -١٥ ب) عند مصب الأنبوب بالوادي أو أي قناة مفتوحة **(Outlet)** أن **(A_2)** يساوي ∞ ، وبالتالي فإن قيمة نسبة الإتساع المفاجئ لقطاع الأنبوب **(A_1/A_2)** تساوي صفراً ، وعليه فإن القيمة التطبيقية لهذا الثابت k_{out} تساوي الواحد الصحيح .

٣-٦-٨-٥ فواقد الطاقة عند تغير مسار الأنبوب (Bend) :

يمكن التعبير عن فواقد الطاقة عند تغير مسار الأنبوب من اتجاه لآخر على النحو التالي :

$$h_{L_b} = k_b\frac{V^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}25)$$

حيث إن :

- h_{L_b} = فواقد الطاقة عند المصب نتيجة تغير مسار الأنبوب من اتجاه لآخر .
- k_b = ثابت تتوقف قيمته على الزاوية المحصورة بين فرعي الأنبوب عند نقطة تغيير المسار على النحو المذكور بالجدول رقم (٣ -١٣) .

جدول (٣-١٣) معامل فواقد الطاقة عند تغير اتجاه خط تصريف السيول

زاوية الإنحناء	k_b
أقل من ٤٥°	١,٢٥
أكبر من ٤٥° وأقل من ٩٠°	٠,٧٥
أكبر من أو تساوي ٩٠°	٠,٥٠

٣-٦-٨-٦ فواقد الطاقة لغرف التفتيش (Manhole) :

يمكن التعبير عن فواقد الطاقة لغرف التفتيش التي يتم إنشاؤها على خطوط الأنابيب بغرض تيسير عمليات الصيانة على النحو التالي :

$$h_{L_m} = k_m \frac{V^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}26)$$

حيث إن :

- h_{L_m} = فواقد الطاقة عند مرور المياه بغرف التفتيش .
- k_m = ثابت تتوقف قيمته على قطر غرفة التفتيش بالإضافة إلى طبيعة قاع غرفة التفتيش ومدى التحسينات التي تضاف إليه لتيسير حركة المياه ، ومن واقع الخبرة العملية فإن القيمة المتوسطة لهذا الثابت تساوي الواحد الصحيح .

وبخصوص غرف التفتيش المقامة على القنوات الصندوقية التي هي عبارة عن فتحة في سقف القناة فقط فلا تحدث عندها أي فواقد ثانوية للطاقة بخلاف غرف التفتيش المقامة على خطوط الأنابيب فإنها تحدث تغييراً في قطاع القناة نفسها مما يؤثر على توزيع السرعة المتوسطة للمياه بداخل الغرفة ويولد فواقد ثانوية .

٣-٦-٨-٧ فواقد الطاقة للإتساع المفاجئ للقناة الصندوقية (Sudden Expansion) :

يمكن التعبير عن فواقد الطاقة نتيجة زيادة عرض القناة الصندوقية بينما يظل الإرتفاع ثابتاً على النحو التالي :

$$h_{L_{h-ex}} = k_{h-ex} \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}27)$$

حيث إن :

- $h_{L_{h-ex}}$ = فواقد الطاقة عند زيادة عرض القناة الصندوقية .
- k_{h-ex} = ثابت تتوقف قيمته على نسبة اتساع عرض القناة ، وتتراوح قيمته من ٠,٣٠ وحتى ١,٠ والقيمة التطبيقية هي ٠,٥٠

٣-٦-٨-٨ فواقد الطاقة للإنخفاض المفاجئ للقناة الصندوقية (Sudden Drop) :

في القنوات الصندوقية لتصريف السيول وعند حدوث تغير في ارتفاعها لدواع هيدروليكية عادةً ما تكون الزيادة في الإرتفاع بانخفاض قاع القناة بمقدار الزيادة المطلوبة بينما يتم المحافظة على استقامة سقف القناة ، ويمكن التعبير عن فواقد الطاقة نتيجة الإنخفاض المفاجئ لقاع القناة الصندوقية - ومقدار الإنخفاض أقل من ربع ارتفاع القناة عند المحطة (١) - بينما يظل عرض القناة ثابتاً على النحو التالي :

$$h_{L_{v-ex}} = k_{v-ex}\frac{V_1^2}{2g} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}28)$$

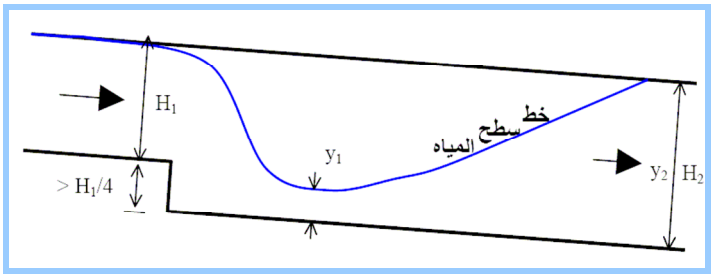
حيث إن :

- $h_{L_{v-ex}}$ = فواقد الطاقة عند زيادة ارتفاع القناة الصندوقية بقيمة أقل من ربع ارتفاع القناة عند المحطة (١) .
- k_{v-ex} = ثابت تتوقف قيمته على مقدار انخفاض قاع القناة ، وتتراوح قيمته من ٠,٣٠ وحتى ٠,٦٥ والقيمة التطبيقية هي ٠,٥٠

كذلك تجدر الإشارة أنه عند حدوث زيادة في عرض القناة الصندوقية وارتفاعها عند نفس المحطة (Station) فتكون القيمة التطبيقية لكلٍ من الثابت k_{h-ex} والثابت k_{v-ex} هي ٠,٥٠ على حدٍ سواء .

٣-٦-٨-٩ فواقد الطاقة للقفزة الهيدروليكية (Hydraulic Jump) :

في حالة الإنخفاض المفاجئ لقاع القناة الصندوقية وكان مقدار الإنخفاض أكبر من ربع ارتفاع القناة عند المحطة (١) عندها يكون احتمال حدوث قفزة هيدروليكية (Hydraulic Jump) لجريان المياه في القناة كبيراً وتتولد نتيجة لذلك فواقد ثانوية كبيرة لا يمكن إهمالها ، ويمكن تعريف القفزة الهيدروليكية بأنها انتقال المياه من حالة الجريان فوق الحرج (Super Critical) إلى حالة الجريان تحت الحرج (Subcritical) ، والمعروف أن جريان المياه في الأنابيب والقنوات الصندوقية عادةً ما يكون من نوع تحت الحرج (Subcritical) ويتحول الجريان من تحت الحرج إلى فوق الحرج عند حدوث انخفاض كبير بقاع القناة ، أنظر الشكل (٣ -١٧) .



شكل (٣-١٧) القفزة الهيدروليكية بشبكات تصريف السيول

ويمكن التعبير عن فواقد الطاقة نتيجة القفزة الهيدروليكية بالشكل (٣ -١٧) على النحو التالي :

$$h_{L_{h-j}} = \frac{(y_2 - y_1)^2}{4 y_1 y_2} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}29)$$

حيث إن :

- $h_{L_{h-j}}$ = فواقد الطاقة نتيجة القفزة الهيدروليكية .
- y_1 = عمق المياه عندما يكون التدفق من نوع فوق الحرج **Supercritical** (أي أن رقم فرود $IF > 1$) عند بداية تكوُّن القفزة الهيدروليكية .
- y_2 = عمق المياه خلف القفزة الهيدروليكية عندما يكون التدفق من نوع تحت الحرج **Subcritical** ، ويساوي ارتفاع القناة الصندوقية باعتبار أن المياه كامل قطاع شبكة تصريف السيول تحت ما يسمى بالضغط المنخفض **(Low Pressure Pipe Line)** .

ويتم تحديد قيمة عمق للمياه عندما يكون التدفق من نوع فوق الحرج **Supercritical** (y_1) باستخدام العلاقات الرياضية التالية بين كل من (IF_1 ، IF_2 ، y_1 ، y_2) وذلك على النحو التالي :

$$\frac{IF_1}{IF_2} = \left(\frac{\sqrt{1 + 8 IF_2^2} - 1}{2} \right)^{3/2} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}30)$$

$$IF_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}31)$$

$$IF_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g y_2}} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}32)$$

٣-٦-٩ أقل عمق للردم فوق الأنابيب والعبارات الصندوقية :

إن أقل عمق للردم فوق الراسم العلوي الخارجي لجدار قناة تصريف السيول هو واحد متر ، وهذا العمق من الردم فوق الأنبوب أو القناة الصندوقية كافٍ لتحقق سلامة القناة نفسها من تأثير حركة المركبات الميكانيكية بالإضافة لوزن الردم نفسه فوق القناة ، وفي حالة إنشاء شبكة لتصريف السيول في منطقة أو حي من الأحياء لم يتم فيه بعد إنشاء شبكات للصرف الصحي – على وجه الخصوص – أو للمياه ، في هذه الحالة يراعى أن يكون أقل عمق للردم فوق الأنابيب هو ١,٥٠م وفوق العبارات الصندوقية هو ٢,٠م وذلك بغرض إتاحة الفرصة لإنشاء شبكات هذه الخدمات مستقبلاً دون تعارض مع شبكة تصريف السيول .

٣-٦-١٠ المسافات البينية بين المطابق :

إن المسافات البينية بين المطابق أو غرف التفتيش المقامة على خطوط نقل المياه المنشأة تحت سطح الأرض عادةً ما تتوقف على قطر أو أبعاد القناة وسمات وحداثة الأدوات المستخدمة في أعمال الصيانة الضرورية لهذه الخطوط ، وبالنسبة لخطوط تصريف السيول ونظراً لما يحمله السيل وبخاصة في أحواض الصرف الرسوبية من زبد وأتربة عالقة ومواد طافية ينبغي أن لا تزيد هذه المسافات عن حدود معينة بغرض تسهيل أعمال الصيانة ، كما ينبغي ألا تقل عن حدود معينة تقليلاً لتكلفة إنشاء المطابق نفسها وتخفيضاً لمكعبات الحفر الناتجة عن زيادة الفواقد الثانوية بسبب هذه المطابق مما يؤدي إلى زيادة انحدارات هذه الخطوط من ناحية أخرى .

والجدول رقم (٣ -١٤) يبين الحدود الآمنة للمسافات البينية بين المطابق على خطوط تصريف السيول .

جدول (٣-١٤) المسافة البينية بين المطابق على خطوط تصريف السيول

خط تصريف السيول	المسافة البينية بين المطابق (م)
أنبوب بقطر أقل من ٨٠٠ ملم	من٧٠ م وحتى ١٠٠ م
أنبوب بقطر أكبر من ٨٠٠ ملم	من ١٠٠ م وحتى ١٢٠ م
العبارات الصندوقية	من ١٢٠ م وحتى ١٥٠ م

٣-٦-١١ خطوات تصميم الشبكات الرئيسية لتصريف مياه السيول :

وفي ضوء ما سلف من أسس وقواعد عامة متعلقة بهيدروليكا الأنابيب سوف نتناول خطوات تصميم شبكات تصريف السيول سواء كانت من الأنابيب أو القنوات الصندوقية على النحو التالي :

١ - يتم تحديد أقرب مصب طبيعي **(Outfall)** للشبكة المراد تصميمها أولاً ، وتحديد أقصى منسوب متوقع للمياه - إن وجد -في الوادي أو القناة التي سيتم الصرف عليها أو تحديد المنسوب الإفتراضي الذي سيتم الصرف عليه .

٢ - يتم تحديد وترسيم أماكن سريان خطوط الشبكة للمنطقة المراد تصريف السيول بها ، ويعتمد ذلك على مناسيب سطح الأرض وعروض الشوارع وخدمات المرافق المتواجدة بها .

٣ - يتم تحديد أماكن المطابق أو غرف التفتيش على طول خطوط الشبكة ، ويخضع ذلك للإعتبارات التالية :

أ) بالنسبة لخطوط الأنابيب يتم توقيع مطبق عند كل تغير أفقي في مسار الخط مهما كانت زاوية الإنحناء ، ولا يشترط ذلك بل يفضل بالنسبة للقنوات الصندوقية .

ب) تراعى المسافات البينية بين المطابق كما هو موضح بالجدول رقم (٣ -١٤) ماعدا الحالات التي يستوجبها التخطيط الأفقي للشبكة ومخطط الشوارع .

٤ - يتم تجميع وترسيم خطوط خدمات المرافق الأخرى كالكهرباء والهاتف والصرف الصحي ومياه الشرب والمياه الجوفية وأي خدمات أو كابلات أخرى لها مسارات تحت سطح الأرض بغرض تفاديها عند توقيع خطوط تصريف السيول – ما أمكن ذلك .

٥ - يتم ترسيم حدود أحواض الصرف عند كل مطبق وحساب مساحتها ووفقاً لمناسيب سطح الأرض .

٦ - يتم تحديد الزمن التكراري التصميمي وذلك وفقاً للقيم الإرشادية المبينة بالجدول رقم (٢ -٨) ورقم (٢ -٩) .

٧ - يتم استخلاص واستجلاء خصائص أحواض الصرف التي لها علاقة بالتصميم الهيدرولوجي للشبكة بكل عناية مع مراعاة التطور العمراني لها مستقبلاً وتشمل :

أ) طبيعة سطح الأرض وتحديد قيمة معامل الجريان لكل حوض وذلك بالرجوع لجدول رقم (٢ -١٠) الخاص بالطريقة المنطقية **Rational Method** أو جدول رقم (٢ -١٢) الخاص بطريقة رقم المنحنى **SCS CN Method** التي سبق تناولها بالباب الثاني -حسب شروط استخدام كل طريقة .

ب) طول المسارات المختلفة لمياه السيول عبر أحواض الصرف .

ج) الإنحدار المتوسط لسطح الأرض لكل مسار .

د) يتم حساب زمن جريان المياه فوق سطح الحوض حتى وصولها لموقع المطبق الأول على خط تصريف السيول المراد تصميمه لكل مسار وذلك بحسب طبيعة سطح الحوض باستخدام المعادلات رقم (٢ -٤) حتى رقم (٢ -٩) والموضحة بالباب الثاني .

ه) تحديد المسار الحرج **Lc** (وهو المسار الذي تستغرق فيه مياه السيول أكبر زمن حتى تصل إلى فتحة مصيدة الأمطار أو فتحة المطبق) ، ويسمى زمن الوصول للمسار الحرج بزمن التركيز **(T_{c1})** الخاص بحوض صرف المطبق الأول .

٨ - بواسطة قيمة زمن التركيز **(T_{c1})** يتم تحديد قيمة معدل تساقط الأمطار فوق حوض صرف المطبق الأول **(I_1)** من منحنى الـ **(IDF-Curve)** - شكل رقم (٢ -٤) - الخاص بمدينة الرياض والموضح بالباب الثاني في حال استخدام الطريقة المنطقية أو تحديد أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض من الجدول رقم (٢ -٦) في حال استخدام طريقة رقم المنحنى .

٩ - يتم حساب معدل كمية مياه الأمطار المتساقطة على حوض صرف المطبق الأول **(q_1)** باستخدام طريقة الـ **Rational Method** أو طريقة **SCS-CN Method** بحسب مساحة حوض الصرف أو أي طريقة أخرى ، وهذا التصرف هو الذي سوف يتم نقله عبر خط تصريف السيول من المطبق رقم (١) وحتى المطبق رقم (٢) .

١٠ - يتم حساب الزمن المستغرق لوصول مياه السيول -التي تم استقبالها عبر المطبق رقم (١) -حتى المطبق رقم (٢) وذلك باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٠) التي يمكن إعادة صياغتها على النحو التالي :

$$T_{f_{1\to2}} = \frac{L_{1\to2}}{60 \times V} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}33)$$

حيث إن :

- $T_{f_{1\to2}}$ = زمن وصول مياه السيول من المطبق رقم (١) وحتى المطبق رقم (٢) (دقيقة) .
- $L_{1\to2}$ = المسافة بين المطبق رقم (١) وحتى المطبق رقم (٢) (متر) .
- V = قيمة افتراضية أولية للسرعة المتوسطة للمياه عبر شبكة تصريف السيول ويتم اختيارها في المدى (٠,٦١ -٣,٦٦ م/ث) وغالباً ما يتم اختيار القيمة V = ١,٥٠ متر/ثانية كقيمة متوسطة أولية للسرعة يتم التأكد منها لاحقاً .

١١ - يتم تكرار الخطوة (٧) في حساب زمن التركيز **(T_{c2})** والخاص بحوض الصرف للمطبق رقم (٢) .

١٢ - يتم تحديد القيمة الأكبر لزمن التركيز من كل من :

أ) زمن وصول مياه السيول حتى المطبق رقم (٢) ويساوي $T_{c_{1\to2}} = T_{c1} + T_{f_{1\to2}}$

ب) زمن تركيز حوض صرف المطبق رقم (٢) وهو T_{c2}

١٣ - بواسطة قيمة زمن التركيز التي تم تحديدها بالخطوة رقم (١٢) يتم تحديد قيمة معدل تساقط الأمطار فوق كل من المساحة الكلية لحوضي صرف المطبق الأول والمطبق الثاني ولتكن **(I_2)** من منحنى الـ **(IDF-Curve)** في حال استخدام الطريقة المنطقية أو تحديد أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض في حال استخدام طريقة رقم المنحنى .

١٤ - يتم تكرار الخطوة رقم (٩) لحساب معدل تدفق مياه السيول عند المطبق رقم (٢) **(q_2)** مع الأخذ في الإعتبار المساحة الكلية لكل من حوض صرف المطبق الأول والثاني وأخذ قيمة متوسطة لمعامل الجريان - في حال استخدام الطريقة المنطقية - أو رقم المنحنى - في حال استخدام طريقة رقم المنحنى - لحوضي صرف المطبق الأول والثاني باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٥) أو رقم (٢ -١٦) على التوالي .

١٥ - تكرر الخطوات السابقة عند كل مطبق على طول خط التصريف وحتى المصب النهائي .

١٦ - بعد تحديد معدل تدفق مياه السيول عند كل مطبق على طول خط التصريف يتم افتراض قيمة أولية لأبعاد خط التصريف الداخلية (قطر الأنبوب أو عرض وارتفاع القناة الصندوقية) ابتداء من الوصلة بين المطبق الأول والثاني وفي ضوء الإرشادات الصادرة سلفاً .

١٧ - باستخدام مبدأ المحاولة والخطأ يتم تحديد القيم المناسبة لأقطار الأنابيب أو أبعاد القناة الصندوقية بحيث تراعى حدود السرعة المتوسطة للمياه والمذكورة بالفقرة رقم (٣ -٦ -٤) .

١٨ - يتم حساب السرعة المتوسطة للمياه خلال كل وصلة أو حبس بين مطبقين باستخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -١) ومعادلة ماننج رقم (٣ -٩) وبمعلومية تدفق مياه السيول خلال كل حبس (الخطوة رقم ٩) وأبعاد القناة الإفتراضية (الخطوة رقم ١٦) وفق الإعتبارات والإفتراضات التالية :

- أن المياه تسير في كامل مساحة مقطع القناة سواء كانت أنبوباً أو قناة صندوقية وسواء كانت مكونة من فتحة واحدة أو عدة فتحات .
- تؤخذ قيمة معامل ماننج للخشونة بحسب نوع المادة المصنع منها القناة ووفق الجدول رقم (٣ -١١).
- التقيد بحدود السرعة المتوسطة لجريان المياه المسموح بها داخل قنوات تصريف مياه السيول وفقاً لما تم بيانه سلفاً بالفقرة (٣ -٦ -٤) .
- تفادي خطوط الخدمات والمرافق الأخرى في القطاع الرأسي (كالكهرباء والهاتف والصرف الصحي ومياه الشرب والمياه الجوفية وأي خدمات أو كابلات أخرى لها مسارات تحت سطح الأرض) ، وذلك على النحو المذكور بالفقرة (٣ -٦ -٦).
- يتم ضبط الإنحدار الطولي لقاع القناة وفق الحدود التي وردت بالفقرة رقم (٣ -٦ -٣) ، ولا يتم تجاوز ذلك إلا في أضيق الحدود ، ويتوقف ذلك على انحدار سطح الأرض .
- في حالة الإنحدارات الشديدة لسطح الأرض يتم اللجوء إلى عمل منخفضات **(Drops)** متتابعة في قاع القناة مع ضبط قيمة المنخفض الواحد حتى يتم الوصول إلى الإنحدار المناسب ، ويحسن أن لا يزيد مقدار المنخفض الواحد عن ٢ متر وإلا تم عمل منخفض متدرج الأعتاب **(Stepped Drops)**.

١٩ - يتم ضبط خط الإنحدار الهيدروليكي وفق ما ورد بالفقرة **(٣-٦-٧)** بالإضافة للإعتبارات والإفتراضات التالية :

- أن سطح المياه المسموح به بالمطبق الأول من الشبكة أقل من سطح الأرض بحوالي نصف متر .
- أن منسوب سطح المياه في القناة عند المصب يكون المنسوب الأعلى من المناسيب التالية :

أ) أقصى منسوب للمياه متوقع في الوادي أو القناة التي يتم الصرف عليها (إن وجد) .

ب) منسوب قاع قناة تصريف السيول + العمق الحرج **(Critical Depth)** .

ج) منسوب محور قناة تصريف السيول المقترح من قبل المصمم .

د) لا يسمح بارتفاع منسوب المياه في المطابق الوسطى وعلى طول مسار قناة تصريف السيول بأكثر من نصف متر من منسوب سطح الأرض ، ويحسن أن يكون خط الإنحدار الهيدروليكي بمحاذاة الراسم العلوى للقناة ما أمكن ذلك .

٢٠ - يتم حساب فواقد الطاقة على طول مسار قناة تصريف السيول باستخدام المعادلة التالية:

$$h_{L_T} = h_{L_{in}} + h_{L_{out}} + h_{L_m} + h_b + h_{L_c} + h_{L_{en}} + h_{L_{h-ex}} + h_{L_{v-ex}} + h_{L_{h-j}} + h_{L_f} \quad \text{.....} \quad (3\text{-}34)$$

حيث إن :

- h_{L_T} = مجموع الفواقد الكلية للطاقة من المطبق الأول وحتى المصب .
- $h_{L_{in}}$ = فواقد الطاقة الثانوية عند فوهة القناة ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٢) .
- $h_{L_{out}}$ = فواقد الطاقة الثانوية عند مصب القناة ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٤) .
- h_{L_m} = فواقد الطاقة الثانوية عند غرف التفتيش ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٦) .
- h_{L_b} = فواقد الطاقة الثانوية عند تغيير مسار القناة،ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ٢٥).
- h_{L_c} = فواقد الطاقة الثانوية عند تقلص قطاع القناة، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢١)
- $h_{L_{en}}$ = فواقد الطاقة الثانوية عند التغير المفاجئ لقطاع الأنبوب ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٣) .
- $h_{L_{h-ex}}$ = فواقد الطاقة الثانوية عند الإتساع المفاجئ لقطاع القناة الصندوقية ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٧) .
- $h_{L_{v-ex}}$ = فواقد الطاقة الثانوية عند الإنخفاض المفاجئ لقاع القناة الصندوقية ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٨) .
- $h_{L_{h-j}}$ = فواقد الطاقة الثانوية للقفزة الهيدروليكية بالقناة الصندوقية ، ويتم حسابها باستخدام المعادلات رقم (٣ ـ ٢٩) ، (٣ ـ ٣٠) ، (٣ ـ ٣١) ، (٣ ـ ٣٢) .
- h_{L_f} = فواقد الطاقة الرئيسية نتيجة الإحتكاك بين جزيئات المياه وجدار القناة ، ويتم حسابها باستخدام المعادلة رقم (٣ ـ ٢٩) .

٢١ - يتم حساب منسوب خط الانحدار الهيدروليكي على طول مسار القناة عند أي مطبق باستخدام المعادلة التالية :

$$HGL_N = L.L_1 - 0.50 - h_{LN}^T \quad \text{.....} \quad (3\text{-}33)$$

حيث إن :

- HGL_N = منسوب خط الانحدار الهيدروليكي عند المطبق رقم (**N**) .
- $L.L_1$ = منسوب سطح الأرض عند المطبق الأول .
- h_{LN}^{T} = مجموع فواقد الطاقة حتى المطبق رقم (**N**) .

٢٢ - يتم ترسيم مسارات وأبعاد خطوط الخدمات والمرافق المختلفة – إن وجدت – على القطاع الطولي لمسار القناة .

٢٣ - بالتزام طريقة المحاولة والخطأ **(Trial and Error Procedure)** يتم إعادة ضبط كلٍ من :

- أقطار الأنابيب عند القطاعات المختلفة على طول مسار القناة .
- أبعاد القناة الصندوقية عند القطاعات المختلفة على طول مسار القناة .
- انحدارات القاع عند القطاعات المختلفة على طول مسار القناة .

بحيث تتناسب والقيم الإفتراضية لـ :

- حدود السرعات المتوسطة للمياه .
- حدود انحدارات القاع .
- منسوب مياه المصب .
- عروض الشوارع التي ستخدمها شبكة تصريف السيول .
- مع تلافي كافة التقاطعات المحتملة مع شبكات الخدمات والمرافق المختلفة .

مثال (٣-٤) :

في هذا المثال سيتم حساب كافة المعاملات الهيدرولوجية والهيدروليكية بغرض توضيح كيفية استعمال المعادلات السابق ذكرها بكلٍ من الباب الثاني والباب الثالث من الناحية التطبيقية ، وقد تم اختيار منطقة افتراضية بخصائص وسمات متباينة لتوضيح تأثير خصائص سطح الحوض في تقدير كميات مياه السيول كذلك تم افتراض وجود خط فرعي يصب بخط رئيسي .

باستخدم طريقة رقم المنحنى **SCS CN Method** صممت قناة لتصريف السيول بالمنطقة الإفتراضية المبينة بالشكل رقم (٣ -٢٠) وبناء على الإفتراضات والبيانات التالية :

١ - تفاصيل الرفع المساحي موضحة بالشكل رقم (٣ -١٨) .

٢ - مسار خط الأنابيب المقترح لتصريف مياه السيول بالمنطقة وكذلك مواقع المطابق والمسافات البينية موضحة بالشكل رقم (٣ -١٩) .

٣ - مساحة حوض الصرف الخاص بالمطبق رقم (١) = ٤٥ هكتاراً وكافة تفاصيل سطح الحوض (التي تشمل طول المسار الحرج وخصائصه) هي المذكورة سلفاً بالمثال رقم (٢ -١) ونسبة مساحة برك التجميع والمستنقعات الموجودة بالحوض = ٤٪ ، غير أن التربة المكونة للحوض هي من الصنف **(B)** والمحتوى الرطوبي لها من الدرجة الأولى **AMC-I** أي أن الحالة العامة لرطوبة التربة المكونة للحوض من الدرجة الدنيا .

٤ - التربة المكونة لأحواض صرف المطابق من رقم (٢) وحتى (١٦) هي من الصنف **(D)** ، والحالة العامة لها من الدرجة الثالثة **AMC-III** ، ونسبة مساحة برك التجميع والمستنقعات = صفر٪ .

٥ - يوجد خط افتراضي فرعي لتصريف السيول تصب مياهه بالخط الرئيسي عند المطبق رقم (١٤) ، وبمساحة حوض = ٤٤ هكتارا وزمن تركيز افتراضي = ٣٥ دقيقة .

٦ - استعمالات الأرض بجميع أحواض الصرف للمنطقة الإفتراضية هي على النحو المذكور بالمثال رقم (٢ -١) وهي :

- ٥٠٪ إسكان أسرة واحدة (فيلات) .
- ١٠٪ عمارات سكنية منفصلة .
- ٢٥٪ شوارع أسفلتية .
- ١٥٪ حدائق .

٧ - أعلى منسوب لسطح المياه بالوادي الذي سيتم تصريف مياه السيول والأمطار المتوقع سقوطها على المنطقة هو (٩٠,٩٠) .

٨ - يتم التصميم لزمن تكراري مقداره ١٠ سنوات .

الحـل :

أولاً الحسابات الهيدرولوجية :

١ - **خصائص أحواض الصرف :**

الجدول رقم (٣ -١٥) يبين خصائص أحواض الصرف لمختلف المطابق الموقعة على مسار خط تصريف السيول بالإضافة إلى الخط الفرعي عند المطبق رقم (١٤) .

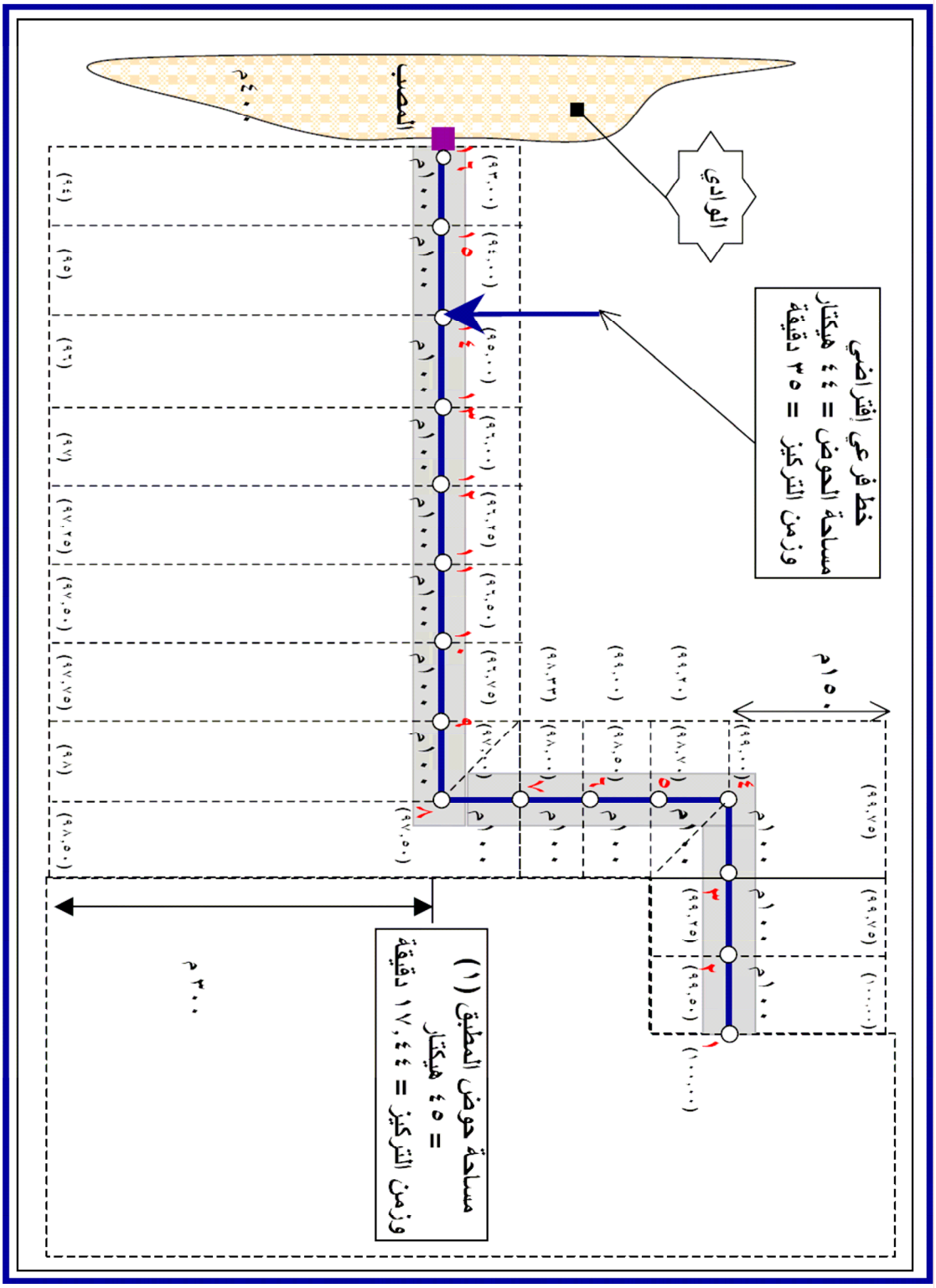
٢ - **زمن التركيز :**

باستخدام المعادلة رقم (٢ -٤) الخاصة بحساب زمن التركيز للجريان الشرائحي **(Sheet Flow)** والمعادلة رقم (٢ -٦) الخاصة بحساب زمن التركيز للجريان الضحل **(Shallow Concentrated Flow)** ، وبالرجوع للبيانات الخاصة بالمسار الحرج (الطول والإنحدار) والمذكورة بالجدول رقم (٣ -١٥) يمكن حساب زمن التركيز الخاص بحوض صرف كل مطبق على حدة .

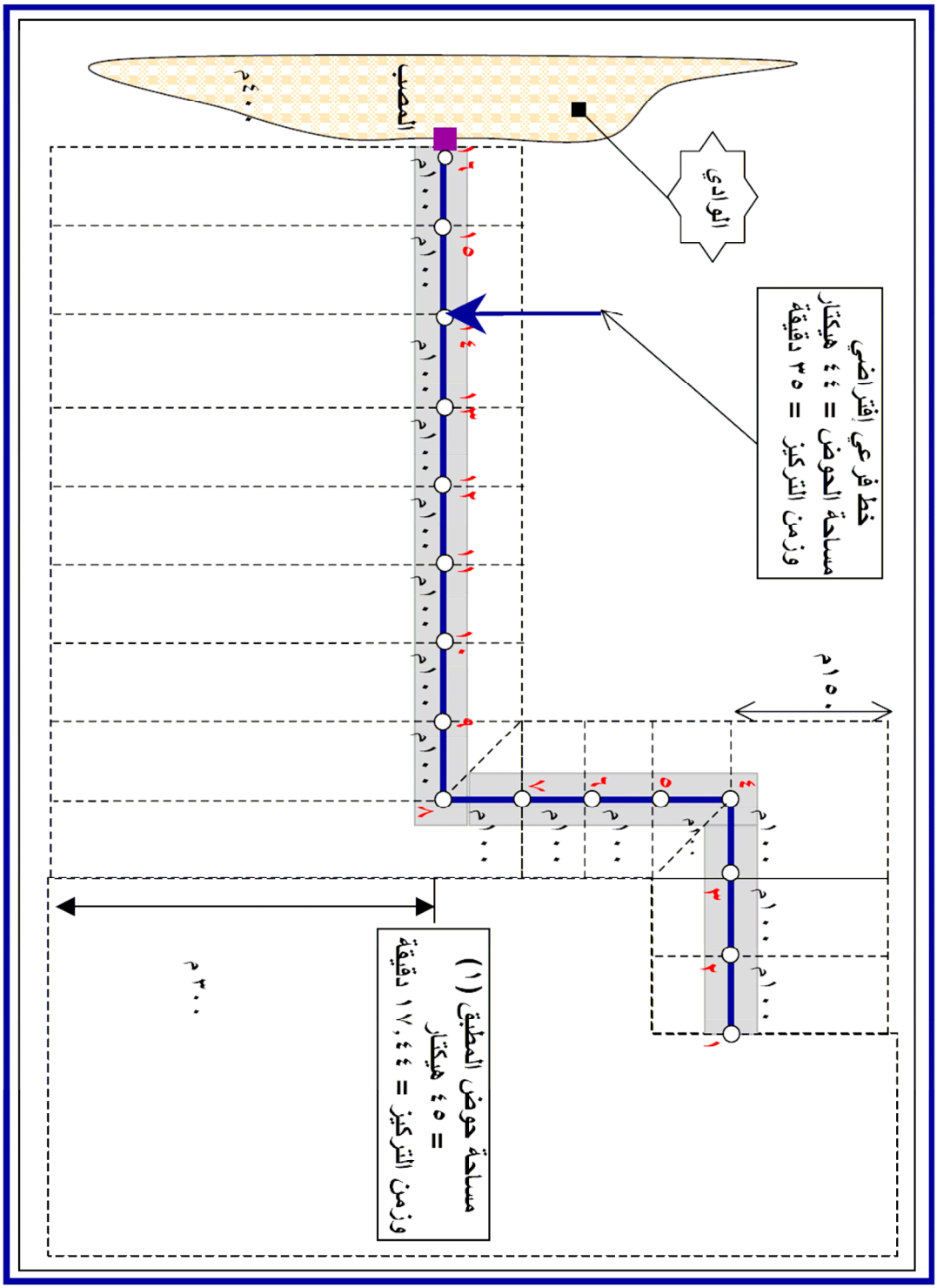
كما تم حساب زمن جريان المياه خلال خط تصريف السيول نفسه ، ولكن نظراً لأن هذا الزمن يعتمد على قطر أو أبعاد الخط وقيمة التدفق المار خلاله من مطبقٍ لآخر (واللذان لم يتم حسابهما بعد لاعتمادهما على زمن التركيز التجميعي النهائي) فسوف يتم افتراض قيمة متوسطة لسرعة المياه خلال الخط (من ٠,٦١ وحتى ٣,٦٦ متر/ثانية) والقيمة المختارة هي ١,٥٠ متر/ثانية ، ويجب مراجعة وتدقيق الحسابات مرةً أخرى إذا تبين أن هذه القيمة الإفتراضية كانت بعيدة عن متوسط قيمة السرعة الفعلية للمياه خلال الخط ككل (في حدود ∓ ٢٠٪) .

ولحساب زمن التركيز التجميعي وزمن التركيز الأقصى للخط الرئيسي عند المطابق المختلفة تم استخدام المعادلة رقم (٢ -١٣) ، وتجدر الإشارة إلى أنه عند المطبق رقم (١) تم اعتبار زمن التركيز المحسوب بالمثال رقم (٢ -١) بالباب الثاني ويساوي ١٧,٤٤ دقيقة ، وكمثال عددي للحسابات تم حساب زمن التركيز الأقصى عند المطبق رقم (١٤) بالمعادلة رقم **(2-11b)** على النحو التالي :

$$T_{C_{\max}}^{14} = Max.\left(T_{C_{\max}}^{13} + T_{Travel_{13}}^{14}, T_{C_B}^{14}, T_{C_{br}}^{14}\right) = Max.(17.89, 30.77 + 1.11, 35) = 35\,\min$$



شكل (٣-١٨) التفاصيل الطبوغرافية لخط تصريف السيول للمثال رقم (٣-٤)



شكل رقم (٣-١٩) خط تصريف السيول للمثال رقم (٣-٤)

والجدول رقم (٣ -١٦) يبين الحسابات الخاصة بزمن التركيز حتى وصول جريان مياه السيول عند المطابق المختلفة .

جدول (٣-١٥) خصائص أحواض الصرف للمنطقة الإفتراضية

رقم المطبق	المسافة البينية (م)	البعد الكيلو متري (كم)	منسوب سطح الأرض	مساحة حوض (هكتار)	المسار الحرج	
					الطول (م)	الإنحدار (٪)
١		٠,٠٠	(١٠٠,٠٠)	٤٥,٠٠	كما بالمثال رقم (٢-٤) بالباب الثاني	
٢	١٠٠	٠,١٠٠	(٩٩,٥٠)	٣,٠٠	١٥٠	٠,٣٣
٣	١٠٠	٠,٢٠٠	(٩٩,٢٥)	٣,٠٠	١٥٠	٠,٣٣
٤	١٠٠	٠,٣٠٠	(٩٩,٠٠)	١,٥٠	١٥٠	٠,٣٣
٥	١٠٠	٠,٤٠٠	(٩٨,٧٠)	٤,٥٠	١٠٠	٠,٥٠
٦	١٠٠	٠,٥٠٠	(٩٨,٥٠)	٢,٠٠	١٠٠	٠,٥٠
٧	١٠٠	٠,٦٠٠	(٩٨,٠٠)	٢,٠٠	١٠٠	٠,٥٠
٨	١٠٠	٠,٧٠٠	(٩٧,٥٠)	٥,٥٠	٣٠٠	٠,٣٣
٩	١٠٠	٠,٨٠٠	(٩٧,٠٠)	٤,٥٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٠	١٠٠	٠,٩٠٠	(٩٦,٧٥)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١١	١٠٠	١,٠٠٠	(٩٦,٥٠)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٢	١٠٠	١,١٠٠	(٩٦,٢٥)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٣	١٠٠	١,٢٠٠	(٩٦,٠٠)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٤	١٠٠	١,٣٠٠	(٩٥,٠٠)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٥	١٠٠	١,٤٠٠	(٩٤,٠٠)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣
١٦	١٠٠	١,٥٠٠	(٩٣,٠٠)	٥,٠٠	٣٠٠	٠,٣٣

٣ - <u>معدل تدفق المياه :</u>

باستخدام طريقة رقم المنحنى **SCS CN Method** ولزمن تكراري مقداره ١٠ سنوات تم حساب متوسط رقم المنحنى لأحواض الصرف الخاصة بالمطابق ومتوسط رقم منحنى الخط ككل عند المطابق المختلفة باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٤) ، كذلك تم حساب السعة التخزينية القصوى **(S)** لأحواض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٦) ، والاستيعاب الأولي **(I_a)** لأحواض من مياه الأمطار المتساقطة باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٧) ، وعمق مياه السيول **Runoff Depth (R)** المتوقع على وحدة المساحات فوق سطح أحواض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٨) ونسبة الفواقد الإبتدائية **(I_a/P)** لأحواض الصرف من مياه الأمطار باستخدام المعادلة رقم (٢ -١٧) والمعاملات **(C_0 , C_1 , C_2)** باستخدام الجدول رقم (٢ -١٦) وقيمة معامل التصحيح **(F)** نتيجة وجود برك التجميع بأحواض الصرف من الجدول رقم (٢ -١٧) .

كذلك تم حساب وحدة التدفق الأقصى من مياه السيول **(Unit Peak Discharge q_u)** باستخدام المعادلة رقم (٢ -٢١) ، ومقدار التدفق الأقصى للجريان السطحي لمياه السيول **(Peak Discharge Q)** فوق سطح أحواض الصرف باستخدام المعادلة رقم (٢ -٢٢) ، علماً بأن أقصى معدل يومي لتساقط الأمطار على مدينة الرياض **(P)** من الجدول رقم (٢ -٦) للفترة التكرارية ١٠ سنوات هو ٣٣,٠٨ مم/يوم ، والجدول رقم (٣ -١٧) يبين الحسابات الخاصة بطريقة رقم المنحنى **SCS CN Method** لخط تصريف السيول عند المطابق المختلفة على طول الخط .

جدول (٣-١٦) زمن التركيز لأحواض صرف المطابق المختلفة

رقم المطبق	البعد الكيلو متري (كم)	زمن التركيز (دقيقة)				
		الجريان الشرائحي	الجريان الضحل	التجميعي	بين المطابق	الأقصى
١	٠,٠٠	-	-	١٧,٤٤	-	١٧,٤٤
٢	٠,١٠٠	٢,٤٣	٦,٦٥	٩,٠٨	١,١١	١٨,٥٥
٣	٠,٢٠٠	٢,٤٣	٦,٦٥	٩,٠٨	١,١١	١٩,٦٦
٤	٠,٣٠٠	٢,٤٣	٦,٦٥	٩,٠٨	١,١١	٢٠,٧٧
٥	٠,٤٠٠	٢,٠٨	٠,٣٣	٢,٤١	١,١١	٢١,٨٨
٦	٠,٥٠٠	٢,٠٨	٠,٣٣	٢,٤١	١,١١	٢٣,٠٠
٧	٠,٦٠٠	٢,٠٨	٠,٣٣	٢,٤١	١,١١	٢٤,١١
٨	٠,٧٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٢٥,٢٢
٩	٠,٨٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٢٦,٣٣
١٠	٠,٩٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٢٧,٤٤
١١	١,٠٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٢٨,٥٥
١٢	١,١٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٢٩,٦٦
١٣	١,٢٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٣٠,٧٧
١٤	١,٣٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٣٥,٠٠
١٥	١,٤٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٣٦,١١
١٦	١,٥٠٠	٢,٤٣	١٥,٤٦	١٧,٨٩	١,١١	٣٧,٢٢

جدول (٣-١٧)

الحسابات الخاصة بطريقة رقم المنحنى SCS CN Method

رقم المطبق	البعد الكيلو متري (كم)	CN_{ave}	CN_{accum}	S (مم)	I_a (مم)	P (مم/يوم)	R (مم)	I_a/P	C_o	C_1	C_2	q_u (م٣/ث/كم٢/مم)	F	F_{adj}	Q_{10} (م٣/ث)
١	٠,٠٠	٧٤,٦٨	٧٤,٦٨	٨٥,٣٢	١٧,٠٦	٣٣,٠٨	٢,٥٣	٠,٥٢	٢,٢٠٢٨	-٠,٥١٦	-٠,٠١٢٦	٠,١٣	٠,٨٢	٠,٨٢	٠,١٢
٢	٠,١٠٠	٩٣,٥٠	٧٦,٠٢	٨٠,١٢	١٦,٠٢	٣٣,٠٨	٢,٩٩	٠,٤٨	٢,٢٩٢٤	-٠,٥٧٠١	-٠,٠٢٢٨	٠,١٦	١,٠٠	٠,٨٣	٠,١٩
٣	٠,٢٠٠	٩٣,٥٠	٧٧,٠٥	٧٥,٦٦	١٥,١٣	٣٣,٠٨	٣,٤٤	٠,٤٦	٢,٢٩٢٤	-٠,٥٧٠١	-٠,٠٢٢٨	٠,١٦	١,٠٠	٠,٨٤	٠,٢٣
٤	٠,٣٠٠	٩٣,٥٠	٧٨,٣٨	٧٠,٠٥	١٤,٠١	٣٣,٠٨	٤,٠٨	٠,٤٢	٢,٣٦٤١	-٠,٥٩٨٦	-٠,٠٥٦٢	٠,١٨	١,٠٠	٠,٨٥	٠,٣٥
٥	٠,٤٠٠	٩٣,٥٠	٧٨,٧٨	٦٨.٤١	١٣,٦٨	٣٣,٠٨	٤,٢٨	٠,٤١	٢,٣٦٤١	-٠,٥٩٨٦	-٠,٠٥٦٢	٠,١٨	١,٠٠	٠,٨٥	٠,٣٧
٦	٠,٥٠٠	٩٣,٥٠	٧٩,٢٨	٦٦,٣٨	١٣,٢٨	٣٣,٠٨	٤,٥٥	٠,٤٠	٢,٣٦٤١	-٠,٥٩٨٦	-٠,٠٥٦٢	٠,١٧	١,٠٠	٠,٨٦	٠,٤٠
٧	٠,٦٠٠	٩٣,٥٠	٧٩,٧٥	٦٤,٥١	١٢,٩٠	٣٣,٠٨	٤,٨١	٠,٣٩	٢,٤١٩	-٠,٦١٥٩	-٠,٠٨٨٢	٠,١٩	١,٠٠	٠,٨٦	٠,٤٩
٨	٠,٧٠٠	٩٣,٥٠	٨٠,٨٨	٦٠,٠٣	١٢,٠١	٣٣,٠٨	٥,٤٨	٠,٣٦	٢,٤١٩	-٠,٦١٥٩	-٠,٠٨٨٢	٠,١٩	١,٠٠	٠,٨٧	٠,٦٠
٩	٠,٨٠٠	٩٣,٥٠	٨١,٦٨	٥٦,٩٦	١١,٣٩	٣٣,٠٨	٥,٩٨	٠,٣٤	٢,٤٦٥٣	-٠,٦٢٢٦	-٠,١١٦٦	٠,٢٠	١,٠٠	٠,٨٨	٠,٧٦
١٠	٠,٩٠٠	٩٣,٥٠	٨٢,٤٦	٥٤,٠٣	١٠,٨١	٣٣,٠٨	٦,٥٠	٠,٣٣	٢,٤٦٥٣	-٠,٦٢٢٦	-٠,١١٦٦	٠,٢٠	١,٠٠	٠,٨٩	٠,٨٧
١١	١,٠٠٠	٩٣,٥٠	٨٣,١٤	٥١,٥٠	١٠,٣٠	٣٣,٠٨	٦,٩٩	٠,٣١	٢,٤٦٥٣	-٠,٦٢٢٦	-٠,١١٦٦	٠,١٩	١,٠٠	٠,٩٠	٠,٩٩
١٢	١,١٠٠	٩٣,٥٠	٨٣,٧٤	٤٩,٣٠	٩,٨٦	٣٣,٠٨	٧,٤٣	٠,٣٠	٢,٥٠٦٥٧	-٠,٦٣٨١	-٠,١٢٧٤	٠,٢١	١,٠٠	٠,٩٠	١,٢٢
١٣	١,٢٠٠	٩٣,٥٠	٨٤,١٨	٤٧,٣٧	٩,٤٧	٣٣,٠٨	٧,٨٥	٠,٢٩	٢,٥٠٦٥٧	-٠,٦٣٨١	-٠,١٢٧٤	٠,٢١	١,٠٠	٠,٩١	١,٣٤
١٤	١,٣٠٠	٩٣,٥٠	٨٧,٥١	٣٦,٢٦	٧,٢٥	٣٣,٠٨	١٠,٧٤	٠,٢٢	٢,٥٠٦٥٧	-٠,٦٣٧٧	-٠,١٤٣٢	٠,٢٠	١,٠٠	٠,٩٤	٢,٨٨
١٥	١,٤٠٠	٩٣,٥٠	٨٧,٧١	٣٥,٥٨	٧,١٢	٣٣,٠٨	١٠,٩٥	٠,٢٢	٢,٥٠٦٥٧	-٠,٦٣٧٧	-٠,١٤٣٢	٠,٢٠	١,٠٠	٠,٩٤	٢,٩٩
١٦	١,٥٠٠	٩٣,٥٠	٨٧,٩١	٣٤,٩٤	٦,٩٩	٣٣,٠٨	١١,١٥	٠,٢١	٢,٥٠٦٥٧	-٠,٦٣٧٧	-٠,١٤٣٢	٠,٢٠	١,٠٠	٠,٩٤	٣,١٠

ثالثاً الحسابات الهيدروليكية :

إن الهدف من الحسابات الهيدرولوجية هو التقدير الدقيق لمعدل تدفق مياه السيول من أحواض الصرف وهو ما تم بيانه بالجدول رقم (٣ -١٧) ، بينما الهدف من الحسابات الهيدروليكية هو تحديد الأبعاد والإنحدارات الآمنة لخطوط تصريف السيول التي تستوعب معدل تدفق مياه السيول عند القطاعات المختلفة على طول مسار الخط وحتى المصب ، وباستخدام طريقة المحاولة والخطأ **(Trial and Error Procedure)** تم تحديد أبعاد وانحدارات خط تصريف السيول عند المطابق المختلفة مع مراعاة النقاط التالية :

- حدود السرعة الدنيا والقصوى والمبينة بالفقرة رقم (٣ -٦ -٤) .
- حدود أعماق الردم فوق الراسم العلوي لخط تصريف السيول ، وقد فرض في المثال أنه لا يقل عن ٢ متر .
- حدود انحدارات القاع والمبينة بالفقرة رقم (٣ -٦ -٧) .
- ضبط الانحدار الهيدروليكي **(HGL)** وحساب فواقد الإحتكاك بالمعادلة رقم (٣ -١٧) وفواقد الطاقة الثانوية بالمعادلات من رقم (٣ -٢٠) وحتى رقم (٣ -٣٤) وفي ضوء الإشتراطات رقم (١٩ ، ٢٠ ، ٢١، ٢٢) المذكورة بالفقرة رقم (٣ -٦ -١١) .

وفي ضوء ما تم من محاولات عديدة لضبط أبعاد القناة لتتناسب والنقاط سالفة الذكر تم إجراء الحسابات الخاصة بالمعاملات الهيدروليكية المختلفة باستخدام المعادلات التطبيقية المناسبة التي سبق الإشارة إليها في هذا الباب ، والجدول رقم (٣ -١٨) يبين تفاصيل الحسابات الهيدروليكية الخاصة بأبعاد قطاع خط تصريف السيول المقترح وانحدارات القاع وفواقد الطاقة وخط الإنحدار الهيدروليكي .

وفيما يلي سيتم توضيح طريقة إجراء الحسابات الهيدروليكية المختلفة المبينة بالجدول رقم (٣ -١٨) والمعادلات التطبيقية المستخدمة :

١ - أبعاد القناة المبينة بالأعمدة رقم (٣ ، ٤ ، ٥) افتراضية بمعنى أنه قد تم استخدام طريقة المحاولة والخطأ **Trial and Error** حتى تنضبط قيمة السرعة وخط الإنحدار الهيدروليكي في الحدود المناسبة ، وكما أوضحنا سلفاً أنه يجب أن لا يقل القطر الداخلي للأنبوب عن ٤٠٠ مم ولا يزيد عن ١٢٠٠ مم وكذلك لا يقل ارتفاع القناة عن ١٤٠٠ مم .

٢ - مساحة القطاع المائي (A) وطول المحيط المبتل (P) وطول نصف القطر الهيدروليكي (R) والمبينين بالأعمدة أرقام (٦) ، (٧) ، (٨) على التوالي ، تم حسابهم بحسب نوع القناة (أنبوب أو صندوقية) وباعتبار قطاع القناة ممتلئاً تماماً .

$$A = \pi \times \frac{D_P^2}{4} = \pi \times \frac{Column.(4)^2}{4}$$ **(for Pipe)**

$$P = \pi \times D_p = \pi \times Column.(4)$$ **(for Pipe)**

$$P = W \times H = Column.(5) \times Column.(6)$$ **(for Box)**

$$P = 2 \times (W + H) = 2 \times (Column.(5) + Column.(6))$$ **(for Box)**

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Column.(7)}{Column.(8)}$$

تم حساب السرعة المتوسطة لجريان المياه بالقناة باستخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -٣) ، وبمعلومية التدفق المار بالقناة عند كل مطبق (Q) من واقع الحسابات الهيدرولوجية المبينة بالجدول رقم (٣ -١٧) على النحو التالي :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Column.(7)}$$

٣ - تم حساب انحدار خط الطاقة (S_f) باستخدام المعادلة رقم (٣ -١٧) وباعتبار قيمة معامل مانج للخشونة بالأنابيب و بالقنوات الصندوقية المصنعة من الخرسانة المسلحة هي $n = 0.013$ على النحو التالي :

$$S_f = \left(\frac{nV}{R^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{n \times Column.(10)}{Column.(9)^{2/3}}\right)^2$$

٤ - تم ترسيم الراسم العلوي للأنبوب بحيث يوفر تحقيق شرطين :

(أ) عمق الردم فوق الأنبوب لا يقل عن ٢ متر (افتراضاً) ، كما تم إهمال سماكة الأنبوب وسماكة سقف القطاع الصندوقي في هذه الحسابات.

(ب) انحدار قاع الأنبوب لا يقل عن انحدار خط الطاقة أو على الأقل يساويه .

وبالتطبيق عند المطبق الأول والثاني نجد أن منسوب الراسم العلوي للأنبوب :

- عند المطبق الأول = (١٠٠,٠٠) -٢ = (٩٨,٠٠).
- عند المطبق الثاني = المنسوب الأقل من :
  - [(٩٨,٠٠) – ١٠٠x٠,٠٠٣٣ = (٩٧,٦٧١)].
  - [(٩٩,٥٠) -٢) = (٩٧,٥٠)].

وبناء عليه يكون منسوب الراسم العلوي للأنبوب عند المطبق الثاني = (٩٧,٥٠) كما هو موضح بالجدول رقم (٣ -١٨).

جدول (٣-١٨)

الحسابات الهيدروليكية الخاصة بأبعاد وانحدارات القطاع وخط الإنحدار الهيدروليكي

(١) رقم المطبق	(٢) البعد الكيلومتري (كم)	(٣) منسوب سطح الأرض	أبعاد القطاع (مم)			(٧) مساحة القطاع المائي (م ٢)	(٨) المحيط المبتل (مم/يوم)	(٩) نصف القطر الهيدروليكي (مم)	(١٠) سرعة الجريان V (م/ثانية)	(١١) انحدار خط الطاقة S_f	منسوب الراسم العلوي		منسوب القاع		(١٦) انحدار القاع S_b
			(٤) القطر (مم)	(٥) العرض (مم)	(٦) الإرتفاع (مم)						(١٢) الأمام	(١٣) الخلف	(١٤) الأمام	(١٥) الخلف	
١	٠,٠٠	١٠٠,٠٠	٤٠٠			٠,١٣	١,٢٦	٠,١٠	٠,٩٥			٩٨,٠٠		٩٧,٦٠	
٢	٠,١٠٠	٩٩,٥٠	٤٠٠			٠,١٣	١,٢٦	٠,١٠	١,٥٤	٠,٣٣٪	٩٧,٥٠	٩٧,٥٠	٩٧,١٠	٩٧,١٠	٠,٥٠٪
٣	٠,٢٠٠	٩٩,٢٥	٥٠٠			٠,٢٠	١,٥٧	٠,١٣	١,١٨	٠,٨٦٪	٩٦,٦٤	٩٦,٦٤	٩٦,٢٤	٩٦,١٤	٠,٢٦٪
٤	٠,٣٠٠	٩٩,٠٠	٥٠٠			٠,٢٠	٢,٥٧	٠,١٣	١,٧٩	٠,٣٧٪	٩٦,٢٧	٩٦,٢٧	٩٥,٧٧	٩٥,٧٧	٠,٣٧٪
٥	٠,٤٠٠	٩٩,٠٠	٧٠٠			٠,٣٩	٢,٢٠	٠,١٨	٠,٩٦	٠,٨٧٪	٩٥,٤٠	٩٥,٤٠	٩٤,٩٠	٩٤,٧٠	٠,١٤٪
٦	٠,٥٠٠	٩٨,٥٠	٧٠٠			٠,٣٩	٢,٢٠	٠,١٨	١,٠٤	٠,١٦٪	٩٥,٢٤	٩٥,٢٤	٩٤,٥٤	٩٤,٥٤	٠,٢٢٪
٧	٠,٦٠٠	٩٨,٠٠	٨٠٠			٠,٥٠	٢,٥١	٠,٢٠	٠,٩٧	٠,١٨٪	٩٥,٠٥	٩٥,٠٥	٩٤,٣٥	٩٤,٢٥	٠,٥٠٪
٨	٠,٧٠٠	٩٧,٥٠	٨٠٠			٠,٥٠	٢,٥١	٠,٢٠	١,١٩	٠,١٣٪	٩٤,٩٢	٩٤,٩٢	٩٤,١٢	٩٤,١٢	٠,٥٠٪
٩	٠,٨٠٠	٩٧,٠٠	٨٠٠			٠,٥٠	٢,٥١	٠,٢٠	١,٥١	٠,٢٠٪	٩٤,٧٢	٩٤,٧٢	٩٣,٩٢	٩٣,٩٢	٠,٥٠٪
١٠	٠,٩٠٠	٩٦,٧٥	١٠٠٠			٠,٧٩	٣,١٤	٠,٢٥	١,١١	٠,٣٣٪	٩٤,٣٩	٩٤,٣٩	٩٣,٥٩	٩٣,٣٩	٠,٣٣٪
١١	١,٠٠٠	٩٦,٥٠	١٠٠٠			٠,٧٩	٣,١٤	٠,٢٥	١,٢٥	٠,١٣٪	٩٣,٧٥	٩٣,٧٥	٩٢,٧٥	٩٢,٧٥	٠,٦٧٪
١٢	١,١٠٠	٩٦,٢٥	١٢٠٠			١,١٣	٣,٧٧	٠,٣٠	١,٠٨	٠,١٧٪	٩٣,٠٨	٩٣,٠٨	٩٢,٠٨	٩١,٨٨	٠,٦٧٪
١٣	١,٢٠٠	٩٦,٠٠	١٢٠٠			١,١٣	٣,٧٧	٠,٣٠	١,١٨	٠,١٠٪	٩٢,٤٩	٩٢,٤٩	٩١,٢٩	٩١,٢٩	٠,٦٠٪
١٤	١,٣٠٠	٩٥,٠٠		١٤٠٠	١٤٠٠	١,٩٦	٥,٦٠	٠,٣٥	١,٤٧	٠,١٢٪	٩١,٧٧	٩١,٩٧	٩٠,٥٧	٩٠,٥٧	٠,٧٢٪
١٥	١,٤٠٠	٩٤,٠٠		١٤٠٠	١٤٠٠	١,٩٦	٥,٦٠	٠,٣٥	١,٥٣	٠,١٥٪	٩١,٣٧	٩١,٣٧	٨٩,٩٧	٨٩,٩٧	٠,٦٠٪
١٦	١,٥٠٠	٩٣,٠٠		١٤٠٠	١٤٠٠	١,٩٦	٥,٦٠	٠,٣٥	١,٥٨	٠,١٦٪	٩١,٠٠		٨٩,٦٠		٠,٣٧٪

(تابع) جدول (٣-١٨)

الحسابات الهيدروليكية الخاصة بأبعاد وانحدارات القطاع وخط الإنحدار الهيدروليكي

(١) رقم المطبق	(٢) البعد الكيلومتري (كم)	القدرة الإستيعابية للقطاع		فواقد الطاقة (م)								(٢٧) منسوب الإنحدار الهيدروليكي (HGL)
		(١٧) V_{max} (م/ثانية)	(١٨) Q_{max} (م٣/ثانية)	(١٩) المدخل	(٢٠) المطبق	(٢١) تغيير مسار الخط	(٢٢) اتساع مفاجئ لقطر الأنبوب	(٢٣) اتساع رأسي مفاجئ للقطاع للصندوقي	(٢٤) اتساع أفقي مفاجئ للقطاع للصندوقي	(٢٥) المصب	(٢٦) فواقد الإحتكاك (م)	
١	٠,٠٠			٠,٠٢٣								٩٩,٤٧٧
٢	٠,١٠٠	١,١٧	٠,١٥		٠,٠٤٦						٠,٥٠٠	٩٨,٩٣١
٣	٠,٢٠٠	١,١٨	٠,٢٢		٠,١٢٠		٠,٠١٦				٠,٨٥٩	٩٧,٩٣٦
٤	٠,٣٠٠	١,١٨	٠,٢٢		٠,٠٧١	٠,٠٣٥					٠,٣٧٥	٩٧,٤٥٥
٥	٠,٤٠٠	١,١٣	٠,٤٣		٠,١٦٣		٠,٠٣٩				٠,٨٦٧	٩٦,٣٨٥
٦	٠,٥٠٠	١,٧٠	٠,٦٦		٠,٠٤٧						٠,١٦٠	٩٦,١٧٨
٧	٠,٦٠٠	١,٧٠	٠,٦٦		٠,٠٥٥		٠,٠٠٣				٠,١٨٥	٩٥,٩٣٦
٨	٠,٧٠٠	١,٨٦	٠,٩٤		٠,٠٤٨	٠,٠٢٤					٠,١٣٥	٩٥,٧٣٠
٩	٠,٨٠٠	١,٥١	٠,٧٦		٠,٠٧٢						٠,٢٠٣	٩٥,٤٥٥
١٠	٠,٩٠٠	٢,١٥	١,٠٨		٠,١١٦		٠,٠١٥				٠,٣٣٠	٩٤,٩٩٣
١١	١,٠٠٠	٢,٥٠	١,٩٦		٠,٠٦٣						٠,٦٣٢	٩٤,٢٩٨
١٢	١,١٠٠	٢,٣٦	١,٨٥		٠,٠٨٠		٠,٠٠٧				٠,٦٦٩	٩٣,٥٤١
١٣	١,٢٠٠	٢,٩٢	٣,٣٠		٠,٠٥٩						٠,٥٩٧	٩٢,٨٨٥
١٤	١,٣٠٠	١,٥٣	١,٧٢					٠,٠٣٦	٠,٠٣٦		٠,٧١٨	٩٢,٠٩٦
١٥	١,٤٠٠	٢,٨٩	٥,٦٦								٠,٥٩٨	٩١,٤٩٨
١٦	١,٥٠٠	١,٥٣	٢,٩٩							٠,١١٩	٠,٣٧٢	٩١,٠٠٧

٥ - تم ترسيم قاع الأنبوب بطرح قطر الأنبوب (أو ارتفاع القطاع الصندوقي) من منسوب الراسم العلوي للقناة، وبالتطبيق عند المطبق الأول والثاني نجد أن منسوب القاع :

- عند المطبق الأول = (٩٨,٠٠) – ٠,٤٠ = (٩٧,٦٠).
- وعند المطبق الثاني = (٩٧,٥٠) – ٠,٤٠ = (٩٧,١٠).

٦ - بعد تحديد مناسيب القاع عند المطابق المختلفة تم حساب الإنحدار الفعلي لقاع القناة (S_b) بين المطابق ، وكمثال يمكن حساب الإنحدار الفعلي لقاع القناة ($S_{b_{1\to2}}$) بين المطبقين الأول والثاني على النحو التالي:

$$S_{b_{1\to2}} = \frac{Column.(15)_1 - Column.(15)_2}{1000 \times \{Column.(2)_2 - Column.(2)_1\}}$$

$$S_{b_{1\to2}} = \frac{(97.60)-(97.10)}{100} = 0.005 \equiv 0.50\%$$

٧ - نظراً لاحتمال زيادة انحدار قاع القناة عن انحدار خط الطاقة - لضرورات المحافظة على أقل عمق للردم فوق سقف القناة أو تفادياً لمسارات خطوط الخدمات الأخرى - تم تقدير القدرة الاستيعابية القصوى للقطاع في عنصرين هما : (١ -أقصى سرعة متوسطة للمياه يمكن أن تمر بالقناة عند هذا القطاع ، ٢ -وأقصى تدفق للمياه يمكن أن يستوعبه القطاع) وذلك كله باعتبار انحدار قاع القناة الفعلي على النحو التالي :

- بخصوص حساب أقصى سرعة متوسطة يمكن أن تمر من القطاع تم استخدام معادلة مانج رقم (٣ -٩) هكذا :

$$V_{\max} = \frac{1}{0.013} \times Column.(9)^{2/3} \times Column.(16)^{1/2}$$

$$V_{\max} = \frac{1}{0.013} \times 0.10^{2/3} \times 0.0005^{1/2} = 1.17 m/\sec$$

- بخصوص حساب التدفق الأقصى يمكن أن يستوعبه القطاع تم استخدام معادلة الإستمرارية رقم (٣ -٣) هكذا :

$$Q_{\max} = Column.(17) \times Column.(7) = 1.17 \times 0.13 = 0.15 m^3/\sec$$

٨ - تم حساب فواقد الطاقة الثانوية على النحو التالي :

- عند مدخل القناة باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٢) هكذا :

$$h_{L_{in}} = k_{in} \times \frac{V^2}{2g} = 0.50 \times \frac{Column.(10)^2}{2 \times 9.81} = 0.50 \times \frac{0.95^2}{2 \times 9.81} = 0.023m$$

- عند المطابق باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٤) ، وكمثال تم حساب فواقد الطاقة عند المطبق الثاني هكذا :

$$h_{L_m} = k_m \times \frac{V^2}{2g} = 1.0 \times \frac{Column.(10)^2}{2 \times 9.81} = 1.0 \times \frac{0.95^2}{2 \times 9.81} = 0.046m$$

- عند تغيير مسار القناة باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٣) ، وكمثال تم حساب فواقد الطاقة عند تغيير مسار القناة بزاوية ٩٠o عند المطبق الرابع هكذا :

$$h_{L_b} = k_b \times \frac{V^2}{2g} = 0.50 \times \frac{Column.(10)^2}{2 \times 9.81} = .50 \times \frac{0.95^2}{2 \times 9.81} = 0.023m$$

- عند الإتساع المفاجئ لقطر الأنبوب باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٣) وكمثال تم حساب فواقد الطاقة عند اتساع قطر الأنبوب من ٤٠٠ مم إلى ٥٠٠ مم عند المطبق رقم (٣) هكذا :

$$h_{L_{en}} = \frac{V_2^2}{2g}\left(1 - \frac{A_2}{A_3}\right)^2 = \frac{Column.(10)^2}{2 \times 9.81}\left(1 - \frac{Column.(7)_2}{Column.(7)_3}\right)^2$$

$$h_{L_{en}} = \frac{1.54^2}{2 \times 9.81}\left(1 - \frac{0.13}{0.20}\right)^2 = 0.016m$$

- عند الإتساع الرأسي المفاجئ للقطاع الصندوقي باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٥) ، وكمثال تم حساب فواقد الطاقة عند المطبق رقم (١٤) هكذا :

$$h_{L_{h-ex}} = k_{h-ex} \frac{V_{13}^2}{2g} = 0.50 \times \frac{Column.(10)_{13}^2}{2 \times 9.81} = 0.50 \times \frac{1.18^2}{2 \times 9.81} = 0.055m$$

- عند الإتساع الأفقي المفاجئ للقطاع الصندوقي باستخدام المعادلة رقم (٣ -٢٦) ، وكمثال تم حساب فواقد الطاقة عند المطبق رقم (١٤) هكذا :

$$h_{L_{v-ex}} = k_{v-ex} \frac{V_{13}^2}{2g} = 0.50 \times \frac{Column.(10)_{13}^2}{2 \times 9.81} = 0.50 \times \frac{1.18^2}{2 \times 9.81} = 0.055m$$

- عند المصب باستخدام المعادلة رقم (١٦) هكذا :

$$h_{L_{out}} = k_{out} \frac{V_{15}^2}{2g} = 1.0 \times \frac{Column.(10)_{15}^2}{2 \times 9.81} = 1.0 \times \frac{1.53^2}{2 \times 9.81} = 0.119m$$

٩ - تم حساب فواقد الطاقة نتيجة الإحتكاك باستخدام المعادلة رقم (٣ -١٩) ، وكمثال عند المطبق رقم (٤) هكذا :

$$h_f = S_f \times L_{3\to4} = Column.(11) \times [Column.(2)_4 - Column.(2)_3] \times 1000$$

$$h_f = (0.0086 \times [0.400 - 0.300] \times 1000 = 0.86 \cong 0.859m$$

١٠ - تم حساب منسوب خط الإنحدار الهيدروليكي **(HGL)** باستخدام المعادلة رقم (٣ -٣٤) ، وكمثال عند المطبق رقم (٢) هكذا :

$$HGL_2 = L.L_1 - 0.50 - h_{L_2^T}$$

$$HGL_2 = Column.(3) - 0.50 - [Column.(19)_1 + Column.(26)_2 + Column.(20)_2]$$

$$HGL_2 = (100.00) - 0.50 - (0.023 + 0.50 + 0.046) = (98.931)$$

حيث إن :

- HGL_2 = منسوب خط الإنحدار الهيدروليكي عند المطبق رقم (٢) .
- h_{L2}^T = مجموع الفواقد الثانوية وفواقد الإحتكاك من بداية القناة وحتى المطبق رقم (٢) .

١١ - وبالنظر إلى منسوب خط الانحدار الهيدروليكي **(HGL)** عند المصب نجد أنه يساوي (٩١,٠٠٧) وهو أعلى بقليل من المناسيب التالية :

- أعلى منسوب للمياه بالوادي وهو (٩١,٠٠) .
- منسوب محور القناة عند المصب = منسوب القاع + نصف الإرتفاع = (٨٩,٦٠ + ٢/١,٤٠ = (٩٠,٣٠) .
- منسوب المياه الحرج بالقناة **Critical Water Level** عند المصب ، ويتم حسابه باستخدام المعادلة رقم (٣ -١٠) للقطاع الصندوقي هكذا :

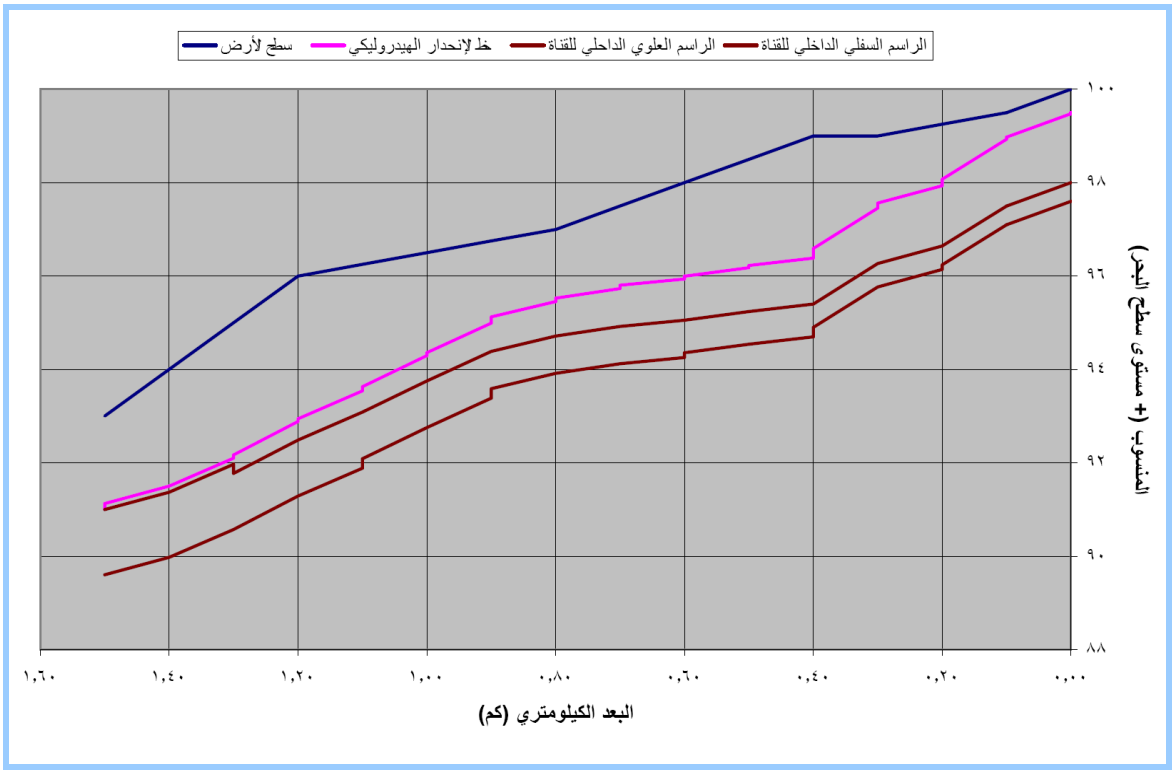
$$WL_c^{Outlet} = I.L_{Outlet} + Y_c = (89.60) + \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = (89.60) + \sqrt[3]{\frac{(2.99/1.40)^2}{9.81}}$$

$$WL_c^{Outlet} = (89.60) + 0.77 = (90.37)$$

حيث إن :

- WL_c^{Outlet} = منسوب المياه الحرج بالقناة عند المصب .

وبناء على ما سبق يمكن قبول التصميم الهيدروليكي للقناة من الناحية الفنية، والشكل رقم (٣ -٢٠) يبين القطاع الطولي لقناة تصريف السيول المقترحة.



شكل (٣-٢٠) القطاع الطولي المقترح لقناة تصريف السيول للمثال (٣-٤)

ـ الباب الرابع ـ

تصميم شبكات تصريف السيول الثانوية

٤ـ١ تمهيد :

يعتمد تصميم شبكة ذات كفاءة عالية لتصريف مياه السيول في المقام الأول على قدرة هذه الشبكة على إستيعاب كميات المياه الناتجة من الأمطار ، دون أن تُحدث عملية إغراق للطرق والميادين بمياه السيول مما يؤدي إلي توقف حركة المرور وتعرض الأشخاص للأخطار الناتجة من اندفاع مياه السيول عبر تلك الشوارع والطرق ويؤخر وصول الإمدادات اللازمة لعمليات الإنقاذ للأماكن المتضررة . وتعتبر عملية تجميع مياه السيول بواسطة شبكات تصريف السيول الثانوية **(Minor Storm Drainage System)** ، وتوصيلها في أقل زمن ممكن لشبكات تصريف المياه الرئيسية ، له أثر كبير في الحفاظ علي الشوارع والطرق من الأضرار التي تلحق بها من الغمر بمياه السيول والأمطار.

ولذلك يجب الإلمام بالقواعد والأسس اللازمة لحساب قدرة الشوارع علي إستيعاب كميات الأمطار المتساقطة عليها ، وتصميم الشوارع بالأسلوب الأمثل الذي يوجه مياه الأمطار لمصائد الأمطار وتصميم مداخل تلك المصائد والأنابيب الفرعية الموصلة إلى غرف التفتيش بالشبكة الرئيسية.

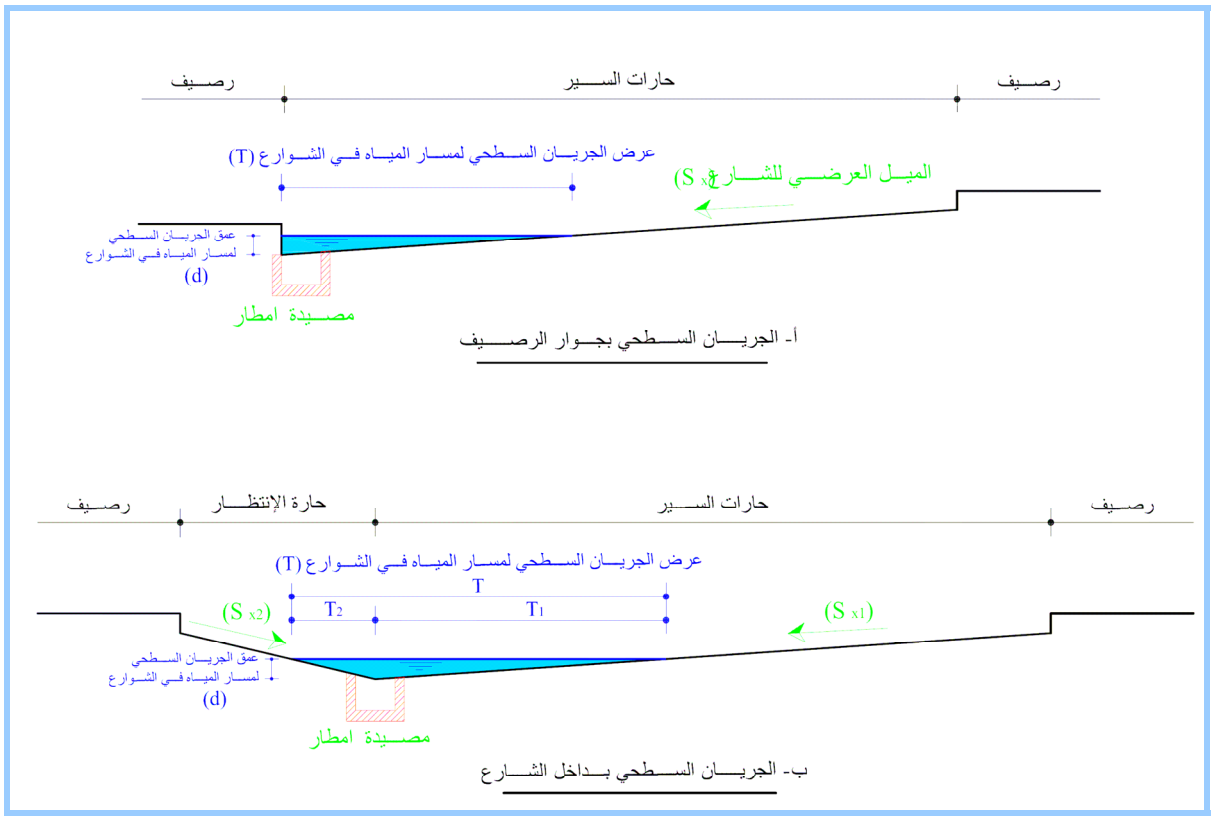
٤ـ٢ الشوارع والطرق :

٤ـ٢ـ١ خصائص الشوارع والطرق :

يجب التعامل مع شبكة الشوارع بالمدن المعرضة لتساقط الأمطار كجزء لا يتجزأ من مكونات شبكة تصريف السيول بالمدينة حيث إنها تعمل كقنوات مائية لتوصيل مياه الأمطار والسيول لمصائد الأمطار. ويتغير شكل الجريان طبقاً للقطاع العرضي للشارع كما هو موضح بالشكل رقم (٤ -١) ، ومن أكثر الأنواع شيوعاً الآتي :

أ - الجريان السطحي بجوار الرصيف.

ب - الجريان السطحي بداخل الشارع.



شكل (٤-١) أشكال الجريان السطحي

وللتعامل مع شبكة الطرق علي هذا أساس أنها قنوات ، يجب توفير بعض الإشتراطات اللازمة :

١ - الميول في الاتجاه العرضي للشوارع تتراوح من ٢٪ إلى ٤٪ لحارات السير ومن ٢٪ إلى ٦ ٪ لحارة الإنتظار الجانبية .

٢ - عند تقاطع الطرق يجب مراعاة اختلاف الميول بين الطرق وتأثير ذلك علي شبكة تصريف مياه السيول .

٤-٢-٢ القدرة الإستيعابية للشوارع

وتعتمد القدرة الاستيعابية للشوارع على شكلها الهندسي وخصائص الجريان السطحي في المزاريب **Gutter** (مسارات في الاتجاه الطولي للشوارع تجري بداخلها المياه وتشبه القنوات المفتوحة) ، ويتم حسابها بتطبيق معادلة ماننج كالتالي :

$$Q = \frac{0.376}{n} S_x^{1.67} S_L^{0.5} T^{2.67} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}1)$$

ويمكن إعادة صياغة المعادلة (٤ -١) لتحديد عرض الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(Spread, T)** والذي يجب أن يقل عن **ثلاثة أمتار**(عرض حارة من مسار الطريق) وذلك لعدم إعاقة مرور السيارات بشكل تام خلال فترة تساقط الأمطار.

$$T = \left(\frac{Q\, n}{0.376\ S_x^{1.67}\ S_L^{0.5}} \right)^{0.375} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}2)$$

حيث إن :

- **Q** = الجريان السطحي (متر^3/ثانية).
- **T** = عرض الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع (متر).
- **n** = معامل مانتج، ويتم تحديده من جدول (١ -١).
- **S_x** = الميل العرضي للشارع (متر/متر).
- **S_L** = الميل الطولي للشارع (متر/متر).

جدول (٤-١) قيم معامل مانتج طبقاً لنوع رصف الشارع

نوع رصف الشارع	معامل مانتج (n)
أسفلت ناعم	٠,٠١٣
أسفلت خشن	٠,٠١٦
خرسانة ناعمة	٠,٠١٤
خرسانة خشنة	٠,٠١٦

وبالتالي يتم تحديد خصائص الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع (عمق وسرعة) .

- تحديد عمق الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(d)** (متر).

$$d = T\ S_x \quad \text{.....} \quad (4\text{-}3)$$

- تحديد سرعة الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(V)** (متر/ثانية).

$$V = \frac{0.752}{n}\ S_x^{0.67}\ S_L^{0.5}\ T^{0.67} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}4)$$

مثال (٤-١) :

شارع مرصوف بأسفلت خشن ، عرض حارات السير به ١٢ متر دون حارة إنتظار وميله العرضي ٢٪ وميله الطولي ٣٪ ، يمر بهذا الشارع جريان سطحي ٠,١ م٣/ثانية. إحسب عرض وعمق وسرعة الجريان السطحي بالشارع .

الحل :

$$Q = 0.1\ m^3/s$$

$$S_x = 2\ \% = 0.02$$

$$S_L = 3\ \% = 0.03$$

باستخدام الجدول (٤ -١) نجد أن معامل مانتج للشارع المرصوف بأسفلت خشن هو $n = 0.016$

وبتطبيق المعادلة (٤ -٢) يتم تحديد عرض الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(T)**.

$$T = \left(\frac{Q\ n}{0.376\ S_x^{1.67}\ S_L^{0.5}} \right)^{0.375} = \left(\frac{0.1 \times 0.016}{0.376 \times 0.02^{1.67} \times 0.03^{0.5}} \right)^{0.375} = 2.87\ m$$

وبتطبيق المعادلة (٤ -٣) يتم تحديد عمق الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(d)**.

$$d = T\ S_x = 2.87 \times 0.02 = 0.058\ m \cong 6\ cm$$

وبتطبيق المعادلة (٤ -٤) يتم تحديد سرعة الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع **(V)**.

$$V = \frac{0.752}{n}\ S_x^{0.67}\ S_L^{0.5}\ T^{0.67} = \frac{0.752}{0.016} \times 0.02^{0.67} \times 0.03^{0.5} \times 2.87^{0.67} = 1.2\ m/s$$

٤-٣ مصائد الأمطار : (Catch Basins)

تستخدم مصائد الأمطار لتجميع مياه الجريان السطحي من الشوارع والطرق الناتجة من العاصفة الممطرة وتوصيلها لشبكة تصريف السيول الأرضية. وتعتمد القدرة الإستعابية لمصائد الأمطار على شكلها الهندسي وخصائص الجريان السطحي في المزاريب **Gutter** (مسارات في الإتجاه الطولي للشوارع تجري بداخلها المياه وتشبه القنوات المفتوحة). قلة مصائد الأمطار أو عدم التوزيع الجيد لها أو صغر قدرتها الإستعابية تؤدي إلى حدوث فيضانات على الطرق مما ينتج عنه خطر على مستخدمي هذه الطرق.

٤-٣-١ أنواع مصائد الأمطار

١- فتحات شبكية : (Grate inlets)

وتتكون من فتحة مغطاة بشبكة حديدية.

وتتميز بإمكانية تركيبها في أماكن الجريان السطحي على طول الطريق ولكن العيب الرئيسي لها هو إنسدادها بسبب القمامة أو الحطام العائم. وهو أكثر الأنواع إستخداماً.

٢- فتحات في حافة الرصيف (Curb opening inlets)

عبارة عن فتحات رأسية في حافة الرصيف، وهي أكثر الأنواع كفاءة في حالة الطرق ذات الميل الطولي الصغير ولذا تقل قدرتها الإستعابية مع زيادة ميل للطرق.

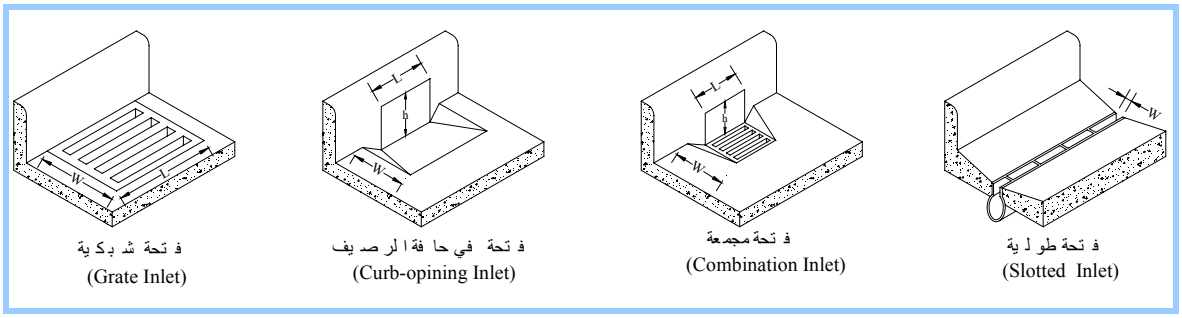
٣- فتحات مجمعة (Combination inlets)

وتتكون من فتحات شبكية بجانب فتحات في حافة الرصيف. ولذا فهي تجمع مزايا النوعين معاً.

٤- فتحات طولية (Slotted inlets)

وتتكون من أنبوبة مشقوقة في الإتجاه الطولي. وتستخدم في حالة وجود مياه سطحية بعرض كبير.

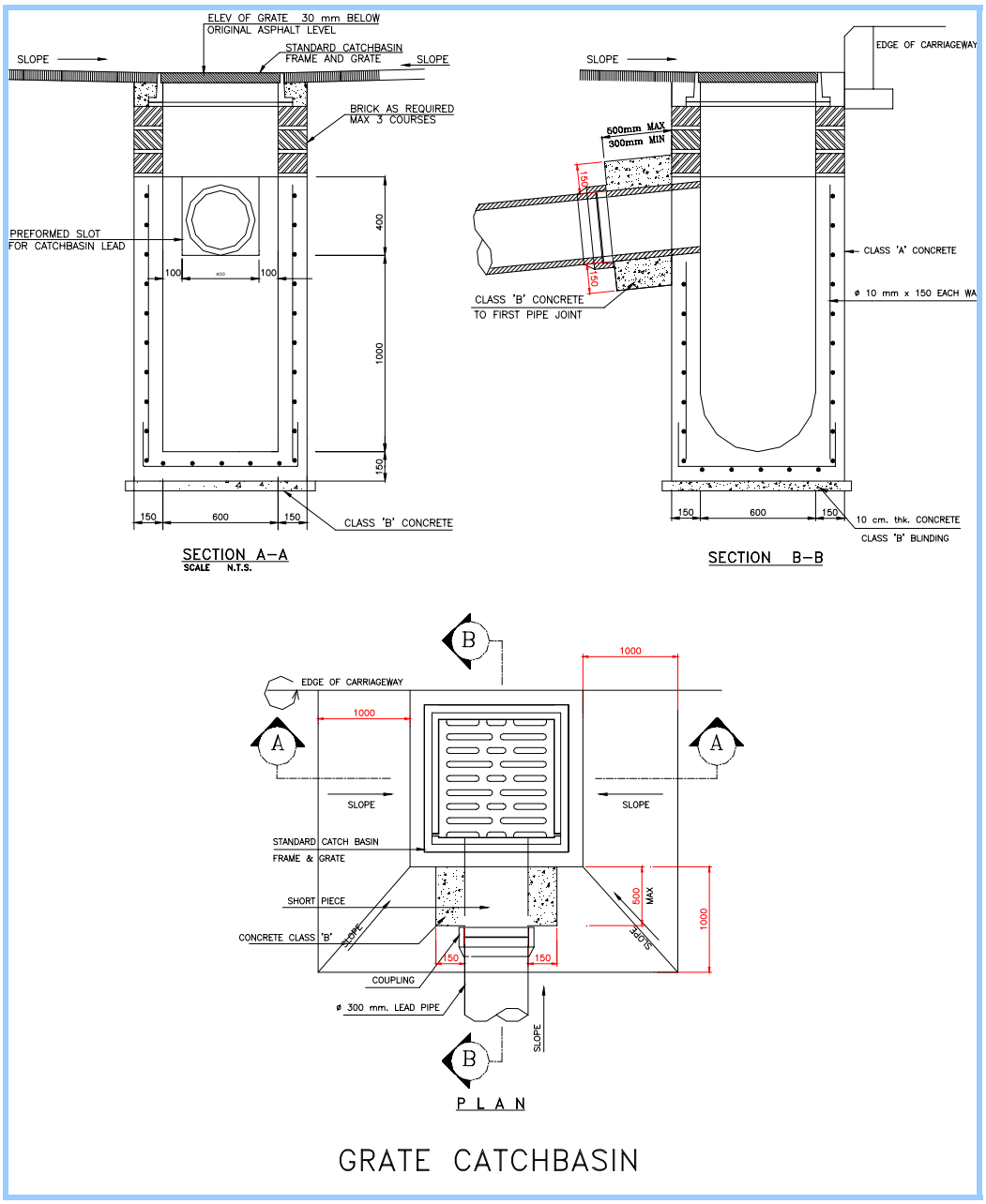
ويوضح شكل (٤ -٢) أنواع مصائد الأمطار . وسيتم تناول مصيدة الأمطار الشبكية بالتفصيل نظراً لكثرة إستخدامها في مدينة الرياض.



شكل (٤-٢) أنواع مصائد الأمطار

٤-٣-٢ مواصفات مصائد الأمطار الشبكية :

تصنع مصائد الأمطار من خرسانة سابقة الصب حسب المخططات المعتمدة وتركب مصائد الأمطار في الأماكن المحددة لها ويكون الإطار والقضبان المشبكة من الحديد الزهر الرمادي المصمم للأعمال الشاقة (اختبار الحمولة ٢٥ طنا). تكون القضبان المشبكة بفتحات بعرض ٣ سم وبمساحة ١٢٥٠ سم٢ ويكون للإطار فتحة واحدة واضحة وعريضه بمساحة (٦٠ × ٦٠ سم٢). الوزن الإجمالي للإطار والقضبان المشبكه يجب أن لا يقل عن (٢٠٠) كيلوجرام. وشكل (٤ -٣) يوضح تفاصيل مصيدة الأمطار الشبكية.



شكل (٤-٣) تفاصيل مصيدة الأمطار الشبكية

٤-٣-٣ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار الشبكية :

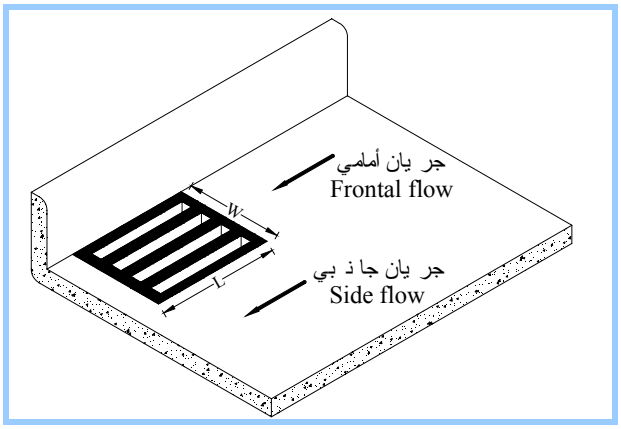
تعتمد طريقة حساب القدرة الإستيعابية على طبوغرافية سطح الشارع وتنقسم إلى حالتين كالآتى :

٤-٣-٣-١ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار في الشوارع المنحدرة :

الخطوات :

١ - تحديد خصائص الجريان السطحي لمسار المياه في الشوارع (متر) (عرض، عمق وسرعة) باستخدام المعادلات (٤ -٢) ، (٤ -٣) ، (٤ -٤) .

٢ - تقسيم الجريان السطحي في الشارع **(Q)** إلى جريان سطحي جانبي **(Side flow, Qs)** وجريان سطحي أمامي **(Frontal flow, Qf)** كما هو موضح بشكل (٤ -٤).



شكل (٤-٤) تقسيم الجريان السطحي في الشارع

$$Q_f = Q\left[1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2.67}\right] \quad \text{.....} \quad (4\text{-}5)$$

$$Q_s = Q - Q_f \quad \text{.....} \quad (4\text{-}6)$$

٣ - حساب القدرة الإستيعابية الكلية لمصيدة الأمطار**(Total flow intercepted, Qi)** وهي تتكون من جزأين، الأول ناتج من الجريان السطحي الأمامي **(Qif)**والثاني ناتج من الجريان السطحي الجانبي **(Qis)**.

$$Q_i = Q_{is} + Q_{if} \quad \text{.....} \quad (4\text{-}7)$$

القدرة الإستيعابية الأمامية لمصيدة الأمطار (Q_{if})

وتقدر بنسبة من الجريان السطحي الأمامي وهي **R_f**.

$$R_f = [1 - 0.295(V - V_0)] \leq 1 \quad \text{(4-8)}$$

حيث إن :

- **V** : سرعة الجريان السطحي، (متر/ثانية) وتحسب من المعادلة (١ -١).
- **V0** : سرعة الجريان السطحي عند مدخل مصيدة الأمطار (متر/ثانية). فتحات مصيدة الأمطار ذات عرض ٣ سم. وتحسب السرعة من المعادلة الآتية :

$$V_0 = 0.537 + 3.117L - 1.478L^2 + 0.358L^3 \quad \text{(4-9)}$$

ويتم الحصول علي القدرة الإستيعابية الأمامية لمصيدة الأمطار **(Q_{if})** بتطبيق المعادلة الآتية :

$$Q_{if} = R_f \; Q_f \quad \text{(4-10)}$$

القدرة الإستيعابية الجانبية لمصيدة الأمطار (Q_{is})

وتقدر بنسبة من الجريان السطحي الأمامي وهي **R_s**.

$$R_s = 1 \Big/ \left(1 + \frac{0.0828\, V^{1.8}}{S_x \; L^{2.3}}\right) \quad \text{(4-11)}$$

ويتم الحصول علي القدرة الإستيعابية الجانبية لمصيدة الأمطار **(Q_{is})** بتطبيق المعادلة الآتية :

$$Q_{is} = R_s \; Q_s \quad \text{(4-12)}$$

٤ - حساب الجريان السطحي المتبقي (لم يدخل في مصيدة الأمطار) **(Bypass flow, Qb)**.

$$Q_b = Q - Q_i \quad \text{(4-13)}$$

وفي حالة أن القدرة الإستيعابية الكلية لمصيدة الأمطار أقل من الجريان السطحي يتم زيادة أبعاد مصيدة الأمطار أو تقليل المسافة بين مصايد الأمطار.

٤-٣-٣-٢ القدرة الإستيعابية لمصائد الأمطار في الشوارع المنخفضة :

يتم حساب القدرة الإستيعابية لمداخل مصائد الأمطار بالطريقتين الآتيتين وتؤخذ القيمة الأصغر.

الطريقة الأولى : يتم إعتبار مصيدة الأمطار أنها هدار (Weir)

$$Q_w = C_w \; P \; d^{1.5} \qquad \text{(4-14)}$$

حيث إن :

- **Qw** = القدرة الإستيعابية لمصيدة الأمطار (متر٣/ثانية) .
- **Cw** = معامل المصيدة $(C_w = 1.66)$.
- **P** = المحيط الخارجي لفتحة مصيدة الأمطار (متر) ويتم أخذ نصف القيمة فقط كمعامل أمان.

  في حالة وجود رصيف $(P = 0.5\,(2\,W + L))$.

  في حالة عدم وجود رصيف $(P = 0.5\,(2\,W + 2\,L))$.
- **d** = عمق المياه السطحية عند الرصيف (متر).

الطريقة الثانية : يتم إعتبار مصيدة الأمطار أنها فتحة (Orifice)

$$Q_o = C_o \; A_g \sqrt{2\,g\,d} \qquad \text{(4-15)}$$

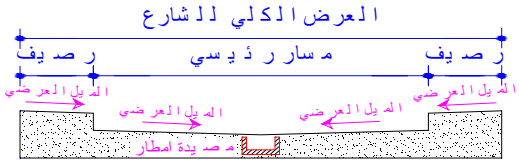
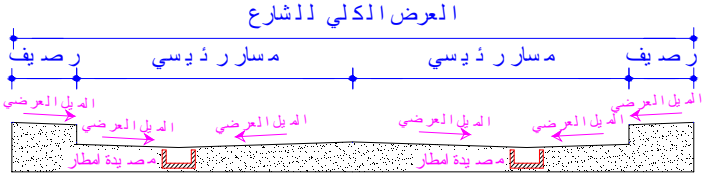
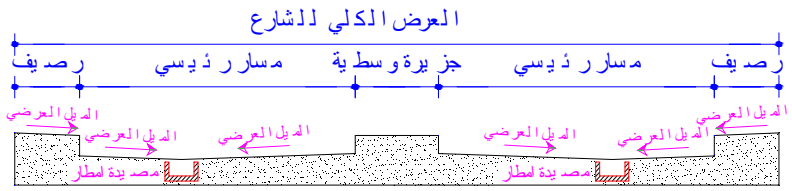
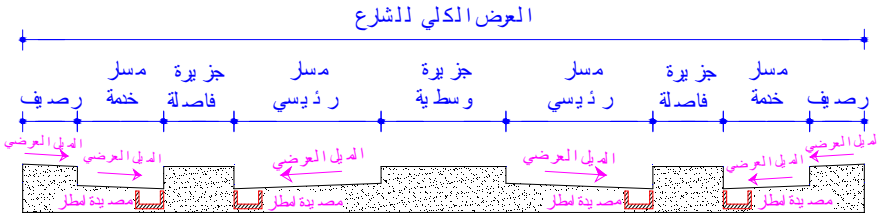
حيث إن :

- **Qo** : القدرة الإستيعابية لمصيدة الأمطار (متر٣/ثانية).
- **Co** : معامل المصيدة $(C_o = 0.67)$.
- **A** : المساحة الصافية لفتحة مصيدة الأمطار (متر٢) ويتم أخذ نصف القيمة فقط كمعامل أمان.
- **g** : عجلة الجاذبية الأرضية (٩,٨١ متر/ثانية٢) $(g = 9.81\ m/s^2.)$.

٤-٣-٤ أسس وقواعد توزيع أماكن مصائد الأمطار الشبكية :

يعتمد عدد مصائد الأمطار علي الطاقة الاستيعابية الكلية لكل واحدة وكمية الجريان السطحي المراد تجميعها وتوجيهها لشبكة التصريف. يجب تركيب مصائد الأمطار في الأماكن المنخفضة من الشوارع والطرق التي تتجمع بها أكبر كمية من مياه الأمطار. في حالة تقسيم الطريق إلى مسارات بواسطة الجزر الوسطية والجزر الفاصلة، يتم تركيب مصائد الأمطار في جميع المسارات. وتؤخذ أقصى مسافة بين مصائد الأمطار في الإتجاه الطولي للشارع من جدول (٤ -٢) طبقاً لعرض وشكل القطاع العرضي للشارع.

جدول (٤-٢) أقصى مسافة بين مصائد الأمطار في الإتجاه الطولي للشارع

القطاع العرضي للشارع	عرض الشارع	أقصى مسافة بين مصائد الأمطار في الإتجاه الطولي للشارع (متر)
	١٥	٥٠
	٢٠	٤٠
	٢٥ ـ ٢٨ ـ ٣٠	٥٠
	٣٠	٥٠
	٣٦ ـ ٤٠ ـ ٤٢	٤٠
	٤٨ ـ ٥٢ ـ ٦٠	٣٠
	٦٠	٥٠
	٨٠	٤٥
	١٠٠	٤٠

٤-٤ الأنابيب الفرعية :

إن الأنابيب المستخدمة لتجميع مياه السيول والأمطار من مصائد الأمطار الأولية وربط تلك المصائد بعضها ببعض وتوصيل مياه السيول منها لشبكات التصريف الأساسية هي العامل الأساسي الذي يتوقف عليه مدي كفاءة تلك الشبكة في التخلص من مياه السيول والأمطار، وعليه يجب مراعاة العديد من الحدود والإشتراطات لتصميم وتنفيذ تلك الأنابيب والتي يمكن سردها كما يلي :

١ - أنواع الأنابيب المستخدمة وأقطارها :

كما ذكر بالباب السابق هناك أنواع كثيرة من الأنابيب التي يمكن إستخدامها في تنفيذ شبكات تصريف مياه السيول والأمطار، ولكن بالمقام الأول تستخدم الأنابيب المصنوعة من الخرسانة لهذا الغرض بأقطارها المختلفة بحيث لا يقل قطر الأنبوب عن ٣٠٠ مم.

٢- حدود السرعات الآمنة بالأنابيب :

إن سرعة السريان بشبكة تصريف مياه السيول والأمطار تعتبر من العوامل المؤثرة بصورة كبيرة في كفاءة تلك الشبكة ، وتختلف قيم هذه السرعات حسب نوع الأنبوبة (رئيسية أو فرعية) وكذلك التصرف المطلوب إستيعابه بها، وتتراوح حدود هذه السرعات بين (٠,٧٠ كحد أدني للسرعة إلي ٣,٠٠ م/ثانية كحد أقصي للسرعة داخل الشبكة).

٣- الميول الطولية لخطوط الأنابيب :

إن الميول الطولية علي إمتداد خطوط شبكات تصريف السيول يجب أن تحقق الحد الأدنى من سرعة السريان المسموح بها داخل تلك الخطوط في حالة الامتلاء الكامل لتلك الأنابيب وألا تسبب تلك الميول زيادة قيمة السرعة داخل خطوط الأنابيب عن القيم المسموح بها،وتختلف قيم هذه الميول حسب قطر الأنبوبة المستخدم ويوضح جدول (٣ -١٠) القيم الاسترشادية للميول الطولية بخطوط الأنابيب والتي يمكن أخذها في الاعتبار عند تصميم تلك الخطوط .

- المــراجـــع -
REFERENCES

- أمانة منطقة الرياض – ربيع الأول ١٤٢٧هـ – المخطط الاستراتيجي الإرشادي لتصريف مياه الأمطار والسيول في مدينة الرياض الكبرى حتى عام ١٤٤٢هـ.
- الهيئة العليا لتطوير مدينة الرياض – واقع ومستقبل الإسكان في مدينة الرياض (١٤٣٠هـ – ٢٠٠٩م).
- الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة "قياسات الأمطار لمدينة الرياض" من عام ١٩٦٣م لعام ٢٠١٠م.
- وزارة المياه والكهرباء "قياسات الأمطار لمدينة الرياض" من عام ١٩٦٣م لعام ٢٠١٠م.
- مركز الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء – التقرير الفني الأول (التقليل من مخاطر السيول على مدينة الرياض) ١٤٢٩هـ.
- مركز الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء – التقرير الفني الثاني (التقليل من مخاطر السيول على مدينة الرياض) ١٤٣٠هـ.
- AASHTO, *Model Drainage Manual,* 1991 and 1997.
- A.L. Hankins, Jr., P.E. North Carolina Division of Highways. *Guidelines for Drainage Studies and Hydraulic Design*.1999.
- BAHMETEFF, B. A., *Hydraulics of Open Channel.* New York: McGraw-Hill, Inc., 1932.
- Chow, V.T., *Open-Channel Hydraulics.* New York: McGraw-Hill Co., 1959.
- Chow, V.T., Maidment, D.R. and Mays, L.W. *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Co., 1988.
- Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No. 19, *Hydrology*, 1994.
- Federal Highway Administration, Hydraulic Design Series No. 1, *Hydraulics of Bridge Waterways*, 1978.
- Federal Highway Administration, Hydraulic Design Series No. 5, *Hydraulic Design of Highway Culverts*, 1985.
- Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No. 22, *Urban Drainage Design Manual*, 1996.
- FRENCH, R. H., *Open-Channel Hydraulics.* New York: McGraw-Hill Co., 1985.
- MANNING, R., *"On The Flow Of Water In Open Channels And Pipes,"* Paper Read At Meeting Of Institution Of Civil Engineers Of Ireland, Transactions, Institution Of Civil Engineers Of Ireland, Vol.20, Dublin, 1889, Pp.161-207.
- Los Angeles County. Department of Public Works. *Hydrology Manual*. January 2006.
- San Diego County. Department of Public Works. *Hydrology Manual*. June 2006.
- State of Florida. Department of Transportation. *Drainage Manual.* January 2009.
- Texas Department of Transportation. *Hydraulic Design Manual.* March 2004.
- US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. *Hydrologic Modeling System,* HEC-HMS, Technical Reference, 2000.

رقم الإيداع : ١٤٣٣/١٢٦
ردمك : ٨ ـ٢٥ـ٨٠١٧ ـ٦٠٣ـ ٩٧٨ (مجموعة)
٥ ـ٢٦ـ٨٠١٧ ـ٦٠٣ـ ٩٧٨ (ج١)

أمانة منطقة الرياض
www.alriyadh.gov.sa