مجلة جامعة الملك عبد العزيز : العلوم الهندسية ، م٧ ، ص ص ٥١ - ٧٨ (١٤١٥هـ / ١٩٩٥م)

استخدام نظام الصرف الأفقي المغطى كحل مؤقت للتحكم في ارتفاع منسوب المياه الأرضية بمدينة جدة

عمر سراج أبو رزيزة

قسم الهندسة المدنية ، كلية الهندسة ، جامعة الملك عبد العزيز

جدة - المملكة العربية السعودية

المستخلص . تعتمد معظم أحياء مدينة جدة على حفر الامتصاص (البيارات الشعبية) للتخلص من المخلفات السائلة ، وذلك لعدم اكتمال شبكات الصرف الصحي . وقد ساهم ذلك في ارتفاع منسوب المياه الجوفية ، الذي أدى بدوره إلى أضرار بيئية ومشاكل اقتصادية ، كطفح مياه البيارات ، وانتشار البعوض ، وتضرر الطرق والمرافق والمنشآت العامة والخاصة . لذلك كان لابد من دراسة هذه المشكلة دراسة تفصيلية لتشخيصها ومحاولة إيجاد الحلول الملائمة لها . وقد قامت كلية الهندسة بجامعة الملك عبد العزيز بالتعاون مع مصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية بهذه الدراسة لتحديد الأسباب الرئيسة التي أدت إلى ارتفاع منسوب المياه الأرضية في المناطق المتضررة بمدينة جدة ، وإيجاد الحلول العلمية الملائمة لتفادي هذه المشكلة والتقليل من الأضرار الناجمة عنها ما أمكن . وقد أوصت الدراسة ببناء نظام صرف مغطى كحل مؤقت ، حتى يتم بناء شبكة صرف صحي متكاملة . كما شملت الدراسة توضيح الأسس والمعايير الرئيسة التي استخدمت لتصميم شبكة الصرف الأفقي المغطى . وقد طورت هذه الدراسة برنامج حاسب آلي لتصميم الشبكة وأوجدت علاقة خطية لحساب التكلفة التقريبية لبناء شبكة الصرف المغطى .

١. مقدمة

شهدت مدينة جدة خلال العقدين الماضيين توسعًا عمرانيًا كبيرًا ونموًا سكانيًا ملحوظًا أدى إلى ازدياد مضطرد في استعمالات المياه المختلفة (منزلية وتجارية وصناعية) مما تسبب في زيادة كميات مياه الصرف

الصحي المنـزلي والصنـاعي في الـوقت الذي تم فيه الاعتماد على البيارات الشعبية للتخلص من تلك المخلفات نظرًا لعدم توافر شبكات الصرف الصحي المتكاملة ، مما أدى إلى ارتفاع منسوب المياه الأرضية في عدة أحياء من مدينـة جدة . وقـد تسبب هذا الارتفاع في العديد من المشاكل الاقتصادية والمخاطر الصحية والبيئية كطفح مياه البيارات الشعبية وانبعاث الروائح الكريهة وانتشار البعوض والذباب وتلوث البيئة وتشويه الطرق وإلحاق الضرر بالمنشآت . لذلك كان لابد من دراسة هذه المشكلة دراسة تفصيلية لتشخيصها ومحاولة إيجاد الحلول الملائمة لها ، وقد قامت كلية الهندسة بجامعة الملك عبد العزيز بالتعاون مع مصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية بهذه الدراسة ، وأوصت ببناء نظام صرف مغطى كحل مؤقت حتى يتم بناء شبكة صرف صحي متكاملة . ونظرًا لأن الدراسة مستفيضة فإن هذه الورقة ستقتصر على أهداف محددة (انظر الأهداف) وللقاريء الراغب في مزيد من المعلومات مراجعة التقارير النهائية للدراسة[١].

٢ . الأهـــــــداف

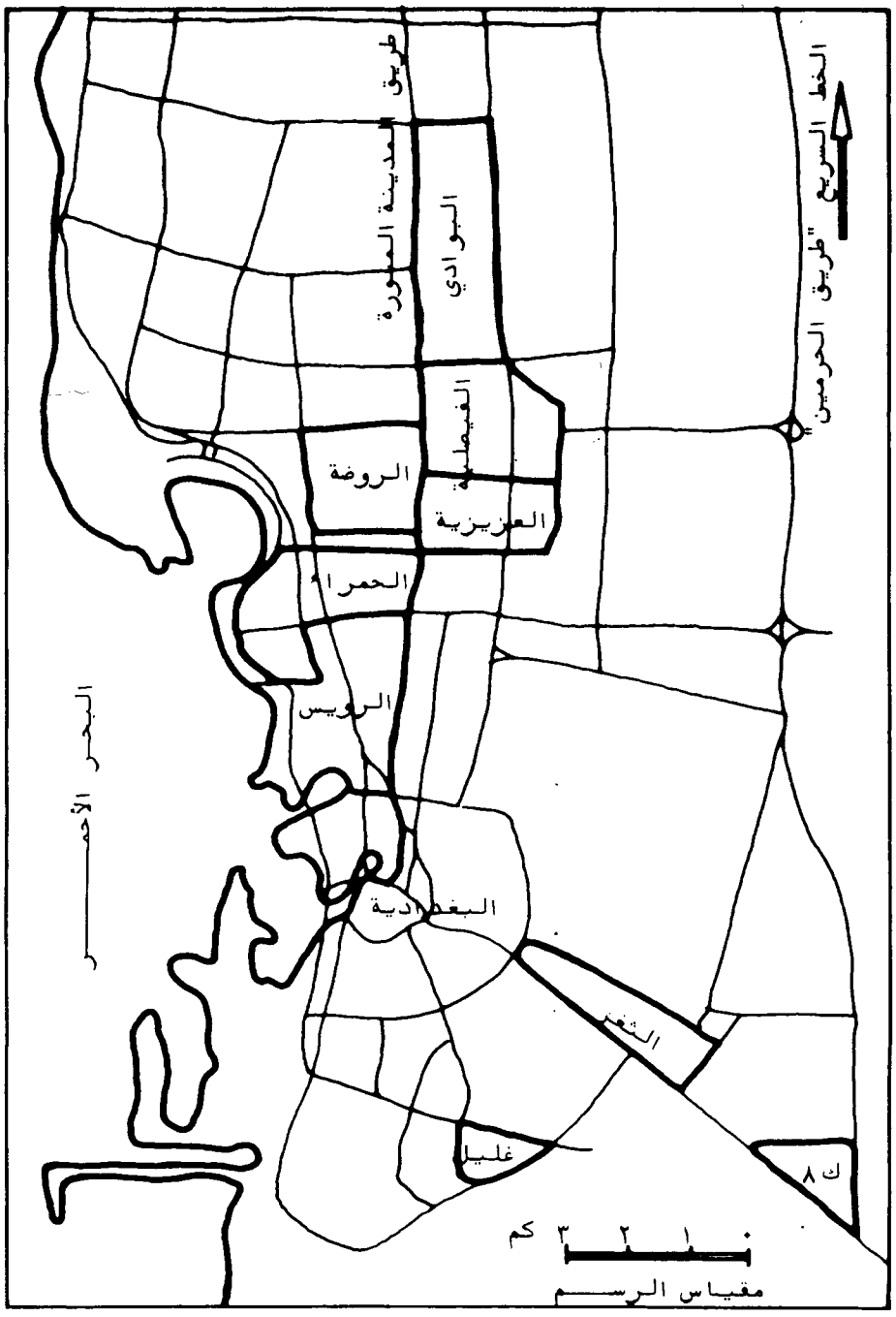
تهدف هذه الورقة إلى تحديد الأسباب الرئيسة التي أدت إلى ارتفاع منسوب المياه الأرضية في عدة أحياء بمدينة جدة ، وإيجاد الحلول العلمية الملائمة لتفادي هذه المشكلة والتقليل من الأضرار الناجمة عنها ما أمكن . كما تشمل الورقة توضيح الأسس والمعايير الرئيسة التي استخدمت لتصميم شبكة الصرف الأفقي المغطى وقد طورت هذه الدراسة برنامج حاسب آلي لتصميم الشبكة ، وأوجدت علاقة خطية لحساب التلكفة التقريبية لبناء شبكة الصرف المغطى .

٣ . مناطـــــق الدراســـــة

تقع مناطق الدراسة المتضررة من ارتفاع منسوب المياه الأرضية في أحياء مختلفة من مدينة جدة ، وقد اعتبرت المنطقة متضررة إذا كان منسوب المياه الأرضية يبعد قرابة مترين من سطح الأرض (معظم قواعد المنشآت في جدة في حدود مترين من سطح الأرض) . ومن ذلك المنطلق فقد حددت الأماكن المتضررة بمـدينـة جدة وهي : البـوادي ، الـروضة ، الحمراء ، الرويس ، مدائن الفهد ، غليل ، الروابي ، كيلو ٨ . ويبين شكل ١ مواقع تلك المناطق ، بينما يبين جدول ١ مساحة المناطق المتضررة .

٤ . مراحـــــل الدراســـــة

قسمت الدراسة إلى ثلاثة مراحل ، تخدم كل مرحلة منها مهامًا مختلفة . فمثلاً تختص المرحلة الأولى بجمع المعلومات اللازمة للدراسة من مصادرها المختلفة ، بينما تشمل المرحلة الثانية جميع الأعمال الميدانية والمعملية وتحليلها والتصاميم الهندسية للحل المقترح ، أما المرحلة الأخيرة فقد خصصت لإعداد المخططات



شكل ١ . مناطق الدراسة ومواقع بعض آبار الملاحظة في مدينة جدة .

جـدول ١ . أسماء ومساحات مناطق الدراسة وكمية المياه المستعملة منزليًا وكميات مياه الصرف الصحي (المياه المبتذلة) .

اسـم المنطقـة	المساحـة (هكتـار)	كمية المياه المستعملة عام ١٤٠٥هـ (م٣/ يوم)	نسبة الجزء العائد كمياه صرف صحي	كمية المياه المبتذلة (مياه الصرف الصحي)	معدل الرشح (q) (مم / يوم)
البوادي	٢٩٠	٧٢٥٠	٠,٧٥	٥٤٤٠	٠,٩٦
الروضـة	٥٨٥	٦٧٩٠	٠,٧٥	٥١٠٠	٠,٦١
الفيصليـة	٨٧٠	٦٩٥٠	٠,٧٠	٤٨٧٠	٠,٥٠
العزيزيـة	٤٧٠	٣٥٨٨٠	٠,٨٠	٢٨٧٠٠	٢,٢
الحمـراء	٤٨٥	١٠٧١٠	٠,٧٠	٧٥٠٠	١,٣٦
الرويس	٤٤٥	١٠٢٢٠	٠,٨٠	٨٢٠٠	١,٢٦
البغداديـة	٤٦٠	٧٧٩٠	٠,٨٠	٦٢٥٠	١,٠٢
غليـل	٤٦٠	٢٧٢٣٦	٠,٨٥	٢٣١٥٠	٢,٠٧
الثغـر	٣٤٥	١٢١٢٠	٠,٨٥	١٠٣٠٠	٠,٨٠
مدائن الفهـد	٧٦٠	٥٤٧٠	٠,٧٠	٣٨٠٠	٠,٤٠
كيلو ٨ و الروابي	٢٥٠	١٣٣٠	٠,٨٠	١١٠٠	٠,٦٠
المجمـوع	٥٥٠٠	-	-	-	-

الفنية وجـداول الكميات والأسعـار التقـريبية والمواصفات الفنية . وسنناقش في هذه الورقة بشيء من التفصيل المرحلتين الأولى والثانية ، بينما نترك للقاريء الكريم مراجعة التقرير النهائي للاطلاع على المرحلة الثالثة - إذا رغب .

٤,١ المرحـــلة الأولى

تم أثناء هذه المرحلة جمع المعلومات اللآزمة للدراسة من الجهات المعنية ، مثل وزارة الشؤون البلدية والقـروية ، ووزارة الـزراعة والمياه ، ووزارة التخطيط ، ووزارة البترول والثروة المعدنية ، وأمانة مدينة جدة ، ومصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية ، والجامعات السعودية . كما شملت هذه المرحلة القيام بالـزيارات الميدانية لدراسـة طبيعـة كل منطقة على حدة والإعداد لمهام المرحلة الثانية . ويمكن تلخيص أهم مهام هذه المرحلة في التالي :

١ - جمع المعلومات المساحية من واقع الخرائط الكنتورية والصور الجوية للمناطق المزمع دراستها .
٢ - جمع معلومات عن الخواص الجيوتقنية للتربة في المناطق المعنية .
٣ - جمع المعلومات المتوافرة عن الفاقد من شبكات المياه وشبكات الصرف الصحي .
٤ - معرفة مواقع ومساحة المسطحات الخضراء بالمدينة ، ومعرفة كميات مياه الري المستخدمة .

٥ - تقدير كميات المياه المستعملة في الأغراض المنزلية .

٦ - تقدير كميات مياه الصرف الصحي المتدفقة من المنشآت العامة ومعدل تغيراتها مع الزمن .

٧ - دراسة خرائط مناسيب سطح الأرض ومناسيب المياه الأرضية ، ومن ثم التعرف على اتجاه تحركات المياه الأرضية وأماكن تجمعاتها .

٤,٢ المرحلة الثانية

أجريت في هذه المرحلة جميع الأعمال الميدانية اللازمة لدراسة أحوال التربة والمياه الأرضية في المناطق المتضررة ، فقد تم حفر شبكة آبار ملاحظة - بيزومترات أو جسات (bore-holes) - ضحلة تتكون من ٧١ بئرًا ، وتتراوح أعماقها من متر واحد إلى خمسة أمتار ، حسب ماتمليه طبيعة الأرض وعمق المياه الأرضية ، وبحيث لايقل هذا العمق في أي بئر عن متر واحد على الأقل . وقد تم اختيار أماكن الآبار وعددها في مناطق الدراسة ، بعد الأخذ في الاعتبار العوامل التالية :

أ - نطاق المساحات ذات المياه الأرضية الضحلة والمتأثرة بالمشكلة .

ب - الاتجاه المتوقع لسريان المياه الأرضية .

جـ - طبوغرافية مناطق الدراسة .

د - تخطيط الشوارع وسهولة الوصول .

هـ - وجود المناطق المفتوحة أو الحدائق العامة التي تمثل المناطق المحيطة بها .

وقد كانت الأغراض الرئيسة من حفر الآبار هي :

١ - قياس منسوب المياه الأرضية .

٢ - تحديد اتجاه حركة المياه الأرضية .

٣ - قياس نفاذية طبقات التربة .

٤ - أخذ عينات ترابية أثناء الحفر لتصنيف التربة .

٥ - أخذ عينات مائية لمعرفة نوعية المياه الأرضية .

ولتحقيق ذلك ، فقد قامت الدراسة بمسح المناطق المتضررة وربط مناسيب مياه الآبار بمنسوب سطح البحر .

٤,٣ المرحلة الثالثة

وهي مرحلة إعداد المخططات والتصاميم الهندسية للحل المقترح والمواصفات الفنية وجداول الكميات والأسعار التقريبية .

٥ . تحاليـــــل ونتـــائج المعـــــلومات

٥,١ طبوغرافيـــة المنـــاطق المدروســـة

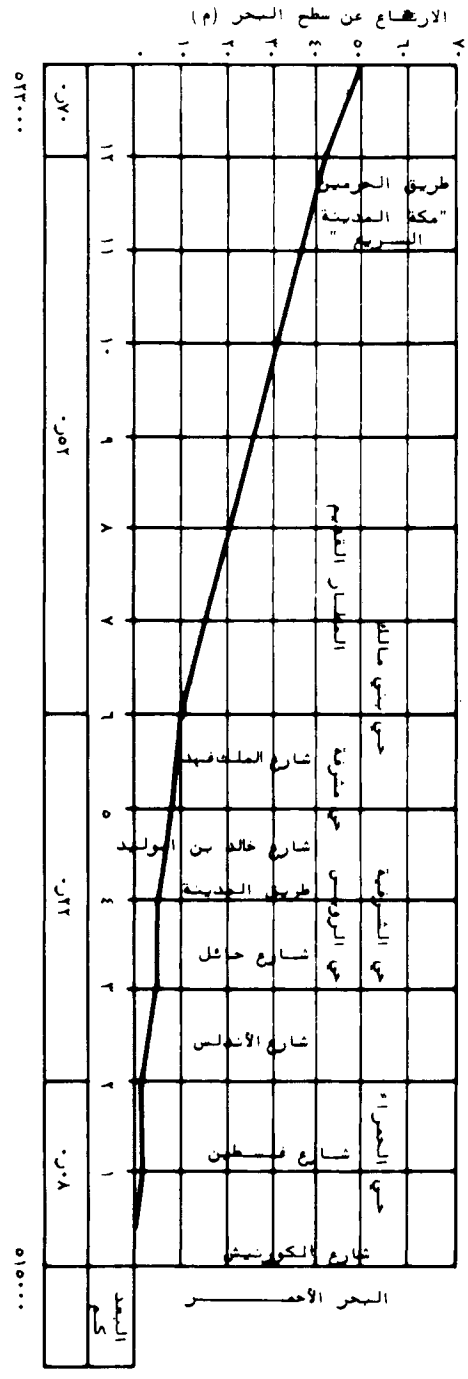
بينت الخرائط الطبوغرافية والمعلومات المجمعة من الأعمال المساحية الميدانية أن المناطق التي تقع في الشريط الساحلي لمدينة جدة : الحمراء ، والرويس ، والبغدادية ، والروضة ، وغليل ، مستوية وذات منسوب منخفض يتراوح بين متر واحد وعشرة أمتار عن سطح البحر . أما المناطق الداخلية : البوادي ، والفيصلية ، والعزيزية ، والثغر ، ومدائن الفهد ، والتي تبعد من خمسة إلى عشرة كيلو متر عن البحر ، فإنها تميل بانحدار طبيعي (natural slope) قدره ١ : ٢٥٠ ، ومستوى سطح الأرض يتراوح من عشرة إلى ثلاثين مترًا عن سطح البحر . أما المناطق الشرقية مثل حي كيلو ٨ ، والتي تقع قريبًا من الخط السريع (طريق الحرمين) فإنها ذات منسوب يتراوح من ثلاثين إلى أربعين مترًا عن سطح البحر . كما أوضحت المعلومـات المستقـاة من الخرائط الطبوغرافية ومن الأعمال المساحية ، التي قام بها فريق البحث ، والتي شملت قياس ارتفاع منسوب مياه آبار الملاحظة ، أن اتجاه سريان المياه الأرضية يسير وفق انحدار طبوغرافية المنطقة من الشرق إلى الغرب . وشكل ٢ عبارة عن مقطع طولي يبدأ من الخط السريع (طريق الحرمين) – شرق مدينة جدة – ويسير غربًا حتى البحر الأحمر ، مبينا طبوغرافية المنطقة ومنسوب المياه الأرضية فيها . كما أُعدت خرائط كنتورية تبين ارتفاع مناسيب المياه الأرضية عن سطح البحر ، ومن ثم تساعد على تحديد اتجاه سريان المياه الأرضية ، وخرائط أخرى تبين بُعد مناسيب المياه الأرضية من سطح الأرض لتحديد المنـاطق الأكثـر ضررًا ، ومن ثم إعطاءها الأولوية في التنفيذ . يوضح شكل ٣ مناسيب المياه الأرضية وارتفاعاتها عن سطح البحر لأحد المناطق المدروسة ، بينما يوضح شكل ٤ بُعد مناسيب المياه الأرضية عن سطح الأرض لنفس المنطقة .

٥,٢ التـــــوازن المـــــائي

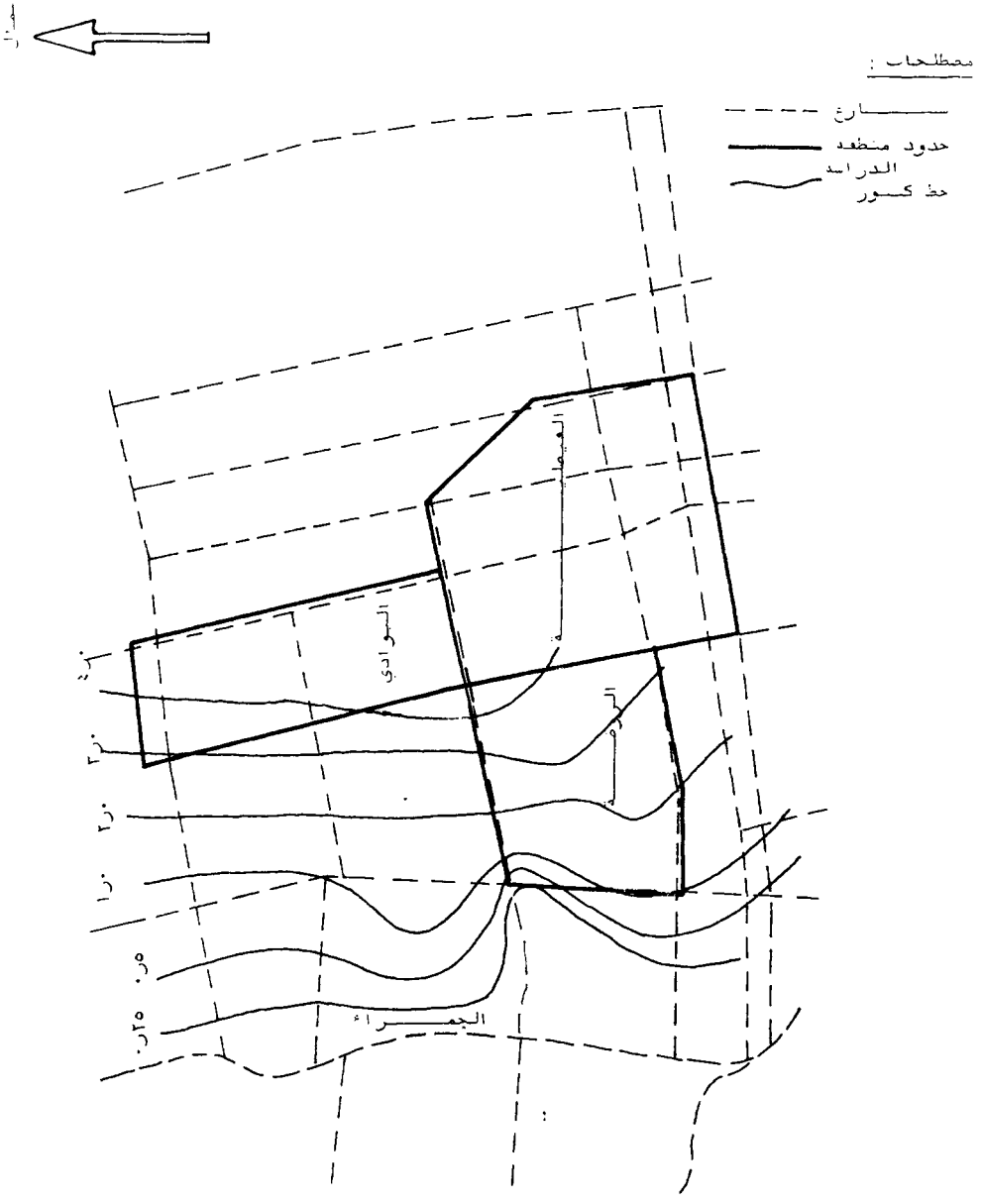
أوضحت المعلومات المتوافرة لدى الجهات المعنية والمجمعة من الأعمال الميدانية أن المناطق المدروسة تُخدم بشبكة توزيع مياه شرب شبه متكاملة ، بيد أن شبكات الصرف الصحي ليست متكاملة وتغطي قرابة ٣٠٪ فقط من المدينة ، ويعتمد الجزء المتبقي على البيارات الشعبية . ولتقدير قيم معدل الرشح (q) التي تغذي طبقات الأرض ، فإننا نحتاج إلى حساب التوازن المائي ، وعليه فقد تم تقدير كميات المياه المستعملة ومياه الصرف الصحي والمياه المغذية (المتسربة) لطبقات الأرض وتقدير نفاذية التربة ، وسنوضح ذلك فيما يلي .

أ - كميـــات الميـــاه المستعملـــة

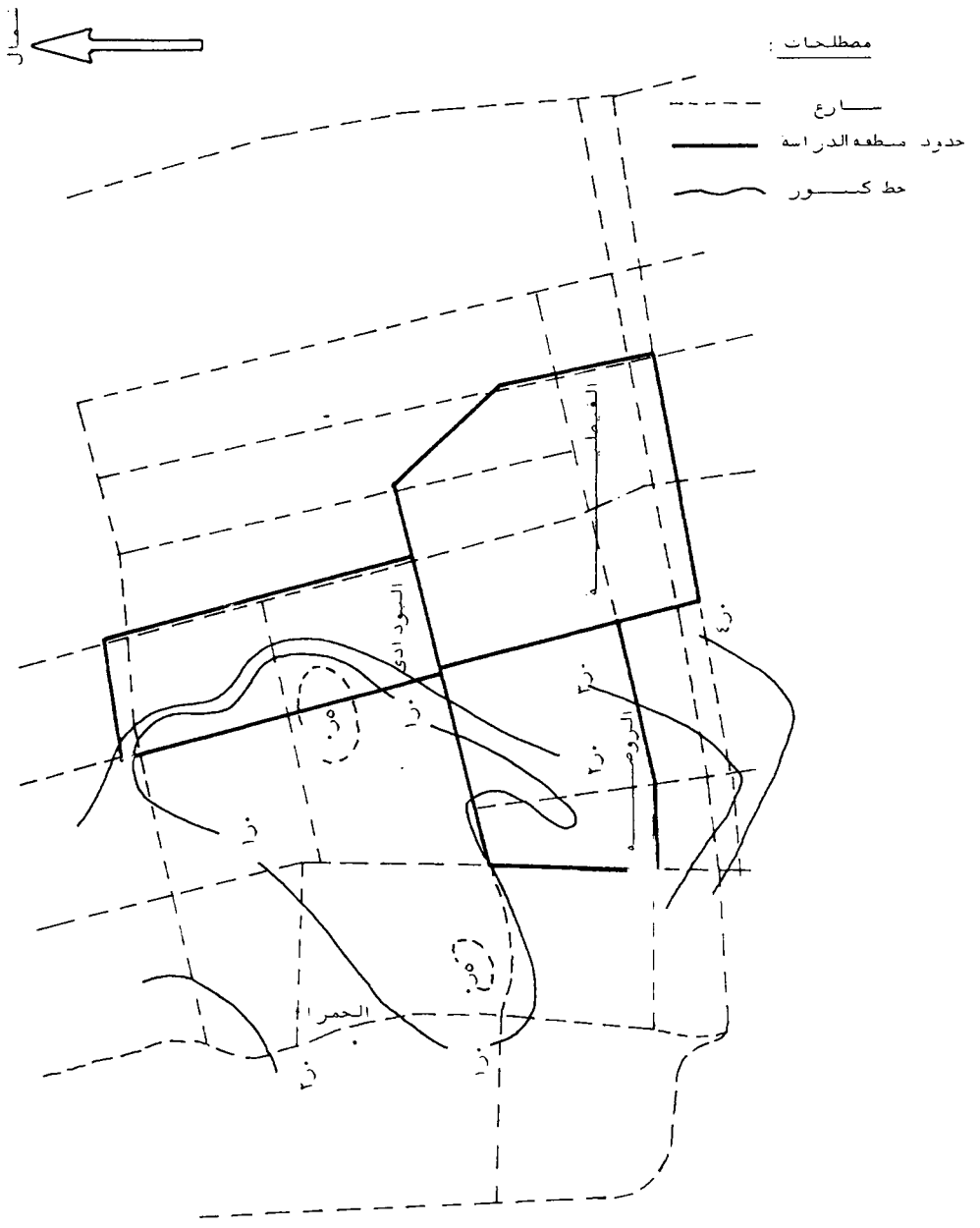
شهدت مدينة جدة خلال العقدين الماضيين نموًا سكانيًا مضطردًا أدى إلى ارتفاع استعمالات المياه ، فبينما كانت احتياجات مدينة جدة المائية في عام ١٣٩٠هـ قرابة ٦٠,٠٠٠ متر مكعب يوميًا ، فإن الحاجة اليومية في سنة ١٤١٠هـ تقارب ٤٠٠,٠٠٠ متر مكعب[٢] . ورغم أن أحد الأسباب الرئيسة لتلك الزيادة



شكل ٢ . مقطع شرقي - غربي مارًا بوسط مدينة جدة .



شـــكل ٣ . مناسيب المياه الجوفية وارتفاعاتها (بالمتر) عن سطح البحر لمنطقتي الحمراء والروضة .



شـــكل ٤ . بُعد مناسيب المياه الجوفية (بالمتر) عن سطح الأرض لمنطقتي الروضة والحمراء .

هو النمو السكاني ، إلا أن هناك سببًا آخر لايقل أهمية عن ذلك ، وهو الزيادة الكبير في الاستعمال اليومي للفرد من المياه ، حيث تفيد الدراسات المتوافرة أن الاستعمال الفردي اليومي كان يقارب مائة لتر في اليوم ، بينما يقدر الاستعمال الفردي الآن بقرابة أربعمائة لتر في اليوم[٣].

وتستوجب الدراسة معرفة كميات المياه المستعملة في كل منطقة من المناطق المتضررة ، إلا أن - ولسوء الحظ - هذه المعلومات ليست متوافرة مما أوجب استعمال العدادات العامة داخل مناطق الدراسة وأخذ قراءات يومية لمجموعة منها . وبدراسة المعلومات المتوافرة عن شبكات التوزيع ومعرفة عدد التوصيلات المنزلية وأقطار المواسير أمكن تقدير كميات المياه المستعملة في كل منطقة من المناطق المدروسة والموضحة في جدول ٥ .

ب - كميات مياه الصرف الصحي

لتقدير كميات مياه الصرف الصحي الناتجة عن استعمال تلك المياه ، فقد قامت الدراسات بإجراء مسح اقتصادي مبسط لمعرفة نسبة الجزء العائد كمياه صرف صحي . تعتمد تلك النسب على نوعية المنازل (شقة ، فيلا ، قصر) ووجود الحدائق ومساحاتها وعدد السيارات المستخدمة في كل منزل . وقد بين المسح الاجتماعي وبطريقة تقريبية أن نسب المياه المستعملة والمحولة إلى مياه صرف صحي تتراوح من ٧٠ إلى ٨٥٪ ، وذلك نظرًا لتباين مستوى المعيشة والمساحات الخضراء في مناطق الدراسة . ويوضح جدول ١ تقديرًا لتصريفات مياه الصرف الصحي لمناطق الدراسة .

جـ - ترشُح مياه البيارات

تعتمد كمية المياه المتسربة إلى الأرض أساسًا على نفاذية التربة ومعدل إعادة المياه المنصرفة . ولتقدير قيم نفاذية التربة (soil permeability) في المناطق المدروسة ، فقد تم إجراء اختبارات حقلية وحساب معدلات التسرب (percolation rates) من خلال اختبارات التسرب (percolation tests) وقد وضَّحت الاختبارات الحقلية أن قيم معامل التسرب (percolation factor) في المناطق المدروسة تتراوح من ٥٠ إلى ٥٥ لترًا في اليوم للمتر المربع .

د - قيم التسرب من شبكات توزيع المياه

دلت المعلومات المستقاة من إدارة وتشغيل وصيانة مياه مدينة جدة أن كميات التسرب من شبكات توزيع المياه تتراوح من ١٥ إلى ٢٠٪ في المناطق المدروسة ، ويرجع ذلك التفاوت إلى اختلاف عمر المواسير في الشبكة ، طبوغرافية الأرض ، ظروف التشغيل والصيانة وتاريخ مشكلة التسرب في المنطقة . ويبين جدول ٥ كمية التسرب في كل منطقة على حدة .

هـ - رشح المياه من المناطق الخضراء (الحدائق العامة)

أمكن الحصول على قيم المساحات الخضراء من البلديات الفرعية ذات العلاقة . كما أمكن الحصول على كميات المياه التي تُروى بها هذه المساحات بوساطة سيارات (عربات) النقل التابعة لأمانة مدينة جدة .

وقد وجد أن المياه التي تستخدم للري لاتخضع لمعالجة كافية تجعلها ملائمة للري ، مما ساعد على انتشار الروائح الكريهة أثناء الري .

و - تحليـــل وتصنيف التربـــة

تمت دراسة حالة تربة مختلف المناطق المتضررة على ضوء المعلومات المستقاة من الجسات (boreholes) الترابية وآبار الملاحظة السابق ذكرها ، إضافة إلى المعلومات المجمعة من الجهات الرسمية المعنية والشركات المتخصصة في الأعمال المشابهة . كما قامت الدراسة أيضًا بتقدير قيم مُعامل التوصيل الهيدرولي (hydraulic conductivity coefficient) أو مُعـامـل التنـاسب في قانون دارسي . ويمثل التوصيل الهيدرولي للتربة متوسط سرعة انتقال المياه فيها ، والذي يعتمد على خواص وعدد وقطر وشكل حبيبـات التربة والمسام الموجودة خلالها ، إضافة إلى اللزوجة والخشونة السطحية للحبيبات وكثافة المياه وملوحتها . ويعتبر تحديد قيم التوصيل الهيدرولي مهمًا ، وذلك لكونه أحد المعايير المهمة في تصميم شبكة الصرف الصحي المغطى . ونظرًا لتلك الأهمية فقد حظى باهتمام خاص في هذه الدراسة . وتم تقدير قيم هذا المعيار باستعمال الاختبار الحقلي (طريقة المثقاب الحلزوني المعروف uger test) ، وقد فضلت هذه الطريقة عن الطرق الحسابية الأخرى ، نظرًا لصعوبة شمول المتغيرات في الوسط المسامي ، كذلك فإن التجارب المعملية لاختبار النفاذية عادة غير مُرضية ، ومن ثم فإن الاختبارات الميدانية تحت منسوب مياه الرشح تكون مقبولة بصفة عامة ، وتعتبر أكثر الطرق التي يوثق بها لتحديد التوصيل الهيدرولي ، وقد أُوصي باستعمالها عند بناء أنظمة التصريف الأفقي المغطى . وقد تم تصنيف تربة المناطق المدروسة باستخدام التصنيف الموحد (united soil classificaiton system) ، ودونت في جدول ٢ .

ز - هبـــوط التربـــة الناتج عن انخفاض منسوب المـــاء الجوفي

إن انخفـاض مستـوى منسوب الماء في التربة يؤدي إلى زيادة في الضغط الفعال مساوية للنقص الحاصل في ضغط مياه الفراغات ، مما يسبب أحمالاً إضافية على طبقات التربة ، ومن ثم زيادة في الهبوط . وقد تم تقدير الهبوط الناتج عن تخفيض منسوب المياه الأرضية باستخدام الطرق المرنة (elastic methods) وقيم (N) (عدد الضربات) المستحصلة من اختبار الاختراق القياسي (standard penetration test) والمجمعة من الدراسات السابقة من قبل أمانة مدينة جدة وبعض الشركات الاستشارية ، كما تم الاستعانة بخبرات المهندسين المحليين ذوي الخبرة بنوع التربة في مدينة جدة . وقد حسبت كميات الهبوط عند أعلى وأدنى مستوى متوقع لمنسوب المياه ، والذي يتراوح بين مترين وأربعة أمتار عن المنسوب الحالي في كل منطقة مدروسة ، وذلك على المدى القريب والمدى البعيد . وقد بينت تلك النتائج الموضحة في جدول ٣ أن منسـوب المياه الأرضية يجب ألا ينخفض عن ثلاثـة أمتار عن سطح الأرض في منطقة الحمراء ، وألا يزيد عن ٣,٥ متر في منطقتي البوادي والرويس ، بيد أنه في المناطق الأخرى - حيث التربة أكثر جودة - فإنه يمكن تخفيض منسوب المياه الأرضية حتى عمق ٤ أمتار عن سطح الأرض ، بحيث

جـدول ٢ . تصنيف التربـة في المنـاطق المدروسـة .

المجموعة / المنطقة	عـدد العينـات							مجموع العينات
	SM	SP-SM	SW-SM	SC	CL	GP-GM	SC-SM	
البـوادي	٩	٢	١	١	-	-	-	١٣
الروضـة	٢٧	-	-	٥	١	-	-	٣٣
الحمـراء	١٠	٧	-	١	-	-	-	١٨
الرويس	٥	٨	-	-	-	٢	-	١٥
البغداديـة	١٥	٤	-	-	-	-	-	١٩
الثغـر	١٠	١	-	٩	-	-	١	٢١
غليـل	١٥	-	-	٧	-	-	٣	٢٥
كيـلو٨	١٢	٣	-	٣	-	-	-	١٨
مدائن الفهـد	٦	١	-	١	-	-	-	٨
المجمـوع	١٠٩	٢٦	١	٢٧	١	٢	٤	١٧٠

SM = رمل طمي
SP-SM = رمل - رمل طمي غير منتظم التدرج الحبيبي
SW-SM = رمل - رمل طمي منتظم التدرج الحبيبي
SC = طين رملي
CL = طمي قليل اللزوجة
GP-GM = زلط - زلط طمي غير منتظم التدرج الحبيبي
SC-SM = رمل طيني - رمل طمي

تكون هبوطات التربة في جميع مناطق الدراسة في حدود المسموح به ، والذي لايؤثر على المنشآت المجاورة لخط الصرف .

٦ . العوامـل التي أدت إلى ارتفـاع منسـوب الميـاه في المناطـق المدروسـة

بينت المعلومات المستقاة من المرحلة الأولى والأعمال الميدانية والمكتبية في المرحلة الثانية من الدراسة - كما هو موضـح في الجزء الخاص بنتائج وتحاليل المعلومات - أن الأسباب الرئيسة التي أدت إلى ارتفاع منسوب المياه في المناطق المدروسة هي :

١ - ترشح المياه من البيارات الشعبية المنتشرة في مدينة جدة ، وذلك لعدم وجود شبكة صرف متكاملة تخدم المدينة . وقد كانت المياه المستعملة في وسط المدينة - حيث توجد شبكة صرف صحي - في أوائـل السبعينيات لاتتعدى ستين ألف متر مكعب من المياه ، أي أن كميات المياه المتسربة من بعض البيارات المتبعثرة في أطراف المدينة قليلة جدًا وليس لها تأثير يذكر على ارتفاع منسوب المياه . أما الآن وقد امتدت المدينة شمالاً وجنوبًا وشرقًا وأصبحت كميات المياه المستعملة تقارب ٤٠٠,٠٠٠م^3 يوميًا ، حيث

جـدول ٣ . قيـم الهبـوط المتوقعـة في مناطـق الدراسـة .

المنطقـــة	المدى القريب (مم)	المدى البعيد (مم)
١ - الروضـة	١٥-٢٠	٢٠-٤٥
٢ - الحمـــراء	٢٥-٤٥	٣٥-٦٠
٣ - الـــرويس	٢٠-٤٠	٣٠-٥٠
٤ - البغـدادية	١٦-٣٧	٢٠-٥٠
٥ - الثغـــر	١٠-٣٠	١٥-٤٠
٦ - غليـــل	١٠-٣٥	١٥-٥٠
٧ - كيـــلو ٨	٢٠-٣٠	٣٠-٤٠
٨ - مـدائن الفهـد	١٠-٢٠	٢٠-٣٠
٩ - البـــوادي	٢٥-٤٠	٣٥-٥٥

يمكن القـول إن كميات مياه الصرف الصحي وبطريقة تقريبية ٣٠٠,٠٠٠م^3 يوميًا ، يجمع منها عبر شبكات الصرف الصحي قرابة ١٠٠,٠٠٠م^3، بينما تتسرب ٢٠٠,٠٠٠م^3 يوميًا إلى باطن الأرض بطريقة أو بأخرى[٢].

٢ - سقيا المناطق الخضراء بطريقة عشوائية وبكميات أكثر من الحاجة ، وذلك بغرض التخلص من المياه وليس فقط بغرض السقيا . وأصبح من المألوف أن ترى عربات نقل المياه (الوايتات) تفرغ كميات من المياه في المناطق الخضراء بطرق غير مقننة وغير محددة .

٣ - تسرب المياه من شبكات المياه وشبكات الصرف الصحي بكميات يعتقد أنها تزيد كثيرًا عن ماهو مدون لدى الجهات المعنية (١٥٪-٢٥٪) ، ويرجع ذلك إلى أن تلك الأرقام تقريبية بحتة لاتخضع لأي بحث علمي . ويوضح جدول ٥ كميات المياه المتسربة من البيارات والمناطق الخضراء وشبكات المياه ونسبها إلى كميات المياه الكلية المتسربة إلى باطن الأرض في كل منطقة مدروسة .

٧ . البـــدائل المختلفـــة لحـــل المشـــكلة

٧,١ الحـــل الأمثـــل للمشـــكلة

الحل الأمثل لحل مشكلة ارتفاع منسوب المياه الأرضية يكمن في بناء شبكة صرف صحي متكاملة وإدارة جيدة تعمـل على تقليل الفـاقد من شبكتي المياه والصرف الصحي ما أمكن ، وتسقى الحدائق العامة بالكميات المحتاجة فعلاً . إلا أنه - وللأسف - تبين من مناقشة فنيي مصلحة المياه والصرف الصحي

بالمنـطقـة الغربية أن بناء شبكة صرف صحي متكاملة لن يتم قبل ١٥-٢٠ سنة . وكما تبين سابقًا أن الظروف السيئة التي تعيشها مدينة جدة من جراء ارتفاع منسوب المياه الأرضية لاتسمح بانتظار ذلك الوقت الطويل ، وعليه فقد تم التفكير في إيجاد بديل أو بدائل لحل هذه المشكلة ولو مؤقتًا حتى يتم بناء شبكة الصرف الصحي المتكاملة . وسنناقش باختصار أهم البدائل التي يمكن أن تساعد على تخفيض منسوب المياه ، وهي :

١ - نظام الصرف الأفقي المغطى .
٢ - نظام الصرف الرأسي (العمودي) .
٣ - نظام الصرف المشترك بين بعض البدائل .

يعتبر الصرف الأفقي من أشهر الطرق المتبعة لتخفيض مناسيب المياه الأرضية في المناطق الزراعية ، وهو عبارة عن مواسير مخرمة توضع في حفر (خنادق ضحلة) (٣-٤ م) لتجميع المياه ومن ثم نقلها إلى مواقعها النهائية . وغالبًا ماتعتمد طريقة تجميع المياه ونقلها على الانحدار الطبيعي للأرض .

أما الصرف الرأسي فهو عبارة عن آبار عميقة تصل أعماقها إلى مئات الأمتار ، وخطوط لنقل تلك المياه إلى مصبها النهائي . ففي باكستان - مثلاً - وصلت أعماق الآبار إلى ١٨٠٠م تقريبًا ، مما يسمح بزيادة المسافة بينها ومن ثم تقليل التكلفة الكلية . إلا أن مشكلة هذه الطريقة تكمن في احتياجها إلى مضخات وقوى عاملة ماهرة لعملية التشغيل والصيانة ، والتي تفتقر لها المملكة بصفة عامة ، كما أنه من المحتمل أن ينتج عن ذلك هبوط في التربة أكثر من المسموح به مما قد يؤدي إلى بعض المشاكل بالمنشآت العامة . ونظام الصرف المشترك يستخدم أكثر من بديل في آن واحد كأن يستخدم الصرف الأفقي والرأسي سويًا في منطقة معينة .

وقد وجدت الدراسة أن دولاً كثيرة مثل كندا وهولندا وبلجيكا وألمانيا ومصر تستخدم نظام الصرف الأفقي المغطى لتخفيض منسوب المياه في الأراضي الزراعية ، ليس ذلك فحسب بل إن بعض الدول مثل باكستان والهند ، والتي استخدمت نظام الصرف الرأسي لأمد طويل ، قد عدلت عنه وتحولت إلى استخدام نظام الصرف الأفقي المغطى . وعند مناقشة النظم المختلفة مع فنيي مصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية وأمانة مدينة جدة من النواحي الفنية وتوافر الإمكانات المادية والكوادر البشرية المدربة ، تم الاتفاق على تبني فكرة نظام الصرف الأفقي المغطى كحل مؤقت لتخفيض منسوب المياه الأرضية حتى يتم بناء شبكات الصرف الصحي المتكاملة ، وذلك اعتمادًا على الأسس التالية :

١ - قلة تكلفة إنشاء نظام الصرف عند توافر ميل (انحدار طبيعي) مناسب لتجميع المياه ، ومن ثم نقلها إلى المصبات النهائية ، وذلك لعدم الحاجة إلى بناء محطات وغرف ضخ وخطوط طرد وماصاحب ذلك . وقد وجد أن معظم المناطق المدروسة تتميز بانحدار طبيعي كافٍ لتجميع ونقل مياه الصرف .
٢ - سهولة التشغيل والصيانة وعدم الحاجة إلى كوادر بشرية فنية مُدرَّبة في هذا الحقل ، وهذا

ماتفتقر إليه معظم الدول النامية بصفة عامة ، والمملكة العربية السعودية بصفة خاصة .

٣ - توافر المواد اللازمة لبناء نظام الصرف الأفقي من مواسير ومواد زلط « مواد الترشيح » محليًا في مدينة جدة أو قريبًا منها ، وذلك عامل مهم جدًا ليس من جهة التكلفة فقط ولكن من جهة الوقت ، حيث إن استيراد مواد من خارج المملكة يحتاج إلى وقت أطول .

٤ - تجنب الهبوط الذي قد يحدث نتيجة تخفيض منسوب المياه الأرضية عند استعمال نظام الصرف الرأسي خاصة وأن المناطق المدروسة مناطق عمرانية وبها عمارات شاهقة .

ويبين جدول ٤ مقارنة بين البدائل المختلفة لنظم الصرف . وحيث إنه قد تم اختيار الصرف الأفقي ، فسوف نناقس هذا النظام بنوع من التفصيل فيما يأتي .

جدول ٤ . مقارنة بين أنظمة الصرف المختلفة .

نوع البديل	المزايا	العيوب
نظام الصرف الأفقي	١ - سهولة التشغيل والصيانة . ٢ - انخفاض تكلفة التشغيل والصيانة . ٣ - هبوط التربة ضمن الحدود المسموح بها . ٤ - المواد المستخدمة متوافرة محليًا .	نظرًا لأن هذا النظام يعمل بوساطة الانحدار الطبيعي ، فإنه قد يحتاج إلى أعماق حفر كبيرة في المناطق ذات الانحدار المنبسط .
نظام الصرف الرأسي	نظرًا لأن نظام التجميع والنقل والتصريف النهائي يعمل بوساطة الضخ ، لذا فإنه من الممكن ضخ كميات كبيرة من المياه وتخفيض منسوبها في وقت قصير نسبيًا .	١ - تكلفة التشغيل والصيانة مرتفعة . ٢ - يحتاج إلى فنيين مهرة لتشغيل هذا النظام . ٣ - استيراد المضخات والقطع اللازمة يحتاج إلى وقت . ٤ - كثرة أعطال التشغيل . ٥ - هبوط التربة أكبر من المسموح به .
شبكة الصرف الصحي	الحل النهائي والأمثل لمشكلة ارتفاع مسنوب المياه الأرضية .	١ - تكلفة الإنشاء والتشغيل والصيانة مرتفعة . ٢ - تحتاج إلى وقت طويل لإكمال الشبكة .

٧,٢ تصميم شبكة الصرف الأفقي المغطى

أُستخدم نظام الصرف الأفقي المغطى ، وأثبت فعاليته في المناطق الزراعية بصورة واسعة الانتشار ، ونتيجة لكثرة استخدامه فقد خضع لأبحاث عديدة أثرت المعرفة به تصميمًا وتنفيذًا . بيد أن استخدام نظام الصرف الأفقي المغطى في المناطق الحضرية لم يستخدم إلا في نطاق ضيق ، مما جعل المعلومات المتوافرة عن ذلك محدودة جدًا . وفي الحقيقة ، فإن هناك اختلافًا في المعايير التي تستخدم لتصميم شبكة النظام في المناطق الزراعية والمناطق الحضرية ، فمثلاً يعتبر نظام الصرف في المناطق الزراعية ناجحًا إذا تم صرف المياه الزائدة والملوحة الناتجة عن الري اللتين تؤثران على نمو النباتات ، بينما تختلف الصورة نوعًا ما في حالة

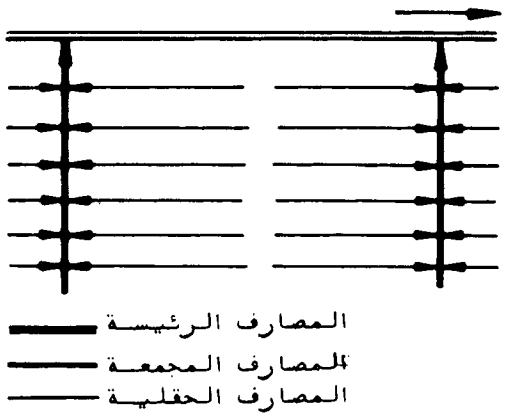
بناء شبكة الصرف الأفقي المغطى في المدن ، فإضافة إلى ماهو متوقع من تخفيض منسوب المياه الأرضية إلى حد معين ، إلا أنه من المتوقع أيضًا أن يبقى منسوب المياه الأرضية في مستوى معين ، وبحيث لاتؤثر على المنشآت العامة والطبقات الأسفلتية ، فمثلاً عند حساب المسافات بين المصارف الأفقية يجب ألا يزيد هبوط التربة عن الحد المسموح به هندسيًا عند تخفيض منسوب المياه الأرضية لتجنب أي انهيار إنشائي ، كذلك فإن تخفيض منسوب المياه الأرضية يجب أن يكون أعمق من منسوب القواعد لمنع تآكل الخرسانة وصدأ الحديد في القواعد ، ولمنع تأكل الطبقات الأسفلتية في الطرق . وهذان المعياران متضادان حيث إنه يستحسن لتقليل هبوط التربة أن تكون أعماق المصارف ضحلة ، بينما يجب أن يكون منسوب المياه الأرضية أعمق من مناسيب القواعد الخرسانية لحمايتها من التأكل والصدأ ، مما يستدعي أن تكون المصارف على أعماق كبيرة . لذا فإن الخبرة الهندسية والتحليل الاقتصادي يلعبان دورًا كبيرًا في التوفيق بين هذين المعيارين .

ويتكون نظام الصرف الأفقي المغطى من عدة أجزاء رئيسة مبينة في شكل ٥ (أ) والتي يمكن سردها في التالي :

١ - المصارف الحقلية أو المصارف الجانبية ، وعادة تكون متوازية ومهمتها الرئيسة تجميع المياه للتحكم في عمق المياه الأرضية .

٢ - المصارف المجمعة ومهمتها الرئيسة تجميع المياه من المصارف الجانبية ونقلها إلى المصارف الرئيسة .

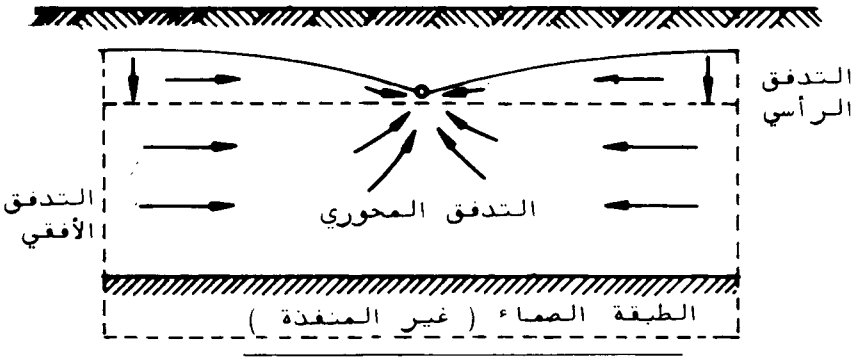
٣ - المصارف الرئيسة ومهمتها نقل المياه إلى مصباتها النهائية .



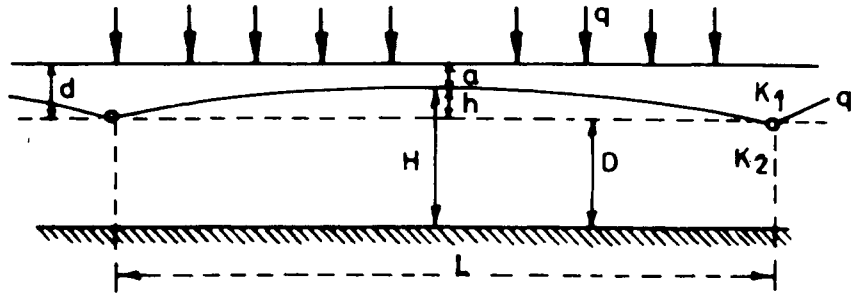
شكل ٥ (أ) . الأجزاء الرئيسة لنظام الصرف الأفقي .

وعمليًا فإنه لايمكن الفصل التام بين هذه المهام المختلفة لأجزاء الصرف الأفقي ، فعلى سبيل المثال جميع المصارف الجانبية والمصارف المجمعة تعمل على نقل المياه أيضًا ، وعليه فإن المصارف المجمعة والرئيسة تؤثر في منسوب المياه الأرضية .

وقد استخدمت معادلات هوخت وايرنست[٤،٥] لتصميم نظام الصرف الأفقي المغطى ، وذلك للحالات المستقرة والمبنية ، على افتراض أن التدفق مستمر وثابت من التربة إلى المصارف . وقد استنبطت معادلات هوخت وايرنست على افتراض أن تدفق المياه يتكون من تدفق أفقي ، وتدفق رأسي ، وتدفق محوري ، كما هو موضح في شكل ٥ (ب) . وقد بنيت هذه المعادلة على افتراض أن المقاومة الرأسية قليلة نسبيًا ويمكن إهمالها إذا ماقورنت بالمقاومة الأفقية والمقاومة المحورية ، أي إن المسافة بين المصارف يتم حسابها عن طريق حساب المقاومتين الأفقية والمحورية فقط . ويوضح شكل ٥ (جـ) مقطعًا نموذجيًا للمصارف الأفقية .



شكل ٥ (ب) . المكونات الرئيسة لتدفق المياه أفقيًا ، وعموديًا ، ومحوريًا .



شكل ٥ (جـ) . مقطع نموذجي للمصارف الأفقية .

٧,٣ معـــادلات حساب المسافـــة بـــين المصـــارف

لقـد اختبر التصميم الأفقي واستخدمت معادلات هوجهاوت لحساب المسافات اللآزمة بين أنابيب التصريف . والصيغة العامة لمعادلات هوجهاوت في حالة وجود طبقتين مختلفتين من التربة هي

$$q = \frac{8\,K_2\,dh}{L^2} + \frac{4\,K_1\,h^2}{L^2} \qquad (١)$$

حيث إن q = معدل الرشح .

K_1 , K_2 = التوصيل الهيدرولي للطبقة العليا والطبقة السفلى للتربة .

d = العمق التخيلي .

h = الضغط الرأسي .

L = المسافة بين أنابيب التصريف .

ويمكن إعادة كتابة هذه المعادلة ، وذلك لتحديد المسافة بين أنابيب الصرف الأفقي لتصبح المعادلة

$$L = \left[\frac{8\,K_2\,dh}{q} + \frac{4\,K_1\,h^2}{q} \right]^{1/2} \qquad (٢)$$

ولتحديد العمق التخيلي فإن هناك حالتين :

١ - عندما يكون عمق الطبقة المسامية D أقل من ربع المسافة بين أنابيب التصريف L ، أي إن $D < L/4$ ، فيمكن استخدام المعادلة التالية :

$$d = \frac{D}{\frac{8\,D}{\pi\,L} \ln\left(\frac{D}{u} + 1\right)} \qquad (٣)$$

حيث إن D = عمق الطبقة المسامية .

u = المحيط المبتل لتصريف القناة .

٢ - عندما يكون عمق الطبقة المسامية D أكبر من ربع المسافة بين أنابيب التصريف L ، أي إن $D > L/4$ ، فيمكن استخدام المعادلة التالية :

$$d = \frac{L}{8 \ln \frac{L}{u}} \qquad (٤)$$

٧,٤ كيفيـــة استعمـــال معادلـــة هوجهـــاوت

يوضح الشكلان ٦ ، ٧ الخطوات والمعلومات الأساسية اللآزمة والمتبعة في تصميم نظام الصرف الأفقي في المناطق الحضرية . ويمكن - زيادة في التوضيح - اتباع الخطوات التالية لتحديد المسافة بين أنابيب التصريف ، وهي :

أ - إيجاد الصيغ الرياضية للمعايير الأساسية في التصميم H, q .

ب - الحصول على المعلومات الحقلية D, H .

جـ - حساب قيمة التوصيل الهيدرولي للتربة K (ويمكن أن تكون k_1 , k_2) .

د - تحديد قيمة a, u وحساب d, h .

هـ - تحديد المسافة بين المصارف L ، وذلك بحل معادلة هوجهاوت .

وحيث إن معادلة هوجهاوت تحتوي على مجهولين d, L ، حيث تعتمد قيمة كل منهما على قيمة الثاني ، لذا فإن حل المعادلة يعتمد على طريقة المحاولة والخطأ ، والتي يمكن توضيحها في الخطوات التالية .

١ - افترض قيمة L واحسب قيمة d من المعادلة (٣) إذا كان $D < L/4$ ، أو من معادلة (٤) إذا كان $D > L/4$.

٢ - حل معادلة هوجهاوت رقم (٢) مستعملاً قيمة d المحسوبة ، وأوجد قيمة L وقارنها بالقيمة المفترضة .

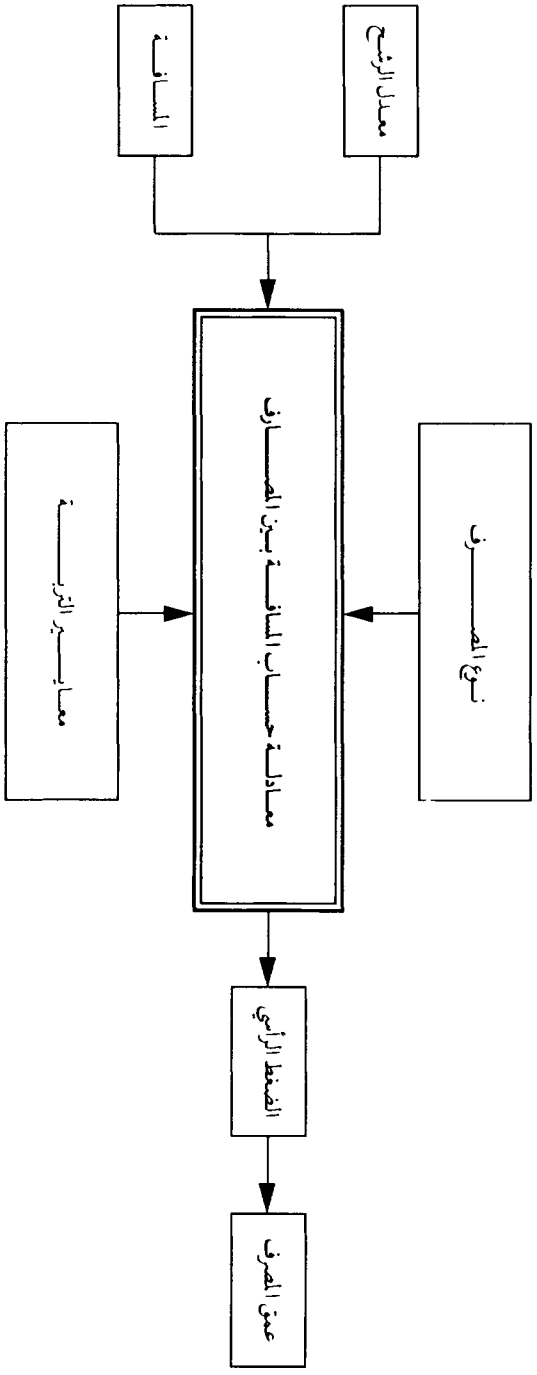
٣ - عدل قيمة L المفترضة ثم أعد الخطوات السابقة حتى تحصل على توافق أو تقارب القيمة المقترحة والقيمة المحسوبة .

وفي الحقيقة فإن عملية المحاولة والخطأ قد تكون مملة ، لذا فقد عمدت الدراسة إلى وضع برنامج بالحاسب الآلي موضح بشكل ٨ للإسراع في عملية حساب المسافات وتوفير الوقت . ويوضح المثال التالي نتائج هذا البرنامج لتحديد المسافة بين المصارف في منطقة البوادي بجدة .

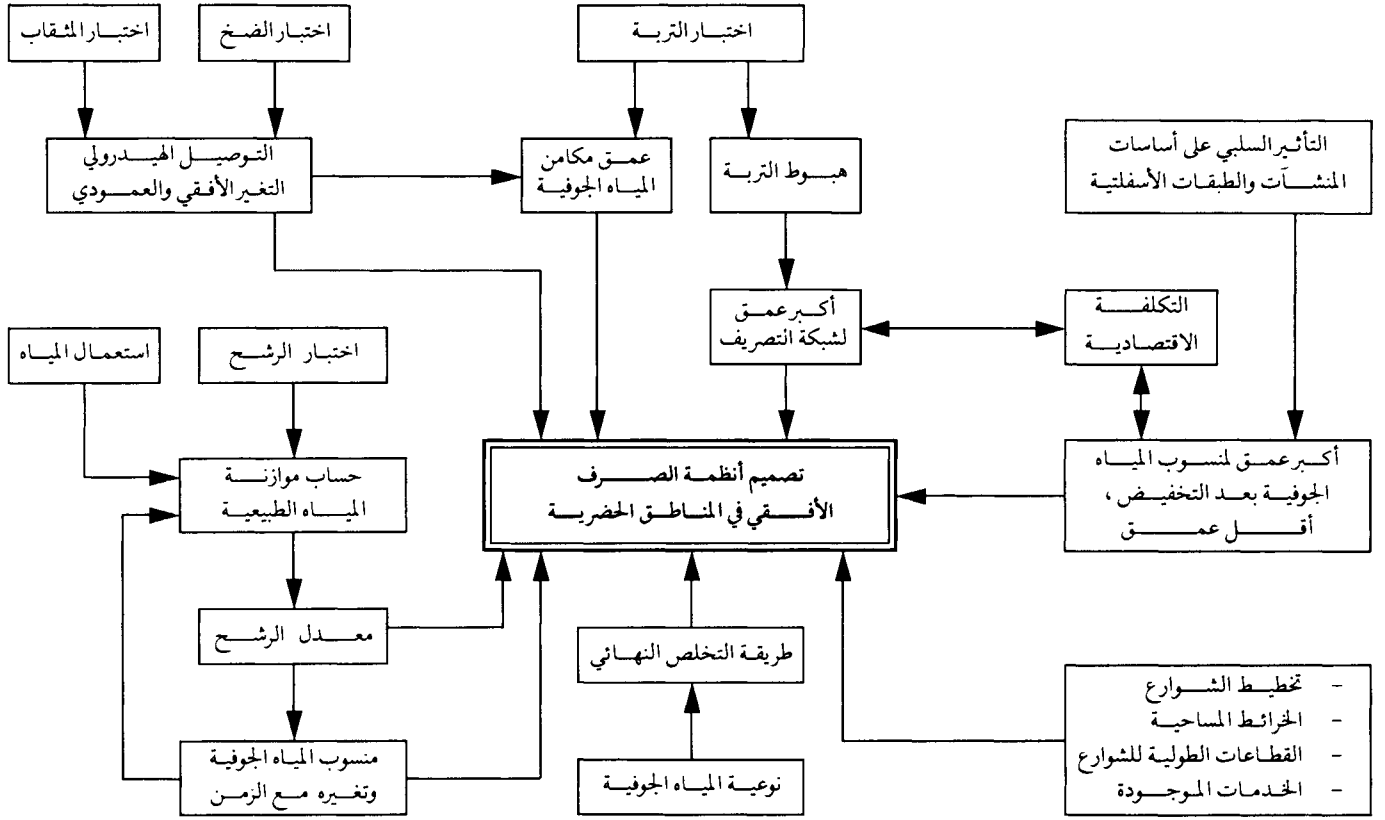
معايير التصميم :

معدل الرشح q	= ٠,٩٦ مم / يوم
التوصيل الهيدرولي K	= ١,٠ مم / يوم
الضغط الرأسي h	= ١,٠ م
عمق الطبقة الحاملة للمياه	= $D > L/4$
المحيط المبتل لقناة التصريف u	= ٠,٦٣ متر

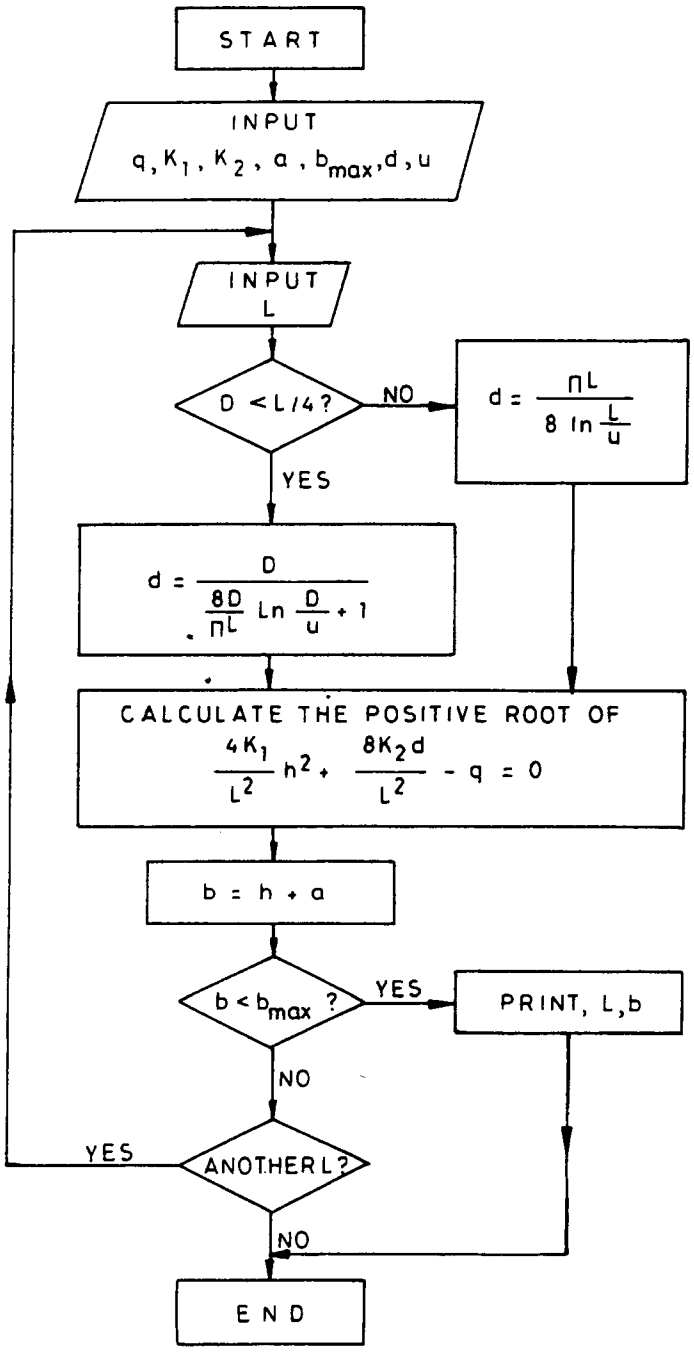
وباستخدام البرنامج فقد وجد أن المسافة بين أنابيب التصريف = ٤٩٨ مترًا أي حوالي ٥٠٠ متر . وهي نفس المسافة المحسوبة عن طريق المحاولة والخطأ .



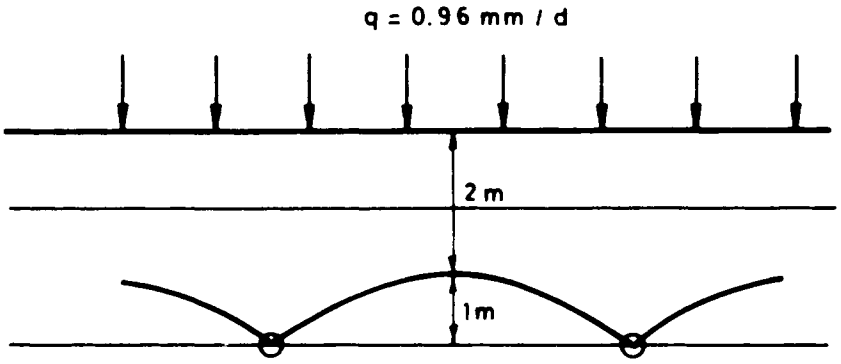
شكل ٦. تسلسل الخطوات المتبعة في حساب عمق المصارف الأفقية.



شكل ٧ . تسلسل المعلومات الأساسية التي نحتاجها في تصميم نظام الصرف الأفقي في المناطق الحضرية .



شـكل ٨ . سير الخطوات المختلفة لبرنامج الحاسب الآلي الموضوع لحساب المسافات بين أنابيب التصريف باستعمال معادلة هوجهاوت .



٧,٥ حساب المسافات بين المصارف في المناطق المدروسة

استخدم البرنامج المطور لحساب المسافات بين المصارف L في المناطق المدروسة ، وقد استخدمت المعلومات الأساسية المجمعة في المرحلتين الأولى والثانية من الدراسة والموضحة في جدول ٥ مثل معدلات الترشح q لكل منطقة ، والتي حسبت من التوازن المائي ، كما سبق ذكره ، وكذلك التوصيل الهيدرولي K ، والذي تم اختياره تبعًا لتغيره في المنطقة . فإذا كانت قيمة التوصيل الهيدرولي ثابتة تقريبًا كما هو الحال في منطقتي البوادي والروضة فقد تم اختيار قيمة واحدة في التصميم ، أما في مناطق الحمراء والرويس وكيلو ٨ فقد تم اختيار عدة قيم للتوصيل الهيدرولي ، نظرًا لتغير هذه القيم في نفس المنطقة المدروسة ، وقد قسمت هذه المنطقة إلى عدة أجزاء متشابهة في قيمة التوصيل الهيدرولي ، وتم اعتماد تلك القيم للتصميم . ويبين جدول ٦ قيم التوصيل التي استعملت في تصميم نظم الصرف في المناطق المدروسة .

كما أوضحت المعلومات المستقاة من المرحلتين الأولى والثانية من الدراسة أن عمق الطبقة الحاملة للمياه D في جميع مناطق الدراسة كبيرة ، وعليه تم الافتراض أن $D > L/4$. كما تم اختيار تخفيض منسوب المياه الأرضية a لمترين عن منسوب سطح الأرض كحل وسط . ويمكن للقارىء الكريم الراغب في المزيد من هذه المعلومات الرجوع إلى التقرير النهائي الذي قدم لمصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية[١].

٧,٦ حساب التكلفة التقريبية لبناء نظام صرف أفقي لمناطق مشابهة

أوجدت الدراسة علاقة رياضية تربط بين الأطوال الكلية لخطوط التصريف ومساحات المناطق التي تخدمها هذه الخطوط ، ومن ثم إمكانية تقدير أطوال الخطوط اللآزمة لتصريف المياه لأي منطقة مشابهة للمناطق المدروسة وبطريقة سريعة وتقريبية . ومن ذلك المنطلق فقد تم قسمة الطول الإجمالي لخطوط التصريف لكل منطقة مدروسة على مساحة تلك المنطقة L/A ، وذلك لجميع المناطق المدروسة ، وتم توقيعها على ورق رسم بياني مقابل قيم المعامل الهيدرولي K مضروبًا في قيمة الضغط الرأسي h مقسومًا على قيمة الرشح q ، أي (Kh/q) مقابل (L/A) . وقد وجد أن أنسب معادلة لربط تلك المتغيرات هي

جـدول ٥ . ملخص استهـلاك الميـاه ومعـدلات تولـد ميـاه الصرف الصـحي وارتفـاع الميـاه في مناطـق الدراسـة بمدينـة جـدة .

المنطقة		عـدد التوصيـلات للأقطـار					العدد الكلي للتوصيلات	عدد التوصيلات المكافيء لقطر ٤٠ مم	الاستعمال الكلي للمياه	التسرب من شبكات المياه		التسرب من محطـات الري			الرشـح			معـدل التغذية اليومية	
اسم المنطقة	المساحة بالهكتار	٢٥ مم	٤٠ مم	٦٣ مم	١١٠ مم	١٦٥ مم			م٣/يوم	٪	م٣/يوم	P_1	P_2	q_i م٣/يوم	عدد بيارات المياه	المساحة المساهمة في الرشح	معدل الرشح لتر/يوم م٢	م٣/يوم	م٣/يوم	ملم/يوم/م٢
البـوادي	٢٩٠	٨٤	١٦٠١	٢١	–	–	١٧٠٦	١٦٨٦	٧٢٥٠	١٥	١٠٨٨	١٧,٤	٢٥	٣٠٤	١٧٠٠	١٥	٥٥	١٤٠٣	٢٧٩٥	٠,٩٦
الروضـة	٥٨٥	٢٣٣	١٢٩٢	٧٩	–	–	١٦٠٤	١٥٧٩	٦٧٩٠	١٥	١٠١٩	٢٩,٢	٣٠	٦١٤	١٦٠٠	٢٤	٥٥	٢١١٢	٣٧٤٥	٠,٦٤
الفيصلية	٨٧٠	٢٨	١٥٤٠	٢٦	–	–	١٥٩٤	١٦١٥	٦٩٤٥	١٥	١٠٤٢	٣٤,٨	٣٠	٧٣١	١٦٠٠	٢٤	٥٥	٢١١٢	٣٨٨٥	٠,٤٥
العزيزيـة	٤٧٠	٣٠٨٠	٥٨٥٠	٥٢٠	–	–	٩٤٥٠	٨٣٤١	٣٥٨٦٥	٢٠	٧١٧٣	٩,٤	٣٠	١٩٧	٢٨٥٠	٢٠	٥٥	٣١٣٥	١٠٥٠٥	٢,٢٤
الحمـراء	٥٥٧	٥٥٧	١٨٣٥	١٧١	–	١	٢٥٦٤	٢٤٩٣	١٠٧٢٠	١٥	١٦٠٨	٢٢,٧	٣٥	٥٥٦	٢٦٠٠	٣٠	٥٥	٤٢٩٠	٦٤٥٤	١,٤٢
الـرويس	٤٤٥	١١٨٠	١٧٤٢	٧٠	–	–	٢٩٩٢	٢٣٧٦	١٠٢٩٢	٢٠	٢٠٥٨	٢٢,٢	٣٥	٥٤٥	٢٩٩٢	٢٠	٥٠	٢٩٩٢	٥٥٩٥	١,٢٦
البغداديـة	٤٦٠	٥٦٤	١٢٥٣	١٣٦	–	–	١٩٥٣	١٨١٠	٧٧٨٤	٢٠	١٥٥٧	٣٦,٨	٣٠	٧٧٣	١٩٥٠	٢٤	٥٠	٢٣٤٠	٤٦٧٠	١,٠٢
غليـل	٤٦٠	٧١٣	٦٠١٠	١٨	–	–	٦٧٤١	٦٣٣٣	٢٧٢٣٢	٢٠	٥٤٤٦	٩,٢	٣٠	١٩٣	٤٧٠٠	١٥	٥٥	٣٨٧٨	٩٥١٧	٢,٠٧
الثغـر	٣٤٥	١٠٣٩	٢٣١٩	٣٥	١	–	٣٣٩٤	٢٨١٩	١١٦٧٥	٢٠	٢٣٣٥	١٣,٨	٣٠	٢٩٠	–	–	–	–	٢٦٢٥	٠,٧٦
مدائن الفهد	٧٦٠	١١٤٦	٧٣٨	٣٥	–	–	١٩١٩	١٢٧٢	٦٦٠١	٢٠	١٣٢٠	٤٥,٦	٣٠	٩٥٨	٨٠٠	٢٠	٥٥	٨٨٠	٣١٥٨	٠,٤٢
كيلو ٨	٢٥٠	٣٠٦	١٤٨	١٧	–	–	٤٧١	٣١٠	١٦٢٠	٢٥	٤٠٥	٢٥,٠	٣٠	٥٢٥	٣٧٠	١٢	٥٥	٢٤٤	١١٧٤	٠,٤٧

P_1 = مساحة المنطقة المروية بالهكتار .

P_2 = النسبة المئوية لكمية مياه الرشح / كمية مياه الري .

q_i = حسبت على أساس معدل مياه الري بعد التبخر = ٠,٠٠٧ م٣ / م٢ . يوم .

$q_i = 0.007 \times P_2 \times P_1$

جـــدول ٦ . قيم التوصيل الهيدرولي التي استعملت في تصميم نظم الصرف في بعض المناطق المدروسة .

مناطـــــق الدراســـــة	التوصيـــل الهيـــدرولي K (م / يـوم)
البـــــــوادي	١,٠
الروضـــــــة	١,٠
الحمـــراء و الرويس	٢,٠ - ٠,٧
كيـــــلو٨	٠,٧ - ٠,٤

$$L/A = 53.25 - 0.585 \left(\frac{Kh}{q} \right)^{0.5} \qquad R^2 = 0.91$$

حيث L = مجموع أطوال خطوط التصريف في كل منطقة من مناطق الدراسة .

A = مساحة المنطقة المتضررة .

K = التوصيل الهيدرولي للتربة .

h = الضغط الرأسي .

q = معدل الرشح .

R^2 = معامل الانحدار الخطي .

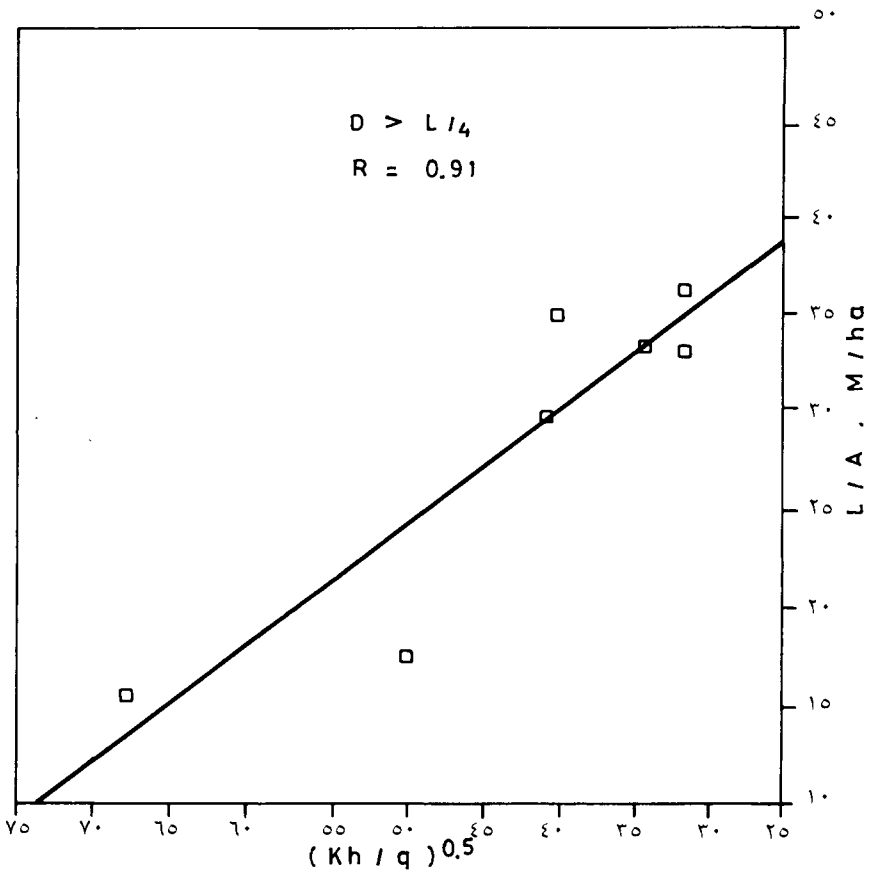
وبمعـرفة أطوال خطوط التصريف ومتوسط تكلفة المتر الطولي يمكن معرفة التكلفة التقريبية لبناء نظام الصرف الأفقي . وبالفعل فقد استخدمت هذه المعادلة لإيجاد التكلفة التقريبية لمناطق أخرى لاتشملها الدراسة استعدادًا للكتابة إلى الجهات المسؤولة لاعتماد المبالغ اللازمة . ويوضح شكل ٩ العلاقة بين طول خط التصريف والمساحة التي يخدمها .

٨ . التوصيـــــــات

١ - الإسراع في تكملة تنفيذ شبكة الصرف الصحي في مدينة جدة والبدء بالمناطق التي يقترب فيها منسوب المياه الأرضية من سطح الأرض . واعتبار نظام الصرف الأفقي حلاً مؤقتًا وليس حلاً جذريًا للمشكلة .

٢ - المحافظة على شبكة آبار الملاحظة وإضافة آبار أخرى لتغطي جميع مدينة جدة كي يتم من خلالها مراقبة معدل ارتفاع منسوب المياه الأرضية .

٣ - تطبيق بعض أسـاليب الـترشيد في استعـمالات المياه المنـزلية وكبـح جماح الزيادة المضطردة في



شـكل ٩ . العلاقـة بين طـول خـط الصرف والمساحـة التي يخدمهـا .

استعمالات المياه ، وذلك ضمن خطة عامة لتحسين وتطوير طرق استعمالات المياه .

٤ - يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار قياس ومراقبة الهبوط في التربة في المناطق التي ينفذ فيها المشروع ، وذلك عن طريق الخبراء ومن لديهم خبرة كافية بتربة المناطق المدروسة .

٥ - مراقبة نوعية المياه الأرضية المنصرفة ، وذلك بهدف منع أي آثار جانبية على البيئة البحرية من حيث النواحي الجمالية أو النواحي الصحية .

٦ - يستحسن قياس كميات المياه المنصرفـة إلى البحـر من خلال عدادات تركب على المصـارف الرئيسة ، وذلك لأي دراسات مستقبلية .

٧ - التأكد من صلاحية المياه المستخدمة في ري الحدائق العامة والمناطق الخضراء ، وعدم ريِّها بالمياه

الآسنة (مياه البيارات) غير المعالجة .

٨ - تقنين وتحديد كميات المياه المستخدمة في ري المناطق الخضراء والحدائق العامة ، وذلك حسب الحاجة فقط ، حيث لوحظ أن كميات المياه التي تسقى بها الحدائق العامة أكثر من الحاجة الفعلية لها ، وربما يعود ذلك إلى الرغبة في التخلص من تلك المياه وليس بغرض السقيا فقط .

٩ - صيانة شبكات المياه وشبكات الصرف الصحي بطرق دورية ، وليس فقط عند حدوث أي عطل أو كسر . ويُعتقد أن كميات المياه المتسربة أكثر مما هو مدون بالوثائق الرسمية في الجهات المعنية ، حيث إن تلك المعلومات ، في غالب الظن ، أرقام تقديرية .

المـراجـــــــع

[١] **أبـو رزيـزة ، عمـر سراج ؛ وفا ، فيصل فؤاد ؛ شحاتة ، صبري أحمد ؛ سريكايا ، حسن ظهوري ؛ الزيدي ، أياد عبـدالمجيـد ؛ بهائي ، محمد شريف ؛ أرتورك ، فروح** ، دراسة تخفيض منسوب المياه الأرضية لمدينة جـدة ، التقرير النهائي ، مصلحة المياه والصرف الصحي بالمنطقة الغربية (١٩٩٠م) .

[٢] **إدارة وتشغيل وصيانة مياه مدينة جـدة** ، التقارير الشهرية الأعداد ٢٠-١٢٠ ، وزارة الزراعة والمياه ، جـدة (١٩٨٢-١٩٩٠م) .

[٣] **أبو رزيزة ، عمر سراج ؛ علام ، محمد نصر الدين ؛ بصمجي ، يعقوب ؛ خان ، محمد ذوالفقار ؛ عبد الرزاق ، محمد جميل ؛ و بخاري ، عاصم يحيى** ، مصادر المياه في المنطقة الغربية من حيث الموقع والأمكان وإعادة الاستعمال ، التقرير النهائي ، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية ، الرياض (١٩٩٠م) .

[٤] **Hooghout, S.B.,** Bijdragen tot de kennis van enige naturkundige grootheden van de grond, no. 7, rersl, *Landbouwk, Onderz.* **46:** 515-707 (1940).

[٥] **Ernst, L.F.,** *Het Berekenen van stationaire groundwater stormingen welke in een vertikaal vlak afgebecld kunnen worden,* Rapport Bodemk, 1st. Groningen (1954).

Subsurface Drainage System, A Temporary Solution to Control the Groundwater Table in Urban Areas

OMAR SERAJ ABU-RIZAIZA
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia

ABSTRACT. The phenomenal growth of the water use and the absence of a comprehensive sewerage system in Jeddah city has resulted in the rise of the groundwater table. This groundwater table rise caused several environmental, economical and social problems such as, inundation of low-lying areas, flooding of basements of houses, deterioration of roads and highways and foundations of buildings, contamination of soils, offensive smells, and breeding of mosquitoes. This paper suggests a subsurface drainage system to control the groundwater table as a temporary solution till the sewerage system is completed. The basic steps of the design of subsurface drainage system are discussed. A knowledge-based computer program which was developed to design the system, is explained in the paper.