تقييم الأثر البيئي لاستخدام ماء الصرف الصحي على التربة: سهل السواد الفيضي محافظة ذمار.

Environmental Quality Control: The Effect of Sewage Use in Irrigation on Soil: Swat Flood Plain, Thamar Province.

مقدمة:

يهدف البحث إلى دراسة و تقييم الأثر البيئي لاستخدام ماء الصرف الصحي على أنواع التربة. والبحث هو دراسة حالة وادي السواد – محافظة ذمار. ولعله من نافلة القول أن لماء الصرف الصحي تأثيراً سلبياً على أنواع التربة، و ذلك مما يوحي بأن هدف البحث هو دراسة الآثار السلبية للاستعمال غير المرشد لماء الصرف الصحي غير المعالج في الإنتاج الزراعي.

- **خلفية الموضوع:**

ماء الصرف الصحي:

يعرَّف ماء الصرف الصحي بأنه جميع أنواع المياه المبتذلة الناجمة عن مختلف الفعاليات المنزلية والتجارية والصناعية. وتتعدد مصادر الصرف الصحي، فهناك الصرف المنزلي، والصرف الصناعي، والصرف التجاري، وصرف مياه التساقط المطري و غيره ... الخ. ويتكون ماء الصرف غالبا من المواد العضوية السائلة بصورة أساسية من الحمامات، المطابخ، الأحواض التي يتم التخلص منها عن طريق مواسير الصرف. كما أنه في مناطق كثيرة تضم مياه الصرف أيضا المخلفات السائلة من المصانع والمناطق التجارية (فؤاد القدسي، ٢٠١٠). والجدول أدناه يوضح أهم مكونات ماء الصرف الصحي.

جدول رقم (١): أهم مكونات ماء الصرف الصحي مقارناً بالماء العادي (لا يوجد ماء نقي ١٠٠%):

الخاصية	المواد العضوية (*BOD*)	(*COD*)	المواد الصلبة الكلية (*TS*)	العوالق الصلبة (*SS*)	الفسفور الكلي (*TP*)	النتروجين الكلي (*TN*)	الرقم الهيدروجيني (*pH*)
درجة التركيز ($mg\ L^{-1}$) صرف صحي	٢٥٠	٥٠٠	٧٥٠	٢٢٠	٨	٤٠	٦,٨
ماء عادي	--	--	١٧,٣	٨,١	١,٨	٨,٦	١,٢٥

المصدر: مصادر مختلفة.

ومما ورد في الجدول يمكن تصنيف ملوثات ماء الصرف الصحي المؤثرة على أنواع التربة كما يلي (لقدسي، ٢٠١٠):

١. **الملوثات البيولوجية: وهي إما** أن تكون بقايا الحيوانات الميتة أو الكائنات الدقيقة و الصغيرة: وهي توجد عادة في المياه وأنواع التربة وبعضها يعدُّ ضاراً مثل الجراثيم والديدان.

٢. **الملوثات الكيميائية:** وهي من أخطر عناصر التلوث حيث يصعب التخلص من قسم كبير منها بعمليات المعالجة التقليدية. وتنحصر هذه الملوثات في الأصناف التالية:

- **المواد العضوية :** وهي المواد الناجمة عن فضلات الطعام والصناعات المختلفة ومن أهم هذه المواد : الكاربوهيدرات (*Carbohydrates*): وتتمثل في الدسم (*Grease*)، الزيوت، الشحوم، المبيدات الحشرية، البروتينات.
- **المواد اللاعضوية:** وتنجم عن بعض المركبات الكيميائية اللاعضوية ومنها: القلوية، الكلوريدات، المعادن الثقيلة، النتروجين، الفسفور، الكبريت.
- **الغازات:** وتنجم عن بعض التفاعلات البيوكيميائية ومنها كبريتيد الهيدروجين – الأمونيا والميثان .

٣. **الملوثات الصلبة (فيزيائية):** وهي الملوثات التي يمكن إزالتها بعمليات بسيطة كالترسيب ومن أهمها (الرمال والحصى الناعمة) وهذه الملوثات لا تتسبب عادة في أية أضرار بيئية.

٤. **الماء:** و هو يشكل ٩٩,٩٪ من مكونات ماء الصرف الصحي، في حين تشكل الملوثات ما نسبته ٠,١ ٪ من جملة مكونات ماء الصرف الصحي.

معالجة مياه الصرف الصحي:

هي عملية تنقيه مياه الصرف من الشوائب والمواد العالقة والملوثات والمواد العضوية لتصبح صالحة لإعادة الاستخدام (غير الآدمي) أو لتكون صالحة للتخلص منها في المجاري المائية دون أن تسبب تلوثا لها. تشمل عملية معالجة الصرف الصحي على عدة مراحل، فيزيائية وكيماوية وبيولوجية. ولكن يمكن لماء الصرف الصحي أن تكون له تنقية ذاتية (طبيعية)، وذلك إذا تم وفق الخطوات التالية (إسلام و عمارة، ٢٠٠٦):

١. وجود المستوى الطبيعي من الأكسجين المذاب في الماء لأكسدة المخلفات العضوية من خلال التفاعلات الهوائية الميكروبيولوجية.
٢. تحوُّل هذه المخلفات إلى مركبات عضوية و غير عضوية بسيطة؛ ويتحول الأكسجين إلى ثاني أكسيد الكربون.
٣. يقوم ثاني أكسيد الكربون- في وجود ضوء الشمس- بعمليات التمثيل الضوئي لينتج الأكسجين مرة أخرى في الماء.
٤. تتوقف هذه العملية إذا تكونت كميات كبيرة من المواد العضوية مما يعني زيادة تعكر في الماء، وهذا يعيق عملية التمثيل الضوئي. ويحدث ذلك غالباً في وجود محطة تنقية تقل قدرتها عما هو مطلوب. كذلك فإن ارتفاع نسبة الفسفور الكلية يوفر كميات كبيرة من الغذاء للكائنات الحية الميكروبيولوجية، ويؤدي ذلك إلى تكاثر الطحالب ونمو متزايد لأغلب النباتات المائية.

و لهذا السبب الأخير تتم معالجة ماء الصرف الصحي، بحيث يكون غرض المعالجة الرئيس هو تخفيض معدلات وجود مكونات ماء الصرف الصحي المذكورة في الجدول رقم (١) أعلاه بحيث لا يزيد معدلها عن ١٥ ($mg\ L^{-1}$) في حالة المواد العضوية، ولا عن ١٥($mg\ L^{-1}$) في حالة المواد الصلبة، ولا عن ١($mg\ L^{-1}$) في حالة الفسفور الكلي، مثلا.

مراحل المعالجة (الشكل رقم ١):

تتم هذه المراحل عبر معالجات فيزيائية وكيميائية و بيولوجية إما بالتتابع و إما بالتوازي. وللمعالجة ثلاث مراحل رئيسة، وهي المرحلة الأولية: والمرحلة الثانوية: والمرحلة الثالثة: يتم، وفق هذه المراحل، بأن تفصل أولا المواد الصلبة عن مياه الصرف السائلة، ثم تحول المواد العضوية الذائبة في المياه إلى مواد صلبة تدريجيا عن طريق ميكروبات دقيقة تتولد في المياه. في المرحلة الأخيرة يتم التخلص من المواد الصلبة البيولوجية أو يتم إعادة استخدامها ويمكن عندها تطهير المياه كيميائياً أو فيزيائياً. وبعد الانتهاء من هذه المراحل جميعها يتم ضخ المياه المعالجة علاجاً جيداً إلى أي مجرى مائي أو نهر، ومن الممكن أيضا استخدامها في زراعة الغابات الخشبية، وملاعب الجولف، والحدائق العامة، كما إنه يمكن ضخها تحت الأرض لإعادة تغذية خزان المياه الجوفية.

مرحلة ما قبل المعالجة:

تضم مرحلة ما قبل المعالجة تنقية وتنظيف المياه من الصخور والرمال عن طريق التحكم في سرعة مياه الصرف حتى تصل لسرعة تسمح بترسب الصخور الصغيرة والرمال في القاع مع إبقاء غالب المواد العضوية العالقة في مجرى المياه. ومن المهم إزالة الرمال والزلط والصخور الصغيرة مبكرا لتجنب الإضرار بمعدات المحطة من مضخات ومعدات.

المرحلة الأولية:

وهي المعالجة الفيزيائية، بحيث يتم قبل المعالجة عمل نوعين من المعالجة المبدئية أو التنظيف المبدئي للمياه عن طريق إزالة الزيوت والشحوم والدهون، الرمال والصخور والزلط، كما يتم حجز المواد العائمة الكبيرة (مثل الفوط الصحية وقطع القماش التي تم التخلص منها في مواسير الصرف الصحي). إلا أنه، في محطات المعالجة الحديثة، توضع شاشة (مصفاة) يتم التحكم فيها عن بعد ويكون دورها هو حجز هذه المواد الصلبة وفصلها عن باقي المياه، أما المحطات الأقدم فيوجد بها مصافٍ يدوية.

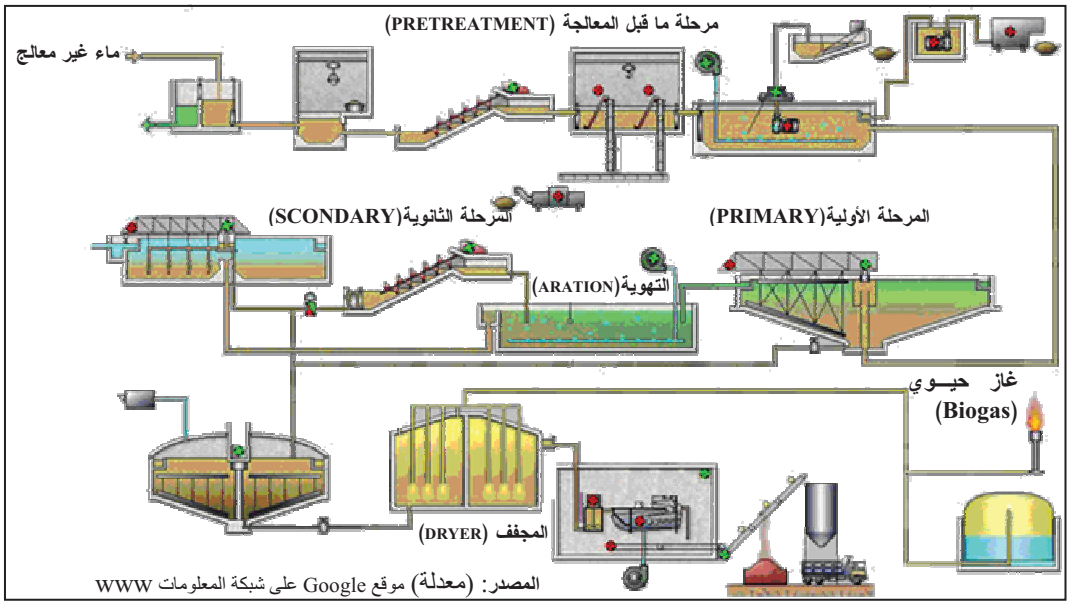
المرحلة الثانوية (التصفية):

و هي مرحلة الحمئة المنشطة (*Activated Sludge Plant-ASP*) تمر مياه الصرف على مصافٍ قبل معالجتها لإزالة كل المواد الصلبة والعائمة والتي دخلت إلى مياه الصرف، مثل القطع الخشبية، الفوط، العلب المعدنية، الخ.. يتم تصفية المياه من هذه الشوائب عن طريق مصفاة أوتوماتيكية أو يدوية. تستخدم مصافٍ بها قضبان وبينها مسافات صغيرة تمنع مرور أية مواد صلبة كبيرة قد تتلف أو تتسبب في عطل أجهزة معالجة المياه بعد ذلك.

المرحلة الثالثة: تنقية المياه من الرمال والصخور:

وهي مرحلة الترسيب. يكون هناك في بعض الأحيان ما يسمى "مغسلة الرمل" وهي المرحلة التي يتلوها ناقلة تنقل الرمل إلى مكان يمكن إعادة استخدامه فيه، ولكن غالبا ما يتم التخلص من الرمال والصخور عن طريق إلقائها في مدفن قمامة.

الشكل (رقم ١): مراحل معالجة مياه الصرف الصحي في محطة معالجة نظرية



و بسبب عدم قدرة محطة المعالجة في ذمار على استيعاب ومعالجة كل الماء الوارد إليها من المدينة، لم تستطع هذه المحطة استيفاء كل هذه المراحل من المعالجة. لذا يخرج الماء من المحطة إما نصف معالج، وإما ناقص المعالجة أو غير معالج ليستعمله الفلاحون في إنتاج المحاصيل(مجلس حماية البيئة، ٢٠٠٨). وهذا ما تسبب في مشكلات أنواع التربة التي يقوم البحث بدراستها.

منطقة البحث: الصفة الجغرافية، وخصائص أنواع التربة:

جغرافياً، تقع منطقة البحث في وسط الجمهورية اليمنية، في محافظة ذمار. وتعدُّ هذه المنطقة جزءاً من سهول المرتفعات الوسطى المنبسطة التي تحيط بها من جانبيها الشرقيّ و الغربيّ الهضاب و المرتفعات البركانية. وتغطي هذا السهل مقذوفات الحمم البركانية التي يرجع أصلها إلى العصر الثلاثي، إضافة إلى المواد الرسوبية التي تكونت بفعل التعرية الريحية و المائية في الزمن الرباعي (الانبعاوي و الخرباش، ١٩٩٦). ووفقا

لما برز في الخريطة الجيولوجية لليمن (Robertson, ١٩٩١) يوضح الجدول رقم (١) أدناه المساحة التي تغطيها هذه الرواسب و أشكال السطح الأخرى:

مساحة أشكال الخصائص السطحية و الجيومورفولوجية في منطقة البحث:

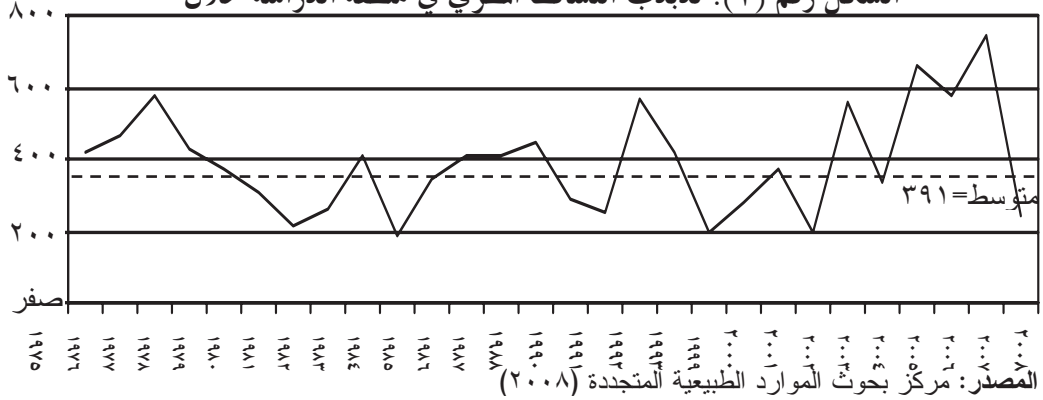
نوع الرسوبيات أو الطبقة السطحية	مساحتها (كلم٢)
مقذوفات الحمم البركانية (مقذوفات بازلتية)	٢٠,٧٠
الرماد البركاني و التوفا	١٣,١٠
طبقة صخرية	٢,٨٠
خليط الرمل القديم و اللويس	٠,٦٥
تراكيب صخرية و رسوبيات أخرى متنوعة	٠,١٧
المجموع	**٣٧,٤٢**

المصدر: Robertson, ١٩٩١, p. ١

وتعد المنطقة جافة من الناحية المناخية، حيث تنطبق عليها خصائص الأقاليم الجافة، وهي (الحفيان، ٢٠١٠):

١. قلة التساقط حيث بلغ متوسطه خلال الفترة ١٩٧٥- ٢٠٠٨ ما مقداره ٣٥٠,٩ ملم فقط.
١. تفوق معدل التبخر السنوي (٢٠٠٠ ملم) على معدل التساقط السنوي (٣٥٠,٩ ملم). وهذا يعني سيادة النقص المائي في الموازنة المائية الطبيعية (*Natural Water Balance*).
٢. تذبذب التساقط زماناً و مكاناً. فقد تراوح المعدل السنوي بين ١٨١ في أدناه و ٦٠٠ملم في أقصاه (الشكل رقم ٢).
٣. فقر المنطقة البيئي من الناحية النباتية و من حيث التنوع الحيوي.

الشكل رقم (٢): تذبذب التساقط المطري في منطقة الدراسة خلال

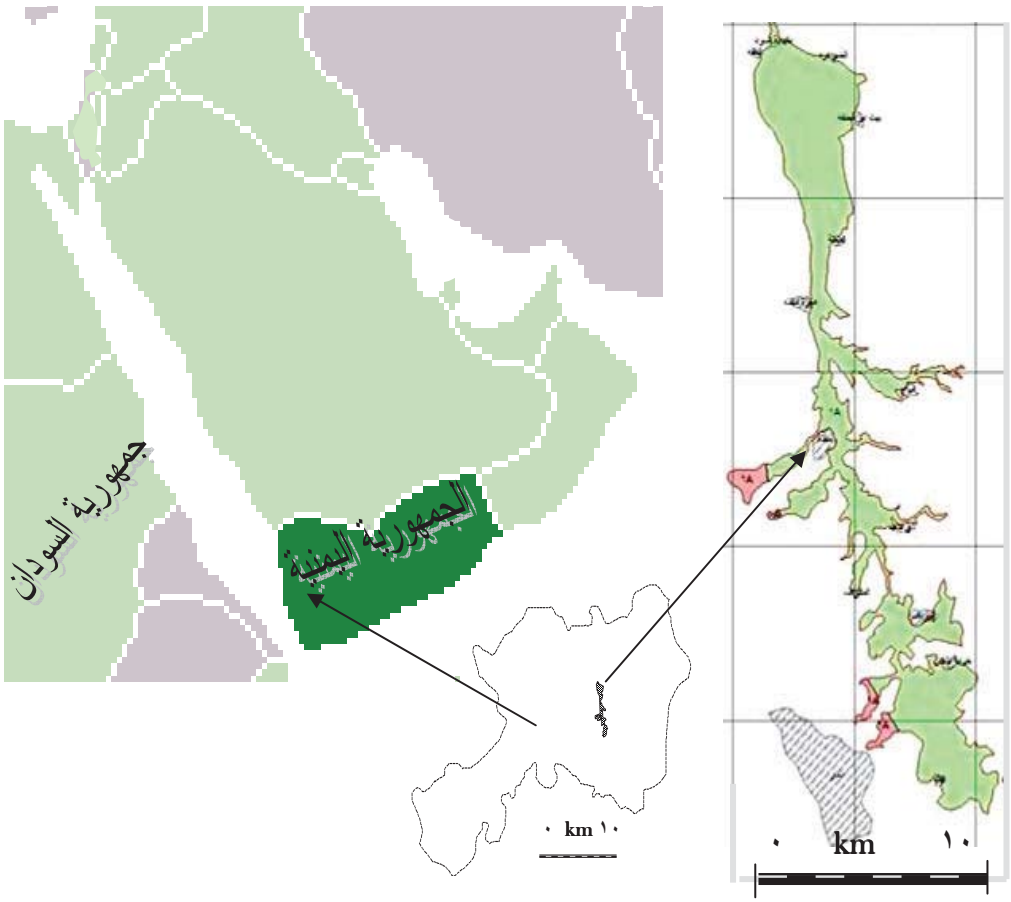


المصدر: مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة (٢٠٠٨)

تعتبر الزراعة، بشقيها المحصولي و الحيواني، سبيلاً رئيساً لكسب العيش في المنطقة. وينتج الفلاحون الحبوب مثل القمح و الشعير و الذرة بأنواعها، والخضر مثل الطماطم و البصل و البطاطس و الكوسة و العدس، ومعها الفواكه مثل المشمش. كما تربى الحيوانات مثل الماعز و الضأن، و بعض الحيوانات الأخرى مثل الحمير، و لذا ينتج البرسيم كمحصول علف.

كما يوضحه (الشكل رقم ٣)، يقع سهل السواد الفيضي شمال شرق مدينة ذمار، حيث تبلغ مساحة هذا السهل ٣٧,٤٢ كلم٢. وقد شكل جريان وادي المواهب، الذي يبلغ طوله حوالي ٢٤ كلم، وسط السهل مصدرا طبيعيا لتكوين أنواع التربة الرسوبية في وسط وجانبي السهل الفيضي، علاوة على ما أضافته الترسبات الريحية (البلايستوسينية) في الزمن الرباعي الحديث- عصر الفانيزوزويك. فقد أفضى الترسيب الريحي إلى نوعين من الرسوبيات: أولهما الرماد البركاني، مع ما يوجد به من التوفا (*Tufa*)، وهي عبارة عن ترسبات جيرية ترتبط بأعالي الأودية. و ثانيهما خليط الرمل و اللويس، وهي شبيهة بما يسمى بالجدافر التي درسها (Laidmair, ١٩٦٢)، وأرجعها إلى أصل مفتتات عالقة شبيهة باللويس الأصلي، ويفرِّقها عنه كبر أقطار ذراته التي يبلغ متوسطها ٠,١١ ملم مقارنةً باللويس الأصلي الذي يبلغ فقط ٠,٠٥ ملم.

الشكل رقم (٣): موقع منطقة الدراسة



وصف أنواع التربة في منطقة البحث:

العامل الطبيعي هو أهم عوامل تكوين أنواع التربة في منطقة البحث، حيث لا دور يذكر هنا للإنسان، إلا تدخله في عمليات تشكيل أنواع التربة أو تغيير خصائصها. ومن أبرز عوامل تكوين أنواع التربة وتحديد خصائصها عامل الجفاف حيث الميزان المائي خاسر، لذا سيطر نوع التربة اللاغسلية بجانب النوع الشعري المسامي. ولولا جريان وادي المواهب في المنطقة لغاب النوع المائي (المغدق) من أنواع التربة. وبحكم هذه الخصائص للتربة، غابت أو ضعفت عمليات غسل أنواع التربة وعملية هجرة المواد في أفق أنواع التربة. و هذا هو السبب الذي أدى إلى عدم تطور أنواع التربة في معظم أنحاء السهل الفيضي، وإن كان من الطبيعي غياب أنواع التربة كاملة الأفق (المتطورة) في

حالة السهول الفيضية الرسوبية (الحفيان، ٢٠٠٤). وفيما يلي أهم خصائص أنواع التربة في منطقة الدراسة:

لون أنواع التربة:

لا شك أن لون أنواع التربة هو انعكاس لمكوناتها. ولا يختلف لون أنواع التربة كثيراً في المقاطع (*Soil Profiles*) التي تمت دراستها في مختلف مواقع منطقة البحث، باستثناء القليل من التباينات. فقد لوحظ أن أنواع التربة الثقيلة القوام تكون داكنة اللون أكثر من أنواع التربة خفيفة القوام، كما أن أنواع التربة الرطبة تتميز بلونها البني الغامق مقارنا باللون البني الفاتح في أنواع التربة الجافة. كما يتفاوت اللون في الأفق التحتية، على الرغم من ملاحظة اللون البني المحمر و البني الغامق.

عمق أنواع التربة:

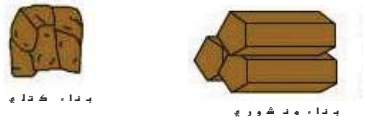
يتفاوت عمق أنواع التربة في منطقة الدراسة بتفاوت نشاط عمليات الترسيب الريحي و المائي. إلا أن عمق أنواع التربة يكون في حدود ١٥٠ سم، رغم أنها تكون عميقة في وسط السهل الفيضي و أقل عمقا في أطرافه. وتجدر الملاحظة هنا إلى أن التكوينات الحصوية تغيب في أنواع التربة العميقة، مع وجود بعض الترسبات الجيرية و الملحية.

قوام أنواع التربة:

القوام السائد في منطقة الدراسة هو الرملي الطيني السلتي و الطيني. إلا أن هناك بعض الأفق التي قوامها سلتي رملي و طيني سلتي.

بناء أنواع التربة:

هو نتاج عمليات التخثر (*Flocculation*) التي ينتج عنها النمط الذي تتجمع به حبيبات أنواع التربة، أو مفتتاتها بعد الحرث. وتكمن أهمية البناء في أنه يحدد مسامية أنواع التربة. أما بالنسبة لتربة منطقة الدراسة وبناء على التحليل المختبري، فهي ذات القوام المتوسط والناعم وبناء كتلي (blocky) الشكل أما الطبقة السوداء المدفونة فهي ذات بناء منشوري (*prismatic*) (الشكل رقم٤).



الشكل رقم (٤): أهم أشكال بناء أنواع التربة في منطقة البحث

الخصائص الكيميائية للتربة:

بحسب ما أوضحه (Thompson, ١٩٥٧) كان من المتوقع أن يكون محتوى الفسفور(*P*) الكلي في مثل تربة هذه المناطق الجافة في حدود ٠,١٥٪ إلا أن هذه النسبة ارتفعت في منطقة الدراسة بحيث تراوحت بين ٠,١٨٪ و ٠,٣٤٪، على الرغم من أن أنواع التربة في عموميتها من النوع الرسوبي.

• كربونات الكالسيوم ($CaCO^3$):

تُعدُّ معظم أنواع التربة في المنطقة تربة جيرية (تكلسية)، حيث يوجد الكلس في آفاق أنواع التربة بأشكال مختلفة (خيطية, أغشية, بقع مستديرة وطبقات إسمنتية) إلا أن مستويات كربونات الكالسيوم تختلف من مكان إلى آخر في الطبقات السطحية وتحت السطحية (حيدر, ٢٠٠٥). تتراوح نسبة كربونات الكالسيوم في أنواع التربة بين ٤,٢٥٪ و ٢٢٪.

• درجة حمضية وقلوية أنواع التربة(pH):

الرقم الهيدروجيني pH متقارب ويتراوح مابين ٧,١ –٨,٢ ويدل على كونها تربة متوسطة أو متعادلة القلوية، وهو مؤشر لحالة الخصوبة في أنواع التربة فإذا ارتفع هذا الرقم يؤثر سلباً على إمكانية استفادة النبات من العناصر الغذائية المتوفرة فيها وخاصة الفسفور والحديد و المنغنيز، حيث إن القيم للرقم الهيدروجيني من ٦- ٧ هي القيم الأنسب لاستغلال العناصر الغذائية من قبل النبات ومع هذا تختلف النباتات عن بعضها بعضاً في هذه الخاصية.

• درجة التوصيل الكهربائي (EC):

تعتبر درجة التوصيل الكهربائي مؤشرا واضحا للمقادير الكلية للأملاح الذائبة في أنواع التربة، واستناداً إلى تصنيف المركز الأمريكي لدراسة الأراضي المالحة فإن أنواع التربة التي لها درجة توصيل كهربائي بين صفر و ٢٠٠٠ مايكرو موز/سم) يعد محتواها منخفضاً من الأملاح، وقد وجد في منطقة الدراسة أن درجة التوصيل الكهربائي أقل من ٢٠٠٠ مايكرو موز/سم) في الطبقات السطحية وتحت السطحية، وذلك بناء على التحاليل المختبرية للعينات المجمعة، أما في المنطقة التي تروى بماء الصرف الصحي

فقد بلغت أعلى من ٢٠٠٠ مايكرو موز/سم) وهذا يدل على أن ارتفاع الملوحة كان بسبب ماء الصرف الصحي.

•المادة العضوية (حالة الخصوبة- Organic Matter):

من خلال التحاليل المعملية لعينات أنواع التربة المجمعة من منطقة الدراسة، أتضح أن نسبة المادة العضوية في أنواع التربة منخفضة في مواقع متعددة حيث وصلت قيمها إلى ١٪ أو أقل من ذلك في الأجزاء الجنوبية والوسطى من منطقة الدراسة و التي تشمل وادي المواهب ووادي مدافع ووادي الصلة، كما ارتفعت قيم المادة العضوية إلى المستوى العادي في ثلاثة مواقع فقط حيث وصلت مابين ٢.٨٪ و ٣٪.وهي في الأجزاء الشمالية لمنطقة الدراسة والتي تشمل منطقة قاع السواد (القدسي، ٢٠١٠).

تصنيف أنواع التربة:

قام (Acres, ١٩٨٠) بتصنيف أنواع التربة في منطقة الدراسة وفق أسس التصنيف الأمريكي (Soil Survey Staff ١٩٩٤) الذي أوجده ماربت (Marbet, ١٨٨٥). استند هذا التصنيف على الأسس التالية:

١. القوام و العمق.
٢. الصرف السطحي للمياه.
٣. الأفق الجيري و الملوحة و القلوية.
٤. التشقق.
٥. اللمعان للآفاق تحت السطحية.

وعلى مستوى عموم منطقة البحث، صنفت أنواع التربة إلى نوعين هما:

١. **رتبة أنواع التربة الجافة** (*Aridisols*):

هي من أنواع التربة الأكثر انتشاراً في العالم حيث تمثل ٢٠٪ من تربة الكرة الأرضية. وهي أنواع التربة التي تقع ضمن السهول الجبلية، و تنتج هذه أنواع التربة من الترسبات المائية (*Alluvium*)، وتحتوي على بعض الطبقات التكلسية

التي تكونت نتيجة تسرب المياه، وقد تكون هذه الطبقات متصلبة أو غير متصلبة. كما أن أفقها (B) متطور بسب الهجرة الطينية في الفترات المناخية الرطبة.

٢. رتبة أنواع التربة الحديثة: (*Entisols*):

لقد لوحظ بأن النمط السائد في ظروف تكوين هذا النوع من التربة ناتج أيضاً عن الترسبات المائية.Alluvium وهي بالطبع تختلف في خصائصها عن رتبة أنواع التربة الجافة.

وبناءاً على هذا التصنيف تمت تسمية سلاسل أنواع التربة في المنطقة بحيث تمت التسمية على المنطقة التي وجدت فيه كل سلسلة لأول مرة –كما يقول (القدسي، ٢٠١٠، ص ٤٩). و السلاسل هي (الشكل رقم ٥):

١. **تربة الطلبة** (*AB*): ذات أصل مائي ترسبي، و طبقاتها مختلفة القوام الذي يتباين في الطبقات السطحية بين الطمي و الطمي الغريني، وبين الطمي الطيني و الطمي الطيني السلتي في الطبقات التحتية. تحوي ٥٪ كالسيوم.

٢. **تربة** بني **فلاح** (*BH*): تربة رسوبية عميقة وجيدة الصرف. قوامها يتراوح بين الطمي و السلت و الرمل، و إن كانت نسبة السلت أكثر من ٤٠٪.

٣. **تربة جهران** (*JN*): تربة رسوبية عميقة وجيدة الصرف، و تصنف من نوع القوام الطيني. تتباين نسبة المادة العضوية بين طبقاتها حول ١٪. وتحوي نسبة عالية من الماغنيسيوم بشقيه المتبادل و الذائب، كما توجد بها أفق كربونات الكالسيوم (الجير) بنسبة تتراوح بين ٣٠- ٧٠٪. تعلو هذا الأفق طبقات ذات لون بني وبني داكن.

٤. **تربة يفع** (*YF*): تربة ذاتية المنشأ، جيدة الصرف. تحتوي على أفق جيري، و قوامها السطحي طمي و التحتي طمي طيني. تحوي نسبة عالية نسبياً من المادة العضوية مما يميزها بالقدرة على الاحتفاظ بالرطوبة.

٥. **تربة ماريز** (*MS*): تربة عميقة رسوبية جيدة الصرف غير عميقة التشقق. وهي تربة متطورة و ذات بناء جيد. قوامها عموما هو طمي خشن. إلا أن قوامها السطحي بين (طميي طيني سلتي) و(طميي سلتي)، والتحت سطحي بين (طيني) و(طيني سلتي) و(سلتي طيني). بدأت تظهر فيها الملوحة و القلوية.

تشقق تربة ماريز

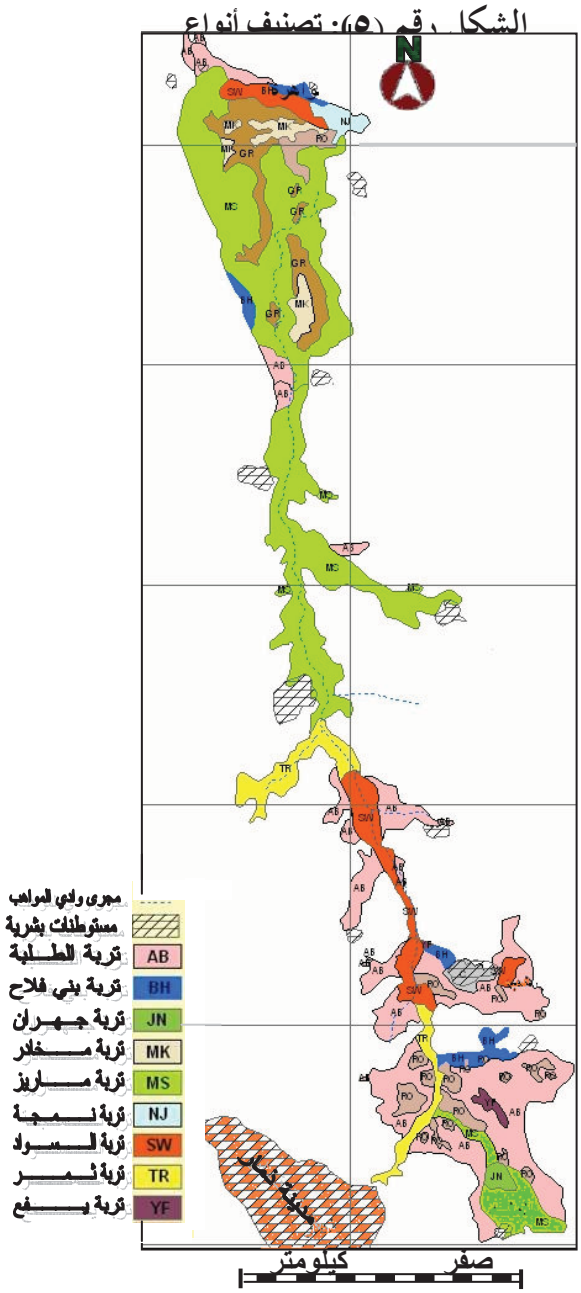
٦. **تربة السواد** (*SW*): تربة رسوبية رديئة الصرف الطبيعي. وبسبب ارتفاع مستوى الماء الجوفي تكون رطوبتها مرتفعة طول السنة. يؤشر ارتفاع الرقم الهيدروجيني (٨,٥) إلى أنها تربة ملحية وتحتوي على نسبة عالية من الصوديوم و من الجير الذي تصل نسبته إلى ١٥٪ و يظهر على شكل حبيبات.

٧. **تربة مخادر** (*MK*): تربة لا تختلف في نشأتها عن بقية سلاسل أنواع التربة في منطقة البحث، إلا أن ترسباتها تظهر في شكل طبقات متراكمة، على الرغم من احتوائها على الحصى و الحجارة.

٨. **تربة النمجة** (*NJ*): تربة أقرب للشبه بتربة السواد بسبب رطوبتها المرتفعة، مع وجود مكونات من الصوديوم و الملح، إلا أنها تحوي أفقاً طينياً وسبب رطوبتها كونها رديئة الصرف.

٩. **تربة ثمر** (*TR*): تتداخل في صفاتها مع عدة ترب أخرى أهمها السواد و النمجة و مارز.

الشكل رقم (٥): تصنيف أنواع

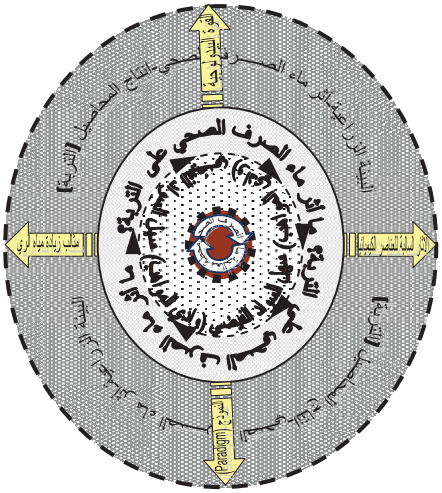


المصدر: القدسي، ٢٠١٠،

منهجية البحث و أدواته:

استنادا على الحقيقة التي تقول أن الجغرافيا هي علم البيئة البشري (*Human Ecology*)، و من حيث التناول (*Approach*)، تم التحليل و النقاش في موضوع البحث. وقد اعتمد البحث بدرجة أساسية على المعلومات الحقلية التي جمعت من العمل الميداني. وبما أن موضوع البحث هو دراسة حالة أنواع التربة تحت تأثير استخدام ماء الصرف الصحي في الإنتاج الزراعي، فقد تم التعامل مع المعلومات الحقلية من حيث جمعها و تحليلها على النحو التالي:

١. ورقة الملاحظة (*Observation Sheet*) لتدوين الملحوظات والقياسات الحقلية و المعلومات الشفهية من المعنيين بالأمر.
٢. الفحص الحقلي: وقد تمت ملاحظة حالة أنواع التربة كما يلي:
   - مصدر الري و حالة الصرف.
   - حالة النباتات (المحاصيل) النامية.
   - قطاع أنواع التربة: الوصف العام، تحديد خصائص الأفق المختلفة، التطور و اتجاهه.
٣. التحليل الكيمائي:
   - قياس مدى (كمية) تلوث أنواع التربة بمكونات ماء الصرف الصحي.
   - قياس مدى (كمية) العناصر اللازمة لنمو النبات في أنواع التربة، وتأثير نقصها أو زيادتها.
٤. كشف الكائنات الدقيقة في أنواع التربة:



التحليل: أنواع التربة و تلوثها و تدهورها:

أولاً: التأثيرات الكيميائية (تلوث أنواع التربة):

لا شك أن أوضح أثر يتركه ماء الصرف الصحي على أنواع التربة هو تغيير تركيبتها الكيميائية الطبيعية: أي تلوثها. وهناك العديد من المواد الكيميائية التي تلوث أنواع التربة، وتعد المعادن الثقيلة، مثل الزئبق والرصاص والزرنيخ والكادميوم والسيلنيوم من اخطر المواد التي تلوث أنواع التربة إضافة إلى الملوثات الأخرى. ومن هذه الملوثات ما يستقر في المكان الذي لوثه لمدة طويلة دون أن تطرأ عليه أية تغيرات كيميائية، ومنها ما يستقر لمدة قصيرة حيث تتغير كيميائياً بفعل الحرارة والرطوبة والتفاعلات الضوئية والمكروبات والعوامل البيئية الأخرى. ويؤدي تلوث أنواع التربة إلى ضعف خصوبتها وانخفاض إنتاج المحاصيل الزراعية. كما تؤثر بعض المواد الكيمائية الضارة في النبات وتكوينه الطبيعي، مما يترتب عليه انخفاض في قيمته الغذائية. ولا يقتصر اثر تلوث أنواع التربة على النبات فحسب، بل يمتد الأثر ليشمل الإنسان و الحيوان. و بما أن موضوع البحث هو الأثر البيئي لاستخدام ماء الصرف الصحي على أنواع التربة، فسيتم تتبع أهم الآثار السالبة للعناصر الكيميائية التي يخلفها ماء الصرف الصحي في أنواع التربة:

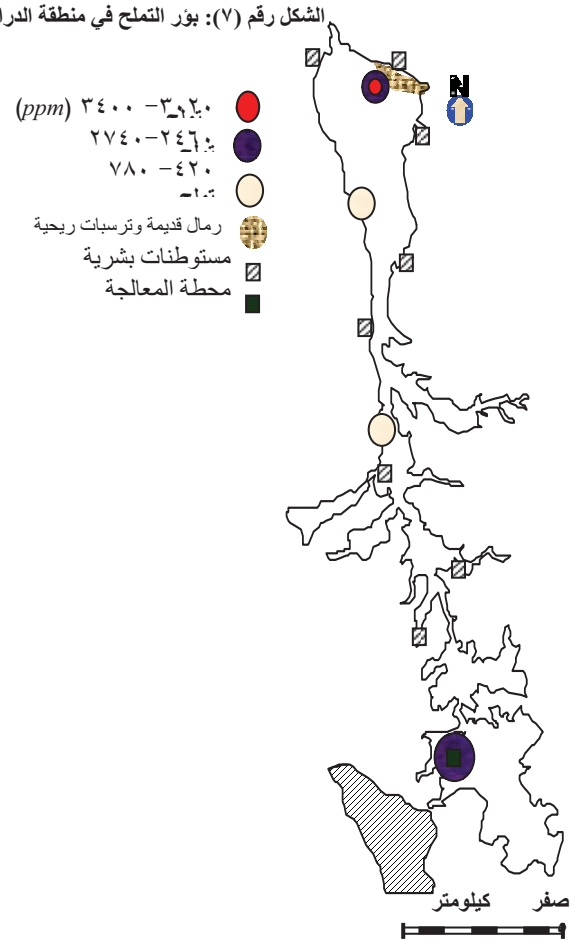
١. تملح أنواع التربة: أ-(والموصلية الكهربية (*EC*):

تشترك عدة عناصر في إصابة أنواع التربة بالتملح. والموصلية الكهربية (EC) هي وسيلة قياس درجة التملح، والشكل رقم (٧) أدناه يوضح أهم بؤر التملح في منطقة البحث. ويلاحظ من الشكل أن تأثر موقع المحطة بالتملح بحيث يأتي في المرتبة الثانية في درجات التملح وتتفوق على منطقتين أخريين، و لا تتفوق على هذا الموقع في درجة التملح إلا المنطقة التي في أقصى شمال السهل الفيضي، وهي التي تأثرت بعوامل أخرى زادت من حدة تملحها: منها أن المنطقة سهلية منخفضة نسبيا مما يجعلها ملتقى تدفقات السيل وحيث تتجمع المياه دون أن تنصرف فيتبخر الماء تاركاً كميات كبيرة من الأملاح على سطح أنواع التربة.

و من الأضرار التي تخلفها الأملاح:

- تدهور القيمة الإنتاجية للتربة، بما يؤدي إلى قلة النبات الطبيعي، وعدم قابليتها للإنتاج المحصولي خاصة كبريتات و كلوريدات (أملاح) الصوديوم و الكالسيوم و والماغنسيوم. والمحصلة النهائية هي تدهور قيمة أنواع التربة.
- تغير الرقم الهيدروجيني للتربة (pH)= قلوية أنواع التربة. وفي حالة كون أنواع التربة القلوية فإن مواد مثل كربونات وبيكربونات الصوديوم تذوب في وجود الماء محللة معها المادة العضوية و مشكلة قشرة صلدة سوداء اللون على السطح بما يعرف (بالقوية السوداء).
- ضعف إذابة العناصر الضرورية التي يحتاجها النبات في أنواع التربة.
- زيادة تركز محلول أنواع التربة: صعوبة امتصاصه بواسطة النبات.

الشكل رقم (٧): بؤر التملح في منطقة الدراسة



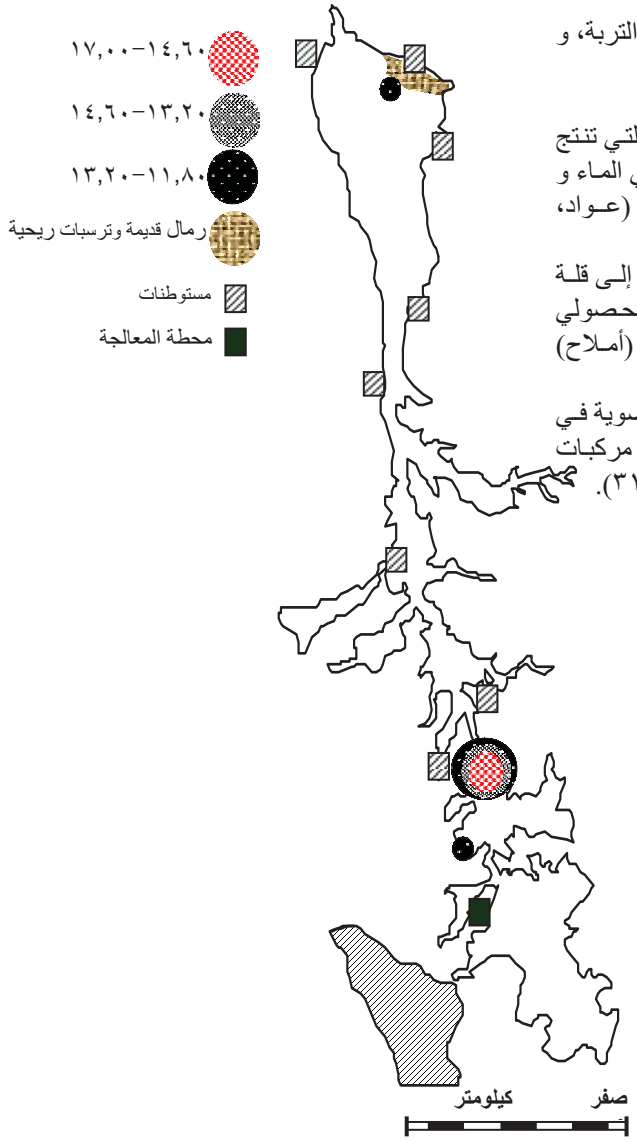
٢. تملح أنواع التربة: ب- تركز محتوى الصوديوم (Na):

إن تركز محتوى الصوديوم (Na) في أنواع التربة هو أحد عوامل إصابة أنواع التربة بالتملح. و يلاحظ من الشكل رقم (٨) تأثير ماء الصرف غير المعالج على تركيز هذا العنصر، حيث يكون أقل تركيزا في المناطق التي لا يستخدم فيها بكثافة، غير أنه يتركز شمال المحطة في منطقة ضيقة يتجمع فيها ماء الصرف الصحي.

و من أضرار تركز محتوى الصوديوم(*Na*) في أنواع التربة:

- تؤدي زيادة تركزه إلى تفريق حبيبات أنواع التربة، و بالتالي هجرتها إلى أسفل القطاع.
- عدم ثبات بناء أنواع التربة.
- في وجود أملاح كربونات الصوديوم الحرة التي تنتج عن وجود ثاني أكسيد الكربون المذاب في الماء و الصوديوم المتبادل ينتج تحلل مائي (عواد، ١٩٨٧).
- تدهور القيمة الإنتاجية للتربة، بما يؤدي إلى قلة النبات الطبيعي، وعدم قابليتها للإنتاج المحصولي خاصة في حالة كبريتات و كلوريدات (أملاح) الصوديوم.
- ارتفاع الملوحة يقلل من نسبة المادة العضوية في أنواع التربة نتيجة تحللها و تفسخها إلى مركبات أقل تعقيداً و تركيباً (حيدر، ٢٠٠٥، ص ٣١).
- إضافة إلى أضرار التملح المذكورة أعلاه.

الشكل (٨) محتوى أنواع التربة من الصوديوم(*Na*):



٣. تكلس أنواع التربة و تجيرها (تركيز كربونات الكالسيوم $CaCo_3$):

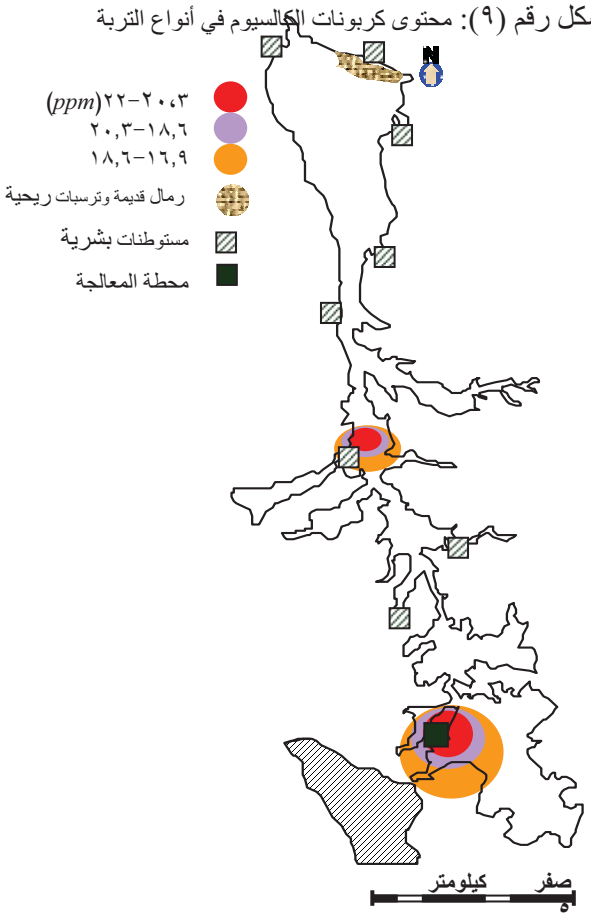
كما في حالة الأملاح فإن لماء الصرف غير المعالج تأثيره السلبي على أنواع التربة، و ذلك بتركيز الجير في شكل كربونات الكالسيوم فوق الحد المطلوب. فيلاحظ من الشكل رقم (٩) تزايد تركز هذه الكربونات طردياً مع الاقتراب من محطة المعالجة. فكلما زادت كمية الماء المستخدم من هذا المصدر زاد تركزها. وسبب قلة التركز شمالا

(بعيدا عن المحطة) هو خلط ماء الصرف الصحي بمياه الري من المياه الجوفية عن طريق الآبار. و يدلل على صحة هذه الحقيقة زيادة التركز مرة أخرى في أقصى شمال السهل الفيضي حيث يقل استخدام ماء الري من المياه الجوفية و يكون الاعتماد كاملاً على مياه الصرف الصحي.

و من أضرار تركز كربونات الكالسيوم:

- وجودها في شكل مواد لاحمة و متحجرة.
- تدهور القيمة الإنتاجية للتربة، بما يؤدي إلى قلة النبات الطبيعي، وعدم قابليتها للإنتاج المحصولي إذا تحولت إلى كبريتات و كلوريدات (أملاح) الكالسيوم. المحصلة النهائية هي تصحر أنواع التربة.
- تغير الرقم الهيدروجيني للتربة (pH)= قلوية أنواع التربة. وفي حالة تكون أنواع التربة قلوية فإنها تذوب في وجود الماء و مشكلة عند جفافها قشرة صلدة على السطح بما يعرف (بالكاليشا *Caliches*).
- ضعف عمليات هجرة العناصر الضرورية في أنواع التربة مما لا يساعد على تطورها.
- سمية محلول أنواع التربة عند امتصاصه بواسطة النبات.
- أخرى.

الشكل رقم (٩): محتوى كربونات الكالسيوم في أنواع التربة



٤. الفسفور (P) المتيسر في أنواع التربة:

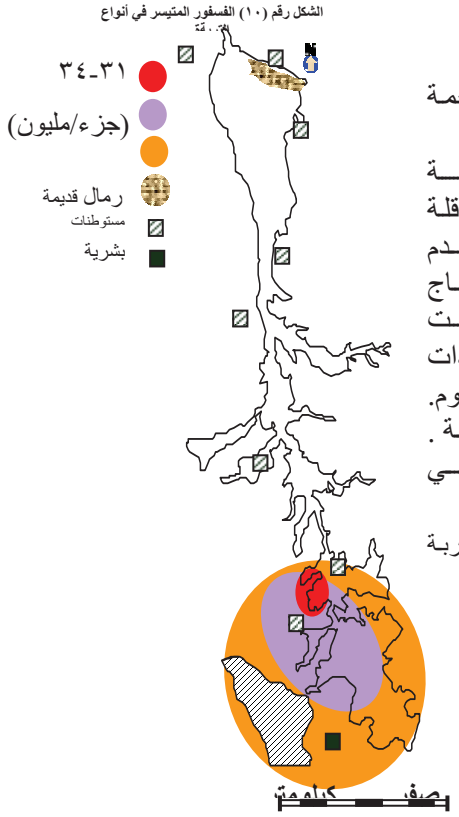
يتزايد مستوى الفسفور في أنواع التربة متأثراً بعوامل عديدة. مثل محتوى أنواع التربة من المواد العضوية، والطين ، كما وجد أن أنواع التربة المشتقة من الصخور القاعدية و أنواع التربة المشتقة من الصخور الحمضية تكون أغنى في محتواها الكلي من الفسفور غالبا. وأوضح (Thompson, ١٩٥٧) بأن محتوى الفسفور الكلي في ترب المناطق الجافة يتراوح في حدود ٠,١٥٪ .

تبين من التحاليل الكيميائية لعينات أنواع التربة في منطقة الدراسة والموضحة بالخريطة رقم (١٠) أن محتوى الفسفور يوجد بشكل كبير في المنطقة القريبة من قرية المواهب وهي قريبة من محطة الصرف الصحي إلى الشمال وهي منطقة مستوية تتلقى ماء المحطة ويقلل من جريانه فيها قلة الانحدار: فهو يقدر بدرجه واحدة فقط، ويقدر محتوى الفسفور في هذه المنطقة ب ٣٤ جزءاً في المليون. أما في منطقة المحطة فقد بلغ ٣٢ جزءاً في المليون، ويرجع ارتفاع الفسفور في هذه المنطقة القريبة من المحطة للصرف الصحي وذلك لزيادة النشاط الميكروبي وتكسير الكربوهيدرات إلى فسفور معدني. والرقم الهيدروجيني للتربة في هذه المنطقة يتراوح بين ٧,٤- ٨,٢٠، وهي مناسبة لنشاط الميكروبات، كما تصل درجة الحرارة الى٢٥درجة مئوية. و تنخفض قيم الفسفور كلما اتجهنا شمالا حيث لا تصل ماء الصرف الصحي إذ تبلغ ٣,٧٠ جزء في المليون ثم تتغير إلى ما بين ٤,٩٠ و ٥,٦٠ جزء في المليون في منطقة قاع السواد .

و من أضرار زيادة تركز الفسفور في أنواع التربة:

- وجودها في شكل مواد لاحمة و متحجرة.
- تدهور القيمة الإنتاجية للتربة، بما يؤدي إلى قلة النبات الطبيعي، وعدم قابليتها للإنتاج المحصولي إذا تحولت إلى كبريتات و كلوريدات (أملاح) الكالسيوم. المحصلة النهائية . المحصلة النهائية هي التصحر.
- تأثيره على مكونات أنواع التربة

الشكل رقم (١٠) الفسفور المتيسر في أنواع



٥. تخفيض مستوى محتوى أنواع التربة من المادة العضوية:

تعد المادة العضوية أهم مكونات أنواع التربة، لأنها الوسط الذي تذوب فيه كل العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات في أنواع التربةة. وتعمل على زيادة قدرة أنواع التربةفي الاحتفاظ بالماء (تبلل أنواع التربة)، كما أنها الوسط الذي يجذب الكائنات الحية في أنواع التربةمما يساعد في تحلل المواد الغذائية. والنسبة الأمثل للمادة العضوية في أنواع التربةهي ٣٪. غير أنه بسبب تأثير ماء الصرف الصحي لا تصل إلى هذا الحد في أي موقع من مواقع المنطقة، على الرغم من كونها سهلاً فيضياً يتوقع فيه وصول هذه النسبة إلى معدلاتها الطبيعية (الشكل رقم ١١).

و من أضرار نقص المادة العضوية في أنواع التربة:

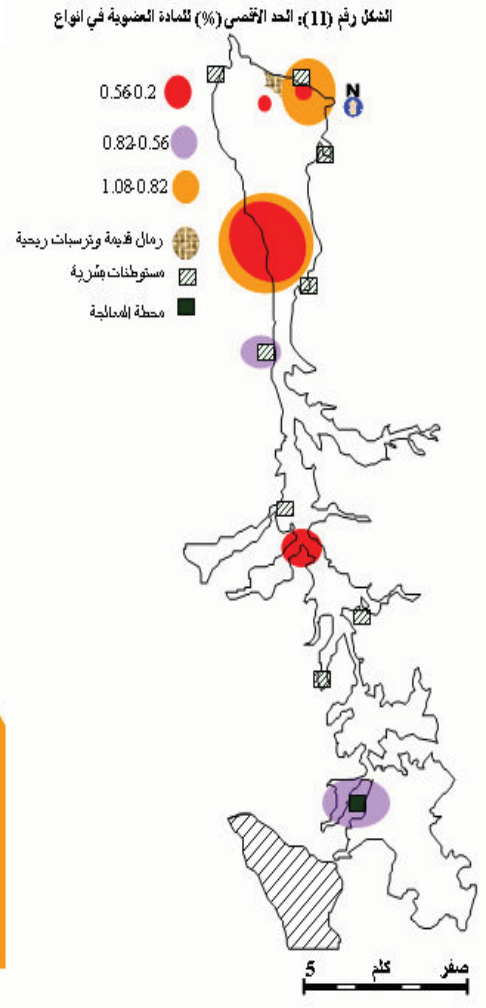
- تناقص قدرة النبات على امتصاص غذائه من أنواع التربة، وعلى الاحتفاظ بالماء (رطوبة أنواع التربة)، وتناقص التهوية.
- نقص مادة غذائية أساسية في أنواع التربة، وحتى قدرة جذور النبات على التحرك بسهولة بحثاً عن الغذاء، و يعني هذا تدهور أنواع التربة.
- عدم كفاءة الوسط الذي تذوب فيه كل العناصر الغذائية و المعادن في أنواع التربة ليمتصها النبات.
- عدم كفاءة عملية تثبيت النتروجين في أنواع التربة.
- تدهور قدرة أنواع التربة في الاحتفاظ بالماء بما يؤدي إلى تفككها و سهولة تعريتها و انجرافها.

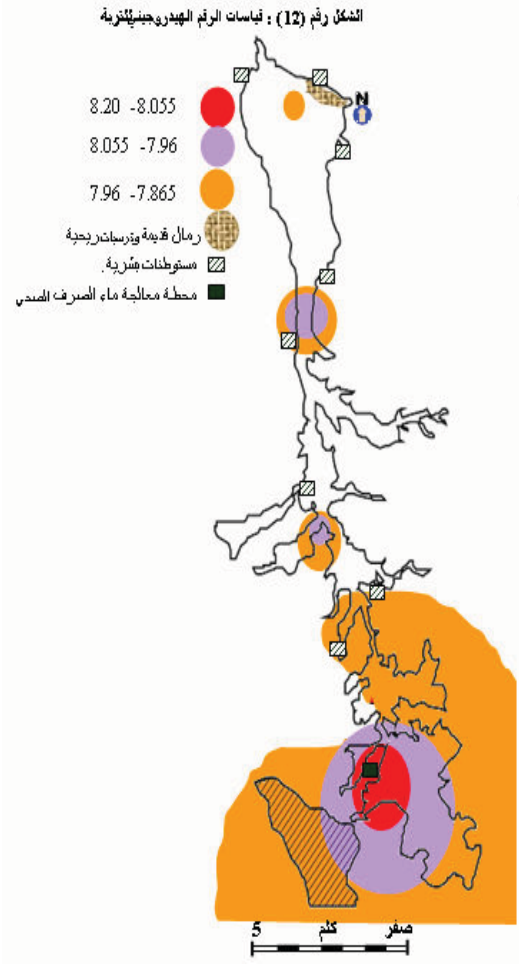
١. تغير الرقم الهيدروجيني للتربة:

يلاحظ من الشكل رقم (١٢) أن الرقم الهيدروجيني في تربة منطقة البحث يميل إلى الارتفاع خصوصا قريبا من موقع المحطة، رغم أنه عموماً يكوم متوسطاً (ما بين ٧,٨٦ و ٨,٢٠). وهذا مؤشر جيد، لأن انخفاض الرقم الهيدروجيني يعني انتشار الفطريات (Troll, ١٩٧١)، و هذا يؤثر على الكثير من أنواع النشاط الحيوي والعمليات المرتبطة بها.

وفي نفس الوقت، فإن ارتفاع الرقم الهيدروجيني بصورة واضحة –كما في منطقة الدراسة– له تأثيراته السالبة، ومنها:

- **ارتفاع الرقم الهيدروجيني مؤشر لقلوية أنواع التربة بما في ذلك من تملح و تكلس (كربونات الكالسيوم).**
- **ارتفاع الرقم الهيدروجيني مؤشر لقلة المادة العضوية في أنواع التربة، وقد ذكرت سلبيات ذلك..**
- **تتأثر نوعية الصور السائدة في محلول أنواع التربة، مما يؤثر في طبيعة امتصاص العناصر الغذائية. مثلا: تمتص الأيونات السالبة –مثل النترات و الفوسفات– بدرجة كبيرة في الظروف الحمضية بسبب زيادة الصور الملائمة للامتصاص مثل الهيدروجين و الفوسفات (عواد، ١٩٨٧، ص ٢٤).**





النقاش:

بما أن المحطة تعمل بصورة دائمة دون توقف، فإن تواتر وجود الماء يؤدي إلى آثار سالبة، منها:

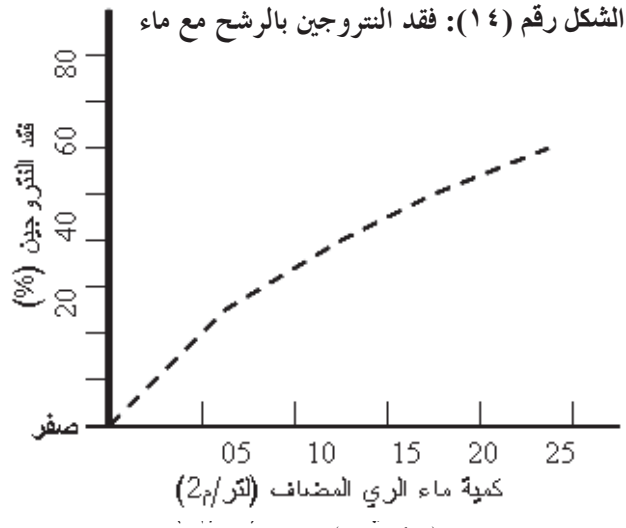
١- زيادة كمية مياه الري، حيث إن تدفق مياه الري دون ضوابط وقتية أو مكانية و لفترات طويلة، يوجِد ظروفاً اختزالية في التربة ترفع مستوى العناصر الصغرى و الثقيلة في تربة منطقة البحث (حيدرة، ٢٠٠٥).

٢- فقد النتروجين بالرشح (بالتسرب) مع ماء الري:

فعندما تتحلل المركبات العضوية مكونة مركبات معدنية بسيطة يتعرض بعض هذه المركبات للفقد مع ماء الري إلى باطن الأرض بعيدا عن جذور النبات أو إلى المصارف

التي تنقلها بعيدا عن الأرض المروية، وهذا ما يفعله ماء الصرف الصحي بسبب تواتر تدفق المياه من المحطة دون توقف. و تتأثر سرعة الفقد و مقداره بعوامل متعددة، منها: الصورة الكيميائية للمركب النتروجيني، قوام أنواع التربة- كمية مياه الري. وتسرب هذه المركبات إلى باطن الأرض قد يؤدي إلى تلوث الماء الجوفي. الشكل (رقم ١٣) أدناه يوضح العلاقة الإحصائية بين كمية ماء الري و فقدان النتروجين في أنواع التربة.

الشكل رقم (١٤): فقد النتروجين بالرشح مع ماء



٣- تأثيره على تثبيت النشادر (الأمونيا) في التربة:

يؤثر ماء الري المتواتر بكثرة بين ترطيب و تجفيف التربة على تثبيت النشادر (الأمونيا) في التربة، وبالتالي عدم تحوله إلى نترات يمتصها النبات ، والنترات تعتبر من أهم صور النتروجين التي تضاف إلى الأرض ، وبالتالي فإن ذلك يؤثر على نمو النبات سلبا، ويمكن أن يكون قصر الجذور من أوضح هذه التأثيرات (إسلام، و عمارة، ٢٠٠٦).

صور الفوسفات *Phosphorus*: يسهم في تغذية النبات بتحوله إلى صور معدنية بسيطة خاصة عند ارتفاع درجة الحرارة، كما يظهر على الصور التالية:

١. في التربة الحمضية: في صورة فوسفات حديد أو ألمونيوم.
٢. على سطح الحبيبات الغروية.
٣. معادن الطين التي تستبدل فيها السيليكات بالفوسفات.

تؤثر الأملاح الذائبة على ذوبان مركبات الفسفور، وذلك:

٤. زيادة ذوبان كربونات الكالسيوم.

٥. **حلول كاتيونات الأملاح محل الكالسيوم المتبادل** (*Exchangeable Calcium*).

٦. **تأثير الأيون المشترك.**

٧. **التأثير على الرقم الهيدروجيني.**

يسهم البوتاسيوم (*Potassium*) **المتبادل** أو غير المتبادل في تغذية النبات خاصة البطاطس (معامل ارتباط بين **وزن البطاطس** و البوتاسيوم الممتص =+٠,٩) والبرسيم والذرة والطماطم. عدم وجود طمي يؤثر في وجود البوتاسيوم.

الكالسيوم (*Calcium*): يوجد في تربيات الأقاليم الجافة. تحسن من نمو النبات في التربة الحمضية و تزيد الإنتاجية- له دور هام في كثير من التفاعلات في التربة. و لكن زيادته ترفع الرقم الهيدروجيني مما يؤدي إلى ترسيب الكالسيوم.

الماغنيسيوم *Magnesium* يوجد في معادن الطين و يقل في التربة الرملية، و يحل محل الحديد لتقارب نصفي قطريهما

جدول رقم (٤): تأثير زيادة أو نقص بعض مكونات التربة على المحاصيل في منطقة البحث.

الفسفور				
النبات	**عمره**	**النسيج**	**أعراض النقص**	**النسبة (معيار سبيرمان)**
الذرة		الساق	نمو بطئ-لون غامق	٣٠% (-٠,٣)
القمح	٣أشهر	قمة النبات	ذبول الأوراق، ونقص عددها	٣٠% (-٠,٣)
البطاطس	٤٠-٤٥يوم	الأوراق	اصفرار اللون	٧٠-٨٠% (-٠,٧-٠,٨)
الطماطم	٣٠-٣٥ يوم	أعناق الورقة	نقص الوزن	٠,٢٥%(-٠,٢٥)
البصل	٤٠-٥٠ يوم	الأوراق	تذبل الأوراق و تموت الأطراف	٦٠% (-٠,٦)
النتروجين: عند الزيادة: زيادة النمو الخضري، تتخشن الثمار وتزداد سماكة القشرة و يقل المحصول				
النبات	**عمره**	**النسيج**	**أعراض النقص**	**النسبة (معيار سبيرمان)**
الذرة	٦٠ يوم	الأوراق الساق	١- يصفر لون الأوراق. ٢- تجف العروق الوسطى ٣-يكون الساق رفيعاً.	٥,٠% (- ٠,٥,٠) ٥,٣% (-٠,٥,٣) ٤,٥% (-٠,٤,٥)
الشعير	٧٥ يوم	الأوراق	- يصفر لون الأوراق.	٠,٣ %(-٠,٣)

		الفروع الساق	٢- يقل التفريع. ٣- تصغر السنابل ٤-يكون الساق رفيعاً.	٠,٤ %(-٠,٤) ٠,٤ %(-٠,٤) ٠,٣٥ %(-٠,٣٥)
العنب	٦٥ يوم	الأوراق الشجرة	١-ألوان خضراء فاتحة ٢-يتقزم النبات	٥,٥% (- ٠,٥,٠) ٠,٢%(-٠,٢)
الطماطم	٥٥ يوم	الأوراق الساق	١-اصفرار الأوراق و جفافها. ٢- يتصلب الساق	٠,٣ %(-٠,٣) ٠,٣ %(-٠,٣)
الكالسيوم				
النبات	**عمره**	**النسيج**	**أعراض النقص**	**النسبة (معامل سبيرمان)**
عموم النباتات	--	الجذور	يبطئ النمو-تصاب الجذور بالعفن- تنشوه الأوراق-تموت البراعم	٠,٣ %(-٠,٣)
الماغنيسيوم: ضروري للكلوروفيل مثل الحديد				
النبات	**عمره**	**النسيج**	**أعراض النقص**	**النسبة (معيار سبيرمان)**
عموم النباتات	--	الأوراق الشجرة	نقص اللون الأخضر في الأوراق- وتصفر- ويبطئ النمو	٠,٤ %(-٠,٤)
المادة العضوية: عند الزيادة المفرطة في الماء يعني زيادة تعكر في الماء مما يعيق عملية التمثيل الضوئي: قلة الأكسجين المذاب، و يحول التربة إلى خث (*Bog Soil*)				
النبات	**عمره**	**النسيج**	**أعراض النقص**	**النسبة (معيار سبيرمان)**
عموم النباتات	--	الجذور	١. عدم القدرة على الامتصاص. ٢. -نقص المعادن المهمة في التربة. ٣. الجفاف بسبب نقص الماء.	٠,٢%(-٠,٢)

ملاحظة: **النحاس: لا يظهر نقصه أعراضاً مميزة، إلا أنه في الحالات الخفيفة تموت قمم النبات ويظهر التصميغ على الورقة وعلى الثمرة وتتشقق ويقصر نمو الطماطم بشكل واضح ويقصر حجم الجذور- تفقد الأفرع و السيقان استقامتها** (Nierop, et al, ٢٠٠٣.).

المصدر: نتائج العمل الميداني، ٢٠١٠.

الخاتمة:

في منطقة شبه جافة مناخيا و موازنتها المائية سلبية، مثل منطقة البحث، حيث تكاد تنعدم الموارد المائية، لابد للفلاح أن يجد في ماء الصرف الصحي مصدراً متيسراً ورخيصا للحصول على ماء الري. إلا أنه، بسبب تجاوز كميات المياه المطلوب معالجتها وضعف الطاقة الاستيعابية لمحطة المعالجة، وبسبب إن إدارة المحطة لا تلتزم بالمستوى المتعارف عليه في المعالجة، فإن ماء الصرف الصحي المستخدم في الري يعتبر غير معالج معالجة كاملة و أقل من أي مواصفات أو مقاييس في العالم. وأدى هذا إلى تلوث التربة الزراعية و تناقص كفاءتها مما كان له آثار سلبية على البيئة الزراعية في منطقة الدراسة، وهي:

أولاً: تزايدت معدلات الملوحة في التربة حيث أورد البحث من الأدلة ما يثبت أن ماء الصرف الصحي المستخدم في الري –دون سواه– هو المسئول الأول عن تملح التربة في منطقة الدراسة. وقد كان ذلك بعدة طرق:

١. تركز كبريتات و كلوريدات (أملاح) الصوديوم و الكالسيوم و والماغنسيوم في التربة.
٢. ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة (pH) بما يعني قلوية التربة. وفي حالة تكون التربة قلوية فإن مواد مثل كربونات وبيكربونات الصوديوم تذوب في وجود الماء محللةً معها المادة العضوية و مشكلةً قشرة ملحية صلدة سوداء اللون على سطح التربة.
٣. تركز محتوى الصوديوم (Na):

ثانياً: تزايدت معدلات التكلس في التربة. وقد كان ذلك بعدة طرق:

١. تركيز الجير في شكل كربونات الكالسيوم فوق الحد المطلوب.
٢. تزايد مستوى الفسفور في التربة متأثراً بعوامل عديدة. مثل محتوى التربة من المواد العضوية، والطين.

ثالثاً: تخفيض مستوى محتوى التربة من المادة العضوية:

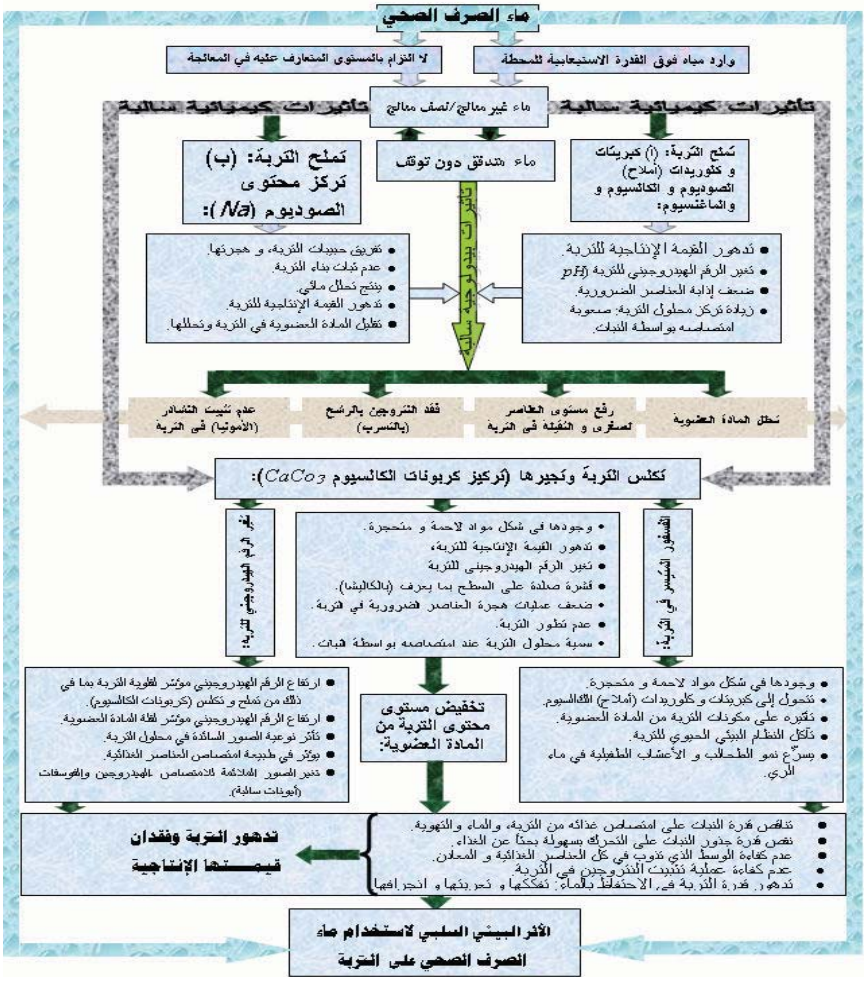
رابعاً: تغير الرقم الهيدروجيني للتربة:

خامساً: زيادة كمية مياه الري، لفترات طويلة، يؤدي إلى خلق مثالب عديدة، منها:

١. أنه أوجد ظروفاً اختزالية في التربة رفعت من مستوى العناصر الصغرى و الثقيلة في التربة.
٢. أفقد التربة النتروجين بالرشح (بالتسرب) مع ماء الري.
٣. يؤثر ماء الري المتواتر بكثرة بين ترطيب و تجفيف التربة على تثبيت النشادر (الأمونيا) في التربة، وبالتالي عدم تحوله إلى نترات يمتصها النبات.
٤. للعوامل البشرية دور في تفعيل الأثر السلبي للري. من ذلك تحميل الأرض فوق ما تحتمل من زراعة بعض المحاصيل، و تربية حيوانات بأعداد تفوق القدرة التحملية

للأرض (*Carrying Capacity*)، وقطع النباتات الطبيعية بمعدل يفوق قدرتها على التجدد.

كانت نتيجة ذلك كله، مع وجود استعداد طبيعي للمنطقة [يدلل عليه وجود رمال قديمة وترسبات ريحية في أقصى شمال المنطقة] أن تدهورت القيمة الإنتاجية للتربة مما سيؤدي، في أغلب الاحتمالات إلى تصحرها. من ذلك كله كان مؤداه أن خرج البحث بالنموذج (*Paradigm*) التالي:



المراجع و المصادر باللغة العربية:

٥. أبو خضرة، أحمد مختار (١٩٨١): التتابع الطباقي و التاريخ الترسبي للجمهورية العربية اليمنية، الجمعية الجغرافية الكويتية، الكويت.

١. إسلام، أحمد مدحت و عمارة، مصطفى محمود (٢٠٠٦): كيمياء البيئة: تطبيقات أسس فروع الكيمياء على ملوثات الهواء و الماء و الترب، دار الفكر العربي، القاهرة.

٢. الانبعاوي، محمد و الخرباش، صلاح (١٩٩٦): جيولوجية اليمن، مركز عبادي للدراسات و البحوث، صنعاء.

٣. الحفيان, عوض إبراهيم, (١٩٩٥): الأسس البيئية للتنمية الريفية و الزراعة في السودان، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم.

٤. الحفيان, عوض إبراهيم, (٢٠٠١): الإنسان و بيئته: تأثير الإنسان على أغلفة البيئة الأربع، ، دار جامعة الخرطوم للنشر، الخرطوم.

٥. الحفيان, عوض إبراهيم, (٢٠٠٤): الجغرافيا العامة للجمهورية اليمنية, عوامل التباين والتآلف في البيئة اليمنية, سلسلة إصدارات جامعة صنعاء, صنعاء.

٦. الحفيان, عوض إبراهيم, (٢٠١٠): بيئات الأقاليم الجافة، دار جامعة صنعاء للطباعة و النشر، صنعاء.

٧. الحفيان, عوض إبراهيم, (٢٠٠٥): أسس علم البيد وجغرافيا (جغرافية التربة)، دار المتفوق للنشر, صنعاء.

٨. حيدر، عبد الرحمن (٢٠٠٥): الأثر البيئي لاستخدام مياه الصرف الصحي في الري الزراعي: إب، ذمار، صنعاء، وزارة التخطيط و التعاون الدولي، الوحدة الرئيسية لمراقبة الفقر، صنعاء.

٩. عواد، كاظم مشحوت (١٩٨٧): التسميد و خصوبة التربة، جامعة البصرة، البصرة.

١٠. الغليبي و آخرون , (٢٠٠٥) : دراسة تقييم الأثر البيئي لاستخدام المياه العادمة المعالجة في القطاع الزراعي منطقة المواهب ــ ذمار, مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة , ذمار.

١١. الغليبي وآخرون,(٢٠٠٥): ,**دراسة تقييم الأثر البيئي لاستخدام الميـــاه العادمـــة في منطقة الحزام الأخضر بمحافظة الحديدة**, مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة, ذمار .

١٢. فؤاد القدسي، (٢٠١٠): **أثر ماء الصرف الصحي على الموارد الطبيعيـــة في الـــسهل الفيضي لوادي المواهب–قـــاع الـــسواد (محافظـــة ذمـــار)**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة صنعاء، صنعاء.

١٣. مجلس حماية البيئة، رئاسة مجلس الوزراء، الجمهورية اليمنية (٢٠٠٨): **الوضع البيئي في اليمن**، صنعاء.

١٤. مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة (٢٠٠٨): **خـــرائط المـــوارد البيئيـــة و الزراعية**، وزارة الزراعة و الري، ذمار.

١٥. منظمة الصحة العالمية ،المكتب الإقليمي لشرق الأوسط ،المركز الإقليمي لأنشطة الصحة والبيئة (٢٠٠٣): **تقرير المياه والإصحاح رقم ٦،إعادة استعمال مياه الفضلات في الزراعة (دليل إرشادي للمخططين رقم١٣٣١٥**، عمان.

١٦. المنظمة العربية للتنمية الزراعية (٢٠٠٠): **دراسة استخدام مياه الصرف الصحي في الإنتاج الزراعي في الدول العربية**, نوفمبر، الخرطوم.

١٧. اليعري, حافظ علي محمد (٢٠٠٥): **التربـــة في مـــنخفض صـــنعاء: دراســـة** جيومورفولوجية, رسالة ماجستير, غير منشورة, جامعة صنعاء, صنعاء.

المراجع و المصادر باللغتين الانجليزية و الألمانية:

١. Acres, B.D. (١٩٨٠): *Soil and Land Suitability of the Montana Plains and Wadi Rima'*, Land Resources Development Centre, Surry.

٢. Birkeland, Peter W. (١٩٩٩): *Soils and Geomorphology, ٣rd Edition*. Oxford University Press, Oxford.

٣. Diplock, E.E; Mardlin DP, Killham KS, Paton GI (٢٠٠٩), "*Predicting bioremediation of hydrocarbons: laboratory to field scale*", in: Environmental Pollution ١٥٧: ١٨٣١–١٨٤٠.

٤. Edwards, R. J. (١٩٩٨). *"Typical Soil Characteristics of Various Terrains*". http://www.smeter.net/grounds/earthres-٢.php.

٥. Fuller, et. al. (١٩٥٠): *Essentials of Soil Study*, Heinemann, London.

٦. Google Site, Worldwide Web (*www*).

٧. Laidmair, A (١٩٦٢): *Hadhramaut Bevolkerung und Wirtchaft in Handle der gegewan*t" in Bonn Geographer, Abh. H. ٣٠, ss. ١١٠٤١

٨. Marbet, (١٨٨٥): *On the Classification of Soil on Clour and Effect of Climate*, Washington DC.

٩. Nierop, Klaas G. J.; Verstraten Jacobus M. (٢٠٠٣), "*Organic Matter Formation In Sandy Subsurface Horizons Of Dutch Coastal Dunes In Relation To Soil Acidification*", in: Organic Geochemistry ٣٤: ٤٩٩–٥١٣,

١٠. Robertson Group. ple, (١٩٩١): *Geological Map of Yemen, The Natural Resources, Republic of Yemen*, AFESD and UNDP, Sana'a.

١١. Shende, G.B. (١٩٨٥): *Status of Waste Water Treatment and Agricultural Reuse With Special Reference to Indian Experience and*

Development Need, FAO Regional Seminar on The Treatment and Use of Sewage Effluent For Irrigation, Rome.

١٢. Soil Survey Division Staff (١٩٩٣). "*Soil Structure*". Handbook ١٨. Soil survey manual. Washington D.C.

١٣. Soil Survey Staff. (١٩٩٤) *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys.* USDA-SCS Agric. Handb. ٤٣٦. United States Government Printing Office, Washington, DC.

١٤. Thompson, J. (١٩٥٧): *Phosphorus Content in Arid Lands Soils*, Cambridge University Press, Cambridge.

١٥. Troll, A.M. (١٩٧١): *Soil and Vegetation Systems*, Caldron Press, Oxford.

١٦. Trudgill, S.T. (١٩٧٧): *Soil and Vegetation Systems, Caldron Press, Oxford*

١٧. United States Department of Agriculture (٢٠٠٨): *"The Color of Soil*". - Natural Resources Conservation Service. Washington D.C..