

S:Improving water availability and groundwater protection in Wadi Hadramaut, Yemen

Examiner: Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher

Second Examiner: Prof. Dr.-Ing. Bernd-Uwe Rogalla

**Water availability improvement and groundwater protection in Wadi Hadramaut, Yemen**

Thesis Submitted to the requirements for the degree of Master in Climate Change & Water Management

By Eng. Mohammed Bahumaid

Matr.-Nr. 770224496

Supervised by

Prof. Dr.-Ing. Klaus Röttcher

Prof. Dr.-Ing. Bernd-Uwe Rogalla

March 2013

**Abstract**

Yemen Republic is in the region of arid and semi-arid countries. Yemen suffers from scarce in its water resources. The governorate of Hadramaut is one of the governorates in Yemen which has few Rainfalls (50-100mm/year) in Hadramaut governorate exists Wadi Hadramaut, which is an agriculture Wadi and rich of water, however and according to some excited studies there are many challenging problems due that the water consumed is greater than the nature recharge and increase the difference between them over time in the Wadi.

The groundwater in Wadi Hadramaut exists in three layers (The Alluvium, The Conglomerate and The Sandstone) but there is no isolation between these layers, which is mean degradation in water quality especially water in Sandstone layer which is used for drinking. However due to the increasing rate of constructed wells (Random Digging) without pre-studies, good design and compliance with the standards and specifications this leads to the continuous pollution of the clean water, where the Alluvium layer is the great reason to degradation in water quality when the mixing of water layers that happens through these wells. The main cause for pollution in the Alluvium layer is the disposal of the untreated sewage waste water, pesticides and oil and fuels. Thus it is of a great importance to find reasonable low cost solutions to fuse this problem and to protect the water resources for the future.

This study suggested some solutions to solve the current water problems in Wadi Hadramaut or at least to mitigate its consequences. The suggested solutions were dealing with main three Frameworks an legal constitutional, social and Technical Frameworks.

The proposed suggestions in the study are expected to enhance the management of the water resources in Wadi Hadramaut and to solve the current problems and to get the optimal benefit from the Wadi water resources.

The proposed suggestions included some legal implementations to inhibit the Random Digging of wells and the misuse of water resources, artificial Recharging to use the Rainfall and floods that are mostly lost without benefits. Finally the study addressed some recommendations to control the water quality in the future in Wadi Hadramaut.

**Table of Contents**

**Abstract ………………………………………………...….……….…………..……..…….** 1

1. **Introduction** ……………………………………...….……………….…..……….….... 3
   1. Overview ……………………………………………………………………….…....3
   2. Study Area ……………………………………..……………….…………...……….3
   3. Research Objectives….. …………………………….………..………………..…….4
   4. Work Methodology…………………………..……….………..……………….....…4
2. **Reviews of Previous Studies and Background………….……………….….…..…......5**
   1. Republic of Yemen ………………………………………………….……….………5
      1. Geography …………………………………………….….……....……….……6
      2. Climate ………………………………………………….…….….……..………6
      3. Water Resources ……………………….………………………..………..…….8
      4. Economy …………………..………….………………………..…….…...…….9
      5. Education ……………………………..……………………...…….………….12
      6. Demographics ……………………………………………….……….………..13
   2. Hadramaut …………………………………….……………………..….………….13
      1. Climate …………………………….…………….……………...…….……….14
      2. Rain ……………………………………………….…………………….……..15
      3. Groundwater …………………………………………………………….…….15
      4. Population ………………………………………….…………….……………15
      5. Terrain ………………………………………………………………….……..15
   3. Wadi Hadramaut ……………………………………………………………………16
      1. Study Area ……………………………………………………………….……17
      2. Geology ………………………………………….………...….…………...….17
      3. Hydrogeology ………………………………….……...………………………19
      4. Water Quality ………………………………..…………..……………………21
      5. Water Resources ………………………………..…………….……………….21
      6. Recharge …………………………………………..……….………………….22
3. **Challenges and Difficulties ………………………………………...……………..……24**
   1. Overview……………………………………………….………...…………………24
      1. Domestic Wastewater………………………………………….………………24
      2. Fuels and Oils………………………………….…………..…………………..25
      3. Fertilizers and Pesticides……………………….…………...…………………25
      4. Random Digging…………………………………………….…………………25
   2. Work Approach…………………………………………………..…………………26
      1. Increasing Population……………………………………….…………………27
      2. Agriculture……………………………………………….…...………..………28
      3. Industrial Activities………………………………….……...…………………28
   3. The Water Quality………………………………………….…….…………………28
      1. The Quaternary alluvium……………………………..……..……………..…30
      2. The Neogene Conglomerate………………………….…..……………………32
      3. The Mukalla Sandstone………………………………………..………………33
      4. East of the Wadi……………………………………….………………………36
      5. Middle of the Wadi…………………………………………….………………38
      6. West of Wadi……………………………………………………..……………39
   4. Chemical analysis between 2001 and 2011……………………………….………41
   5. Water Quantity………………………………………………...……………………42
      1. East of the Wadi……………………………………….....……………………43
      2. Middle of the Wadi…………………………………….....……………………45
      3. West of Wadi………………………………………...…..……..……………46
4. **Suggested Solution ………………………………………….…..………………………49**
   1. Overview ……………………………………………………...……………………49
   2. Random Digging …………………………………………..….……………………49
      1. Legal and Institutional Framework ……………………………………….…50
      2. Social Framework ……………………………………….….…………………52
      3. Technical Framework ……………………………………....…………………53
         1. Isolating the bad quality water layers ………………………….…54
         2. Isolation of the fresh water layer ………………...…………….…60
         3. Well Burial ……………………………………..…..………………60
   3. Groundwater Recharge ……………………………………………..………………62
      1. Construction of Rainwater Basins in the Wadi stream ……….…….……..…63
      2. Construction of law high soil walls ……………………………...……..……64

4.4 Proposed Project ……………………………………………………………………..65

4.4.1 Estimated Data ……………………………………………………………...…65

4.4.2 Calculations ……………………………………………………………………65

1. **Conclusions ………………………………………………………………..……………67**
2. **Recommendations ………………………………………………..……….……………70**
3. **References ………..…………………………………………………...……...…………72**

الخلاصة

تقع اليمن ضمن البلدان القاحلة وشبه القاحلة واليمن تعاني من شحة الموارد المائية حيث يبلغ نصيب الفرد 130 متر مكعب في السنة تقريبا،ومحافظة حضرموت تعد من محافظات اليمن القليلة الامطار حيث تهطل الامطار بمقدار 50\_100 مللي في السنة،وفي هذه المحافظة يقع وادي حضرموت وهو وادي زراعي يتمتع بوفرة المياه،وقد اجريت دراسات في المنطقة اوضحت الحالة المائية في وادي حضرموت والذي يستخدم منه 90% لغرض الري مثل ما هو في باقي اليمن بدات تظهر بها مشكلة بسبب زيادة الطلب على المياه خاصة اذا علم ان كمية المياه المستهلكة والمستخرجة من المياه الجوفية اكبر من التغذية السنوية ويزداد الفارق بينهما بمرور الزمن.

شكل (1) استخدام المياه في وادي حضرموت( البيانات من كومكس،2002)

تتواجد المياه الجوفية في وادي حضرموت في ثلاثة طبقات مائية وهي (اللوفيوم،الكونجلومريت، الحجر الرملي) الا انه لا يوجد عزل تام بين هذه الطبقات،وتعد طبقة الحجر الرملي هي الطبقة ذات المياه العذبه الجيدة النوعية والمستخدمة لمياه الشرب في وادي حصرموت وهي الاقل تاثربتغير النوعية،ولكن بسبب زيادة حفر الابار في الوادي من دون مواصفات فنية سليمة ودون عزل للطبقات الرديئة النوعية، والتي غالبا ما تكون اللوفيوم (الطبقة المائية الاولى) والتي تحمل اعلى نسبة ملوحة، فان ذلك يزيد ويسرع من عملية تداخل وخلط المياه ويؤثر على نوعية المياه في البئر وانتشار التدهور في المنطقة المحيطة بالبئر اي حدوث تدهور عمودي وافقي.

وبمقارنة نوعية المياه من خلال تتبع التغير في قيمة الموصلية الكهربية في عدد من الابار التي تم اختيارها في وادي حضرموت فانه يلاحظ تدهور عام في نوعية المياه في الوادي بشكل متفاوت من طبقة لاخرى ومن منطقة لاخرى،وهناك عدد من الاسباب لهذا التدهور من اهمها مياه الصرف الصحي التي يتم التخلص منها في حفر غير معزولة وبالتالي تصل الى طبقة المياه الاولى اللوفيوم والحفر العشوائي الذي لايراعي عزل الطبقات المالحة عن العذبة وكل ذلك يؤدي الى خلط المياه بين الطبقات المائية.

شكل (2)التغيرات في الموصلية الكهربية في بعض الابار في وادي حضرموت

كما انه يمكن مراقبة التغير في كمية المياه في وادي حضرموت من خلال تتبع التغير في مستوى سطح المياه في الابار المختلفة في واذي حضرموت ،ويلاحظ وجودهبوط عام في مستوى سطح الماء في الابار مع اختلاف مقدار الهبوط والذي قد يؤدي الى جفاف البئر احيانا، وبالتالي يضطر مستخدم البئر اما الى زيادة عمق البئر او حفر بئر اخرى بديلة للحصول على المياه الكافية ،كما يلاحظ ان اعلى مقدار للهبوط يكون في طبقة اللوفيوم،ومن اهم اسباب الهبوط في مستوى سطح الماء في وادي حضرموت زيادة الطلب المائي(وله عدة اسباب) وقلة التغذية للمياه الجوفية مقارنة بالطلب.

شكل (3)التغير في مستوى المياه الجوفية في بئر مسيله1613

ان استمرار مشكلة تدهور نوعية المياه بسبب الحفر العشوائي المؤدي الى خلط المياه بين الطبقات خاصة التدهور في طبقة الحجر الرملي، وهبوط مستوى سطح المياه بسبب زيادة حفر الابار وزيادة الطلب المائي مع قلة التغذية ، سيؤثر على مستقبل وادي حضرموت والقدرة على توفير الطلب المتنامي على المياه اذا لم يتم التعامل مع هذه المشكلة، حتى لو ظل الحال كما هو عليه الان.

وللتخفيف من هذه المشكلة والحد منها تقدم هذه الدراسة بعض الاقتراحات والحلول لمجابهة بعض من هذه المشاكل وهي الحفر العشوائي وتغذية المياه الجوفية وذلك باستخدام وسائل عدة تعالج الوضع الراهن مع محاولة عدم الاضرار بمستخدمي المياه او الطبقات المائية بالمنطقة.

ففي مشكلة الحفر العشوائي تم التطرق الى معالجة المشكلة على عدة محاور وفي:

1 البعد المؤسسي والقانوني

2 البعد الاجتماعي

3 البعد التقني

وذلك للتعامل مع الحفر العشوائي الحالي(الابار المستخدمة حاليا) والمستقبلي وذلك بتفعيل قانون المياه وفرض العقوبات والغرامات على المخالفين،ومن خلال توعية المجتمع بالمشكلة ودوره في الحد منها والاثار المترتبة على مستقبلهم ومن جهة اخرى معالجة الابار العشوائية المستخدمة حاليا باستخدام بعض المعدات المساعدة للحد من تاثيرها في نوعية المياه الجوفية من خلال الخلط بين الطبقات المائية، وعزل وتصحيح وضع البئر خصوصا اذا كانت تخترق طبقة الحجر الرملي ذات المياه العذبة وقد اقترح لذلك عدة حلول وهي:

1 اصلاح البئر واستخدامها وذلك باستخداممعدات مساعدة على التحقق من البئر وحالتها مثل كاميرا الابار او جهاز قياس الموصلية داجل البئر.

2 عزل اودفن طبقة الحجر الرملي ذات المياه العذبة لمنع تسرب المياه المالحة اليها.

3 دفن البئر كاملة عند انعدام امكانية تطبيق ايا من الحاليين السابقين.

ومن المقترح استخدام الحلول المقترحة بالترتيب للاستفادة من البئر وتوفير المبالغ المالية التي يمكن استخدامها لاغراض اخرى.

كما تم استعراض بعض الاقتراحات حول تحسين تغذية المياه الجوفية عن طريق زيادة الاستفادة من مياه الامطار والسيول باحدى طريقتين:

1 حجز هذه المياه في احواض او خزانات.

2 عمل حواجز قليلة الارتفاع لتكون قليلة التكلفة الامر الذي سيحسن من تغذية المياه الجوفية.

و ان استخدام ابار الحقن قد يكون حل افضل لزيادة سرعة وكمية التغذية الا ان هذه الطريقة مكلفة نسبيا،وهذه الطرق للتغذية تستخدم في دول مجاورة اخرى مثل عمان والمملكة العربية السعودية واثبتت جدواها.

كما تمت الاشارة في التوصيات الى ضرورة عمل ابحاث عن تاثير الملوثات على نوعية المياه بشكل اعمق سواء بسبب مياه الصرف الصحي او المواد النفطية او الاسمدة والمبيدات الزراعية و الاسراع في انشاء محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي المؤثرة على نوعية المياه،كما اوصي بمراقبة نوعية المياه الجوفية وايجاد ابار خاصة بذلك لتتم مراقبة نوعية المياه لكل طبقة مائية على حدة.

وقد تم عرض مشكلة الاطروحة ومناقشتها وكذا الحلول المقترحة بشكل مختصر في الشكل التالي:

**الاهداف**

**زيادة تغذية المياه الجوفية**

**الاستفادة من السيول**

**الحفاظ على التربة من الانجراف**

**الاهداف**

**الحد من الحفر العشوائي**

**الاستفادة من الابار الحالية**

**عدم الاضرار بالطبقات المائية**

**البعد التقني**

**1 عزل الطبقات ذات النوعية الرديئة**

**2 دفن طبقة المياه العذبة**

**3 دفن البئر**

**نوعية المياه**

**اسباب تدهور نوعية المياه**

**ـ الحفر العشوائي.**

**ـ مياه الصرف الصحي.**

**ـ النفط والوقود.**

**ـ الاسمدة والمبيدات الزراعية**

**وسيتم عرض حلول لاحد هذه المشكلات:**

**ـ الحفر العشوائي**

**1 البعد القانوني والمؤسسي.**

**2 البعد الاجتماعي.**

**3 البعد التقني**

**اسباب كمية المياه.**

**ـ ازدياد الطلب السنوي على المياه.**

**ـ استخدام الزراعة للطرق التقليدية في نقل المياه وري المحاصيل.**

**ـ ازدياد السحب من المياه الجوفية عن التغذية السنوية لطبقة المياه الجوفية(الميزان المائي**)

**كمية المياه**

**ابار الحقن**

**حفر احواض تخزين مياه الامطار في مجاري الوديان**

**عمل الحواجز الترابية ذات الارتفاعات القليلة**

**تغذية المياه الجوفية**

**مشكلة المياه في وادي حضرموت تنقسم الى قسمين**

**شكل يوضح الاطار العام للاطروحة**