EVALUATION OF MARGINAL-QUALITY WATER TREATMENT AND USES BASED ON SOLAR ENERGY TECHNIQUES

By

KARIM MOHAMED ABOELGHAIT AWADALLAH

B. Sc. Agric. Sc. (Agric. Engineering), Zagazig University, 2008

A thesis submitted in partial fulfillment

Of

The requirements for the degree of

MASTER OF SCIENCE

in

Agricultural Science

(Agricultural Engineering)

Department of Agricultural Engineering

Faculty of Agriculture

Ain Shams University

2015

Approval Sheet

EVALUATION OF MARGINAL-QUALITY WATER TREATMENT AND USES BASED ON SOLAR ENERGY TECHNIQUES

By

KARIM MOHAMED ABOELGHAIT AWADALLAH

B. Sc. Agric. Sc. (Agric. Engineering), Zagazig University, 2008

This thesis for M. Sc. Degree has been approved by:

Dr. Samir Ahmed Tayel ……...

Prof. Emeritus of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Al-Azhar University

Dr. Yehia Abd-Razek Heikal …….

Prof. Emeritus of Food Sciences, Faculty of Agriculture, Ain Shams University

Dr. Moustafa Fahim Abd- Elsalam ……

Associate Prof. of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University

Dr. Mohamed Nabil El Awady ……..

Prof. Emeritus of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University

DATE OF EXAMINATION: 17/2/2015

EVALUATION OF MARGINAL-QUALITY WATER TREATMENT AND USES BASED ON SOLAR ENERGY TECHNIQUES

By

KARIM MOHAMED ABOELGHAIT AWADALLAH

B. Sc. Agric. Sc. (Agric. Engineering), Zagazig University, 2008

Under the supervision of:

Dr. Mohamed Nabil El Awady

Prof. Emeritus of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University. (Principal supervisor)

Dr. Moustafa Fahim Mohammed Abd- Elsalam

Associate Prof. of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University.

Dr . Ahmed Elfatih Farrag

Associate Prof.; Head of Mechanical Engineering Department, National Research Center.

Acknowledgments

First of all, thanks to **Allah** for his blessings

I wish to express my deep appreciation and gratitude to **Prof. Dr. Mohamed Nabil El Awady**, department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University for his kind supervision through this work. I am grateful for his valuable discussions, suggestions and helpful criticism, which helped me to implement this work.

I wish to express my sincere gratitude and appreciation to **Prof. Dr. Moustafa Fahim Mohammed Abd-Elsalam,** department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain Shams University for his kind supervision, continuous encouragement and valuable advices through this work.

I wish to express my sincere gratitude and appreciation to **Prof. Dr. Ahmed Elfatih Farrag,** Mechanical Engineering Department, National Research Center for his kind supervision and helping me to overcome all barriers to finish this work.

My gratitude also goes to the Academy of Scientific Research and Technology **ASRT** for making this study possible by providing its funding. I acknowledge the contribution and the support of **National Research Center**, which was the undertaking place of implementing the search. Thanks also to my colleagues in Water Pollution Research Department specially **Dr. Ibrahim Abdelfattah**, **Prof. Dr. Hamdy El Awady** , **Prof. Dr. Fayza Nasr** and all my lab team for their help to me.

The most special thanks go to my family, especially to my **father** and my **mother** for being such a big source of supporting and encouragement to me.

Author

ABSTRACT

Karim Mohamed Aboelghait Awadallah: Evaluation of Marginal-Quality Water Treatment and Uses Based on Solar Energy Techniques. Unpublished M. Sc. Thesis, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Ain shams University, 2014

The present study introduces an application of solar energy in water treatment and desalination for small scale needs. A lab scale solar system is used for brackish and agricultural drainage water (ADW) treatment and desalination. ADW passes through sand filter to solar collector, and then the heated water enters to evaporating chamber maintained at low pressure. Once the hot water enters to this chamber it is evaporated and condensed to fresh water. The effect of the different factors such as solar radiation, vacuum pressure, cooling water flow rate and inlet water temperature on system productivity was studied. An economic analysis was conducted to estimate the cost of water production by the proposed system. The system was efficient to reduce Total Dissolved Solid (TDS) from (1500-2400 mg/lit to less than 15 mg/l) and to reduce the Chemical Oxygen Demand (COD) from (50- 90mg/lit to less than 5 mg/lit).The proposed system gives a reasonable production of fresh water up to 5 lit/m^2/day with total cost 0.1 LE/lit. The system achieved gained output ratio (GOR) was about 1.2 and distillation efficiency was about 52%.

Key words

Marginal quality water - solar energy - flashing process - water desalination

تقييم معالجة وإستخدامات المياه محدودة الجودة إعتمادا على تقنيات الطاقة الشمسية

رسالة مقدمة من

كريم محمد أبوالغيط عوض الله

بكالوريوس علوم زراعية (هندسة زراعية)، جامعة الزقازيق، 2008

للحصول على

درجة الماجستير فى العلوم الزراعية

(هندسة زراعية)

قسم الهندسة الزراعية

كلية الزراعة

جامعة عين شمس

2015

صفحة الموافقة على الرسالة

تقييم معالجة وإستخدامات المياه محدودة الجودة إعتمادا على تقنيات الطاقة الشمسية

رسالة مقدمة من

كريم محمد أبوالغيط عوض الله

بكالوريوس علوم زراعية (هندسة زراعية)، جامعة الزقازيق، 2008

للحصول على

درجة الماجستير فى العلوم الزراعية

(هندسة زراعية)

وقد تم مناقشة الرسالة والموافقة عليها

اللجنة

د. سمير أحمد طايل .....

أستاذ الهندسة الزراعية المتفرغ، كلية الهندسة الزراعية، جامعة الأزهر

د. يحيى عبدالرازق هيكل .....

أستاذ علوم الأغذية المتفرغ، كلية الزراعة، جامعة عين شمس

د. مصطفى فهيم محمد عبد السلام .....

أستاذ الهندسة الزراعية المساعد، كلية الزراعة، جامعة عين شمس

د. محمد نبيل العوضي .....

أستاذ الهندسة الزراعية المتفرغ، كلية الزراعة، جامعة عين شمس

تاريخ المناقشة 17/2/2015

جامعة عين شمس

كلية الزراعة

رسالة ماجيستير

اسم الطالب : كريم محمد أبوالغيط عوض الله

عنوان الرسالة : تقييم معالجة وإستخدامات المياه محدودة الجودة إعتمادا على تقنيات الطاقة الشمسية

لجنة الإشراف

د. محمد نبيل العوضي

أستاذ الهندسة الزراعية المتفرغ، كلية الزراعة، جامعة عين شمس (المشرف الرئيسي)

د. مصطفى فهيم محمد عبد السلام

أستاذ الهندسة الزراعية المساعد، كلية الزراعة، جامعة عين شمس

د. أحمد الفاتح فراج

أستاذ ورئيس قسم الهندسة الميكانيكية، المركز القومى للبحوث

تاريخ التسجيل :2011 / 3 / 31

الدراسات العليا

ختم الإجازة **أجيزت الرسالة بتاريخ**

17/ 2 / 2015

موافقة مجلس الكلية **موافقة مجلس الجامعة**

9 / 3 / 2015 **/ / 2015**

المستخلص العربى

أصبح إستخدام المصادر غير التقليديه للمياه ضرورة ملحه في الوقت الراهن لمواجهة العجز المائي ولسد إحتياجات مصر المائية لتحقيق التنمية المنشودة في الزراعة والصناعة وغيرها. ومن أهم مصادر المياه غير التقليدية في مصر هي مياه الصرف الزراعي حيث تشكل هذه المياة تقريبا 17 مليار متر مكعب والمياه متوسطة الملوحة (Brackish water). يعتمد النموذج المقترح لمعالجة المياه علي استخدام الطاقة الشمسية عن طريق إستخدام وحدة بسيطة تعتمد علي مبدأ التبخير الومضي لتقطير هذه المياه حيث تبلغ نسبة المياه المحلاة بهذه الطريقة فى العالم حوالى 60%. وتستخدم الطاقة الشمسية في صورة حرارية لرفع درجة حرارة هذه المياه وتبخيرها ، كما تستخدم الطاقة الشمسية أيضا لإمداد النموذج المقترح بالطاقة الكهربية اللازمة لتشغيل مضخة التفريغ وكذلك مضخة مياه التبريد اللازمه لدفع مياه التبريد خلال المبادل الحرارى عن طريق خلية كهروضوئية Photovoltaic cell (150 watt, Polycrystalline and 12 volt) وملحق بهذه الخلية منظم للشحن وبطارية لتخزين الطاقة الكهربية بسعة 100 امبير.ساعه وبعد البطارية تمر الكهرباء على المحول لتحويلها من التيار المستمر(12 volt) الى التيار المتردد(220 volt) . تمر المياه أولاً علي مرشح رملي مكون من طبقة من الرمل الخشن وطبقة أخرى من الحصى وذلك لإزالة المواد العالقة فيها والتى قد تتسبب فى حدوث إنسدادات فى المراحل التالية ثم تدخل هذه المياه بعد ذلك علي مجمع شمسي من النوع المسطح ابعاد (150×90×15 cm) والمصنوع من أنابيب نحاسية مدعمة بريش نحاسية لزيادة الحرارة الممتصه وبعد رفع درجة حرارة المياه إلي الدرجة المطلوبة تدخل هذه المياه إلي غرفة التبخير وهى عبارة عن غرفة مصنوعه من ألواح الأكريلك بسمك 10 mm وأبعاد (40×30×40) وهذه الغرفه مثبتة تحت التفريغ (ضغط أقل من الضغط الجوي) عن طريق إستخدام مضخة تفريغ (100watt and 220 volt) تعمل بالكهرباء المتولدة من الخلية الكهروضوئية وبمجرد دخول المياه الساخنه الى غرفة التبخيرتكون هذه المياه فوق نقطة الغليان فيحدث التبخير الومضي لهذه المياه ، ثم يتم تكثيفها على مبادل حرارى مصنوع من أنابيب نحاسية وبمساحه سطحية حوالى $1400cm^2$ والمثبت فى قمة غرفة التبخير لإنتاج المياه المعالجة أو المحلاة ويستفاد فى هذه الحالة بتمرير المياه الخارجه من المرشح الرملى فى أولا من خلال هذا المكثف لعمل تسخين مبدئي لها قبل دخولها إلى المجمع الشمسى. وقد تم دراسة جودة المياه المعالجه باستخدام هذا النموذج لتحديد مدي كفاءته في معالجة هذه النوعية من المياه وتم الحكم على جودة المياه الناتجة عن طريق قياس مجموعه من الخواص الكيميائية والفيزيائية لكل من المياه الداخلة إلى النموذج والمياه المعالجة مثل المواد الذائبة الكلية ، المواد العالقة الكلية ،الاكسجين الكيميائي الممتص ، الأكسجين الحيوى الممتص

والعناصر الثقيلة بالإضافة الى مجموعة من الخواص الاخرى. وتم أيضا دراسة العوامل التي تؤثر علي إنتاجية النموذج المقترح مثل شدة الإشعاع الشمسى ، الضغط داخل غرفة التبخير، درجة حرارة دخول المياه الى غرفة التبخير ، معدل دخول المياه الساخنة إلى غرفة النبخير، درجة حرارة مياه التبريد المارة من خلال المبادل الحرارى و معدل دخول مياه التبريد. كذلك تم دراسة كفاءة أداء هذا النموذج من خلال كفاءة عملية التحلية وكذلك من خلال نسبة الإستفادة وتم دراسة الناحية الإقتصادية والبيئية لهذا النموذج لمعرفة تكلفة استخدام هذا النموذج فى معالجة وتحلية المياه وكذلك التأثيرات الجانبية على البيئة حتى يتم تحديد مدي كفائته في تحلية المياه. وأوضحت النتائج مايلي:

- يمكن تحقيق إزالة للمواد العضوية بنسبة 97% حيث انخفت قيمة الاكسجين الكميائي الممتص من 90 ملجم/لتر الى 3 ملجم /لتر وكذلك إزالة الأملاح الموجودة في هذه المياه بنسبة وانخفضت الاملاح الكلية الذائبة من 2200 ملجم/لتر الى 14 ملجم/لتر بنسبة إزالة 99%.
- لا تتأثر جودة المياه المعالجة التي يتم الحصول عليها بإستخدام هذا النموذج بجودة المياه الغير معالجة.
- النموذج المقترح يمكنه إنتاج 5 لترمن المياه المحلاه/ لكل متر مربع/يوم من مساحة المجمع الشمسي
- بلغت تكلفة انتاجية اللتر الواحد من المياه حوالى 16 قرش فى حالة عمر إفتراضى للنموذج 15 سنة وبلغت 21 قرش فى حالة عمر افتراضى 10 سنوات (مع الاخذ فى الاعتبار ان تكلفة انتاج كيلووات وات .ساعه من الخلية الشمسية 50 قرش بينما يبلغ السعر فى الكهرباء المدعمه 8 قروش للكيلو وات.ساعه)
- تزداد الإنتاجية للنموذج المقترح بزيادة كلا من شدة الاشعاع الشمسي، درجة حرارة دخول المياه لغرفة التبخير ، التفريغ داخل غرفة التبخير وكذلك معدل مياه التبريد المارة خلال المبادل الحرارى.
- تقل الإنتاجية للنموذج المقترح بزيادة معدل دخول المياه الساخنة الي غرفة التبخير وبزيادة درجة حرارة مياه التبريد.
- حقق النموذج المقترح كفاءة حرارية بمتوسط 52% وكذلك معامل استفادة (GOR) وصلت إلي 1.2.
- النموذج المقترح ليس له أي آثار جانبية علي البيئة حيث أن الطاقة المستخدمة يتم الحصول عليها من الشمس.

CONTENTS

Subject	Page
LIST OF TABLES	v
LIST OF FIGURES	vi
LIST OF ABBREVIATIONS	ix
1- INTRODUCTION	1
2-LITERATURE REVIEW	3
2-1: Water situation in Egypt	3
2-1a: Water resources and requirement	3
2-1b: Water scarcity in Egypt	3
2-2: Agricultural Drainage Water (ADW) treatment technologies	4
2-3: Solar energy in wastewater treatment	11
2-4: Water desalination by vacuum and flashing processes	16
3- MATERIALS AND METHODS	21
3-1: Pretreatment stage	22
3-2: Heating stage	22
3-2a: Flat- plate collector	23
3-3: Evaporating and condensing stage	23
3-3a: Evaporating chamber	23
3-3b: Heat Exchanger (HE)	24
3-3c: Electrical Motor Pump	25
3-3d: Distilled water collecting basins	26
3-3e: Vacuum pump	26
3-3f: Flashing principle	28
3-4: Solar electrical power generation components	29
3-4a: Photovoltaic module	30
3-4b: Charger, relay	31

3-4c: Inverter 32

3-4d: Battery 32

3-5: Sampling and analytical methods 34

3-5a: Sampling 34

3-5b: Analytical methods 34

3-5b1: Physico-chemical analysis 34

3-5b2: Heavy metals analysis 34

3-5b3: biological analysis 34

3-6: Mass and heat balances around the evaporating chamber 36

3-6a: Salt mass balance on solute in evaporating chamber 36

3-6b: Energy balance for Volume of water in evaporating chamber 37

3-7: System performance evaluation 37

3-7a: Solar collector efficiency 37

3-7b: Gain Output Ratio(GOR) and performance ratio 38

3-7c: System efficiency 39

3-7d:Economic study 39

3-7d1: Cost according(Goosen et al., 2000, Shatat et al.,2013) 40

3-7d2: Cost according to (Awady, 1978) 41

4-RESULTS AND DISCUSSION 43

4-1: Water Quality 43

4-1a: Total Dissolved Solid (TDS) 44

4-1b: Total Suspended Solid (TSS) 44

4-1c: Chemical Oxygen Demand (COD) 45

4-1d: Biological Oxygen Demand (BOD) 46

4-1e: Sodium Adsorption Ratio (SAR) 47

4-1f: Complete analysis for water before and after the treatment 47

process
4-2: Water productivity 49
4-2a: Effect of solar radiation (G) on produced amount of condensed water 49
4-2b: Effect of pressure reduction (suction) on system productivity 51
4-2c: Effect of feed water temperature on system productivity 52
4-2d: Effect of cooling water rate in the heat exchanger and feed water temperature and inlet water temperature on system productivity 53
4-2e: Effect of feed water rate to evaporating chamber on the productivity of the system 54
4-2f: Effect of internal side basins and condenser area on system productivity 56
4-2g: Dimensionless groups attempt 56
4-3: System performance evaluation 59
4-3a: Gained Output Ratio (GOR) 59
4-3b: Distillation efficiency of the system 60
4-3c: Production cost 60
4-4: Solar fraction 64
4-4a: Energy consumed by the proposed system per lit from distilled water 64
4-4b: Energy generated by system 64
4-5: Environmental impact 65
5-SUMMARY AND CONCLUSION 67
6-APPENDIX 69
1-6:Saturated water temperature tables 69
2-6: Dimensionless groups attempt 71

3-6: Solar collector Productivity 73

4-6:Copper sulfate removal 74

7-REFERENCES 75

LIST OF TABLES

Table NO.	Subject	Page
1	Water availability and water demand for Egypt.	3
2	Estimated annual production cost and cost per m^3 for different schemes.	8
3	Photovoltaic module characterization.	30
4	Description and costs of the components of the present solar treatment system, 2013.	39
5	Water quality before and after treatment	48
6	Comparison between water desalination cost by different technology.	63
A-1	Saturated water-Temperature table	69
A-2	Data used to plot the relation between $\frac{\dot{Q}r \times h}{G}$ and $\frac{\dot{m}_{feed} \times P}{Q_{cond}}$ as in Fig. (54).	72
A-3	Solar collector Productivity.	73