تقييم الوضع الراهن لجودة مياه الشرب في مدينة بورتسودان (المصدر خور أربعاءات)

Mustafa SirElkhatim Mustafa^{1, *}, Abu baker Taha Bakheit², Abu baker Ahmed Osman³, Elgaily Mohammed Ahamed⁴

¹ Chemical Engineering Department, Red Sea University, Port Sudan, Sudan.

² Civil Engineering Department, Red Sea University, Port Sudan, Sudan.

³ Civil Engineering Department, Valley Nile University, Atbara, Sudan.

⁴ Civil Engineering Department, Omdurman Islamic University, Omdurman, Sudan

* Corresponding author: Mustafa SirElkhatim (abulogain2007@gmail.com).

Article history: Received 27 March 2019, Received in revised form 12 March 2020, Accepted 05 April 2020

ABSTRACT: Port Sudan city suffers from scarcity and quality in drinking water, where the daily consumption of drinking water was estimated at 120000-150000 m³/day, and the water available from various sources (Khor Arbaat and groundwater) ranges from 60000-30000 m³/day with a water deficit of about 66%. On the analytical method that relies on taking water samples from the source of the Khor Arbaat, as well as from the ground tanks and some houses inside the city and determining its coordinates. Also, the geographical information systems program (Arc-Map) was used, using the Kriging method, to study the distribution of water properties based on coordinates and sample results. Two digital maps were produced showing the spatial distribution of these characteristics. The chemical, physical and microbiological properties of all samples were analyzed. The results indicated that they do not conform to the Sudanese specifications for drinking water, and thus cause the transmission of many diseases that affect human health. The study is considered a basic study for the water of Port Sudan city, so we recommended that the quality of water must be evaluated and treated by conducting physical, chemical and biological tests in order to avoid water-related diseases.

Keywords: Khor Arbaat; Port Sudan City; Water Quality.

المستخلص: تعاني مدينة بورتسودان من شح وجودة في مياه الشرب حيث يقدر الاستهلاك اليومي لمياه الشرب من 120-150 ألف متر مكعب في اليوم، والمياه المتوفرة من المصادر المختلفة (خور أربعاءات والمياه الجوفية) تتراوح من 30-60 ألف متر مكعب في اليوم بعجز مائي حوالي 66%. اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي الذي يعتمد على أخذ عينات من الماء من المصدر بخور أربعاءات وأيضاً من الخزانات الأرضية وبعض المنازل داخل مدينة بورتسودان وتحديد إحداثياتها. أيضاً تم استخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Arc-Map) وباستخدام طريقة Kriging لدراسة توزيع خصائص المياه بالاعتماد على الاحداثيات ونتائج العينات وقد تم انتاج خريطين رقميتين تبين التوزيع المكاني لهذه الخصائص. حلت الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية لجميع العينات وأشارت النتائج إلى عدم مطابقتها للمواصفات السودانية لمياه الشرب، وبالتالي تتسبب في نقل كثير من الأمراض التي تؤثر على صحة الإنسان. تعتبر الدراسة دراسة أساسية لمياه مدينة بورتسودان، لذا يجب تقييم ومعالجة نوعية المياه عن طريق إجراء الاختبارات الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية وذلك لتفادي الأمراض والمشاكل المتعلقة بالمياه.

كلمات مفتاحية: خور أربعاءات، مدينة بورتسودان، جودة المياه.

1. المقدمة

حوالي 66% وهذا يعطي صورة واضحة عما تعانيه مدينة بورتسودان من شح في مياه الشرب. يعتبر خور أربعاءات المصدر الرئيس الذي يغذي مدينة بورتسودان التي تعتبر ثاني أكبر مدن السودان بعد العاصمة الخرطوم وميناء السودان الأول.

ينبع خور أربعاءات من سلسلة جبال البحر الأحمر ويصب في البحر الأحمر ويفيض بكميات كبيرة من المياه في موسمي الصيف والشتاء نتيجة لنظام أمطار تلك المنطقة و يتصف خور أربعاءات كغيره من

مدينة بورتسودان تقع في منطقة شبة جافة ويبلغ تعداد السكان حوالي 401400 نسمة (اعتماداً على التعداد السكاني عام 2010م بمعدل نمو 5%) [1]، ويقدر الاستهلاك اليومي لمياه الشرب من 120-150 ألف متر مكعب في اليوم والمياه المتوفرة من المصادر المختلفة (خور أربعاءات والمياه الجوفية) تتراوح من 30-60 ألف متر مكعب بعجز مائي

ب. العمل الحقلى الأول والذي أعتمد على أخذ عينات المياه السطحية من بحيرة أعلى البوابة والخزان الرابع و أخذ عينات المياه الجوفية من الآبار رقم (52، 61، 65).

ت. العمل الحقلى الثانى والذي أعتمد على أخذ عينات المياه من الخزانات الأرضية (خزان رقم 3 تحت الصيانة) ومياه الشبكة الموصلة إلى المنازل.

ث. العمل الحقلى الثالث والذي شمل أخذ عينات من الخطوط الناقلة للمياه عند الكيلو 14.

ج. تحليل عينات المياه بمعمل الكيمياء العامة بكلية الهندسة جامعة البحر الأحمر ومعمل المياه المركزى - هيئة مياه ولاية البحر الأحمر.

1.2 العمل الحقلى (Field Work):

أخذت 16 عينة من الماء شملت المياه السطحية والجوفية بخور أربعيات بالإضافة إلى عينات من المياه المنزلية (Tap Water) وعدد من الخزانات الأرضية (Ground Reservoirs) داخل مدينة بورتسودان وذلك من خلال عدد 3 زيارات حقلية فى الفترة من يناير وحتى مارس 2018، والجدول (1) يوضح أماكن أخذ العينات. جميع عينات الماء تم أخذها باستخدام جهاز أخذ العينات (Water Sampling) كما هو موضح بالشكل (1).

الشكل (1): جهاز أخذ عينات الماء

خيران شرق السودان الموسمية بالإنحدار الشديد إذ يبلغ حوالى (6) 10 m/Km - مما ينتج عنه سرعات كبيرة والتي تصل إلى (4m/sec)، لذا يجلب معه فى فترة الفيضان كميات كبيرة من الإطماء (تصل إلى ما يزيد عن 1892 طن سنوياً) والتي تترسب عند السدود [2]. هنالك ثلاثة سدود بمنطقة الدراسة وهم سد أعلى البوابة العليا و سد الفاضلابى و الخزان الرابع، وهى مقامة بغرض تخزين المياه السطحية فى منطقة أربعيات (شمال غرب مدينة بورتسودان) بغرض توفير مياه الشرب لمدينة بورتسودان [3].

لا توجد وحدات معالجة متكاملة لمياه خور أربعيات ولكن توجد معالجة تتمثل فى إضافة الكلور فى الخزانات الأرضية داخل المدينة، إضافة إلى ترسيب الإطماء فيها مما أدى إلى نقص السعة التصميمية لها وعدم عمل البوابات التحتية.

إن تقديم مياه غير مطابقة للمواصفات [4] تؤدي إلى إنتقال الأمراض المتعلقة بالماء مثل التيفويد، الكوليرا والإيرقان وغيرها من الأمراض التي تعتبر واحدة من أبرز المشاكل الصحية، علماً بأن الأمراض المتعلقة بالماء تؤثر على النمو الاقتصادي و أنظمة الرعاية الصحية.

1.1 منظومة الإمداد المائى (Water Supply System)

تبدأ منظومة الإمداد المائى لمدينة بورتسودان من هضبة جبال أدرس حيث تنحدر المياه قاطعة مسافات طويلة مكونة خور أربعيات. يتم تغذية المياه إلى المدينة عبر السدود المقامة ما بين البوابة العليا والسفلى والآبار الجوفية، وهنالك ثلاثة سدود لتغذية المدينة بالمياه وتعتبر المصدر الأساسى للمياه العذبة فى المدينة السد الأول هو سد البوابة العليا بخور أربعيات أما السد الثانى فهو سد الفاضلابى (هيئة الموانئ البحرية) وتم إزالته فى العام 2013 ، والثالث هو الخزان الرابع، ثم تنقل المياه عبر ستة خطوط رئيسية ناقلة للمياه من الخور للمدينة، يتم سحب مياه الآبار مع مياه السدود عبر هذه الخطوط لتخزن فى 6 خزانات أرضية رئيسية داخل المدينة و من ثم توزع عبر الشبكة الداخلية للمياه [3] ، وتتعرض الخزانات الأرضية إلى نقص كبير فى السعة التخزينية نتيجة لترسب الطمي بكميات كبيرة فى فترة الفيضانات عبر الخطوط الرئيسية من المصدر إلى المدينة مما يؤدي إلى قفل شبكات توزيع المياه الفرعية بالمدينة.

2.1 أهداف الدراسة (Aims and Objectives):

1. دراسة جودة المياه السطحية بخور أربعيات.
2. دراسة جودة المياه الجوفية بخور أربعيات.
3. دراسة جودة مياه الخزانات الأرضية وشبكة توزيع المياه.
4. تحليل عينات المياه ومقارنتها بالمواصفات السودانية والعالمية.

2. منهجية البحث (Methodology):

تعتمد الدراسة على المنهج التحليلي الذي يعتمد على أخذ عينات من الماء من المصدر بخور أربعيات وأيضاً من الخزانات الأرضية وبعض المنازل داخل مدينة بورتسودان وتحديد إحداثياتها ومن ثم تم عمل خريطة باستخدام برنامج (Arc-Map) وباستخدام طريقة Kriging لدراسة توزيع خصائص المياه بالاعتماد على الإحداثيات ونتائج العينات وقد تم إنتاج خريطين رقميتين تبين التوزيع المكاني لهذه الخصائص. أتبع الباحثين فى هذه الدراسة منهجية متكاملة لعرض نوعية وجودة المياه بمنطقة الدراسة وذلك للوصول لأهداف البحث وشملت النقاط التالية:

أ. عرض منظومة الإمداد المائى (Water Supply System)

لمنطقة الدراسة ابتداءً من المصادر وحتى التوزيع.

2.2 جهاز أخذ عينات الماء (Water Sampling)

جهاز يستخدم لأخذ جزء من الماء لتحليلها أو غيرها من الإختبارات ، على سبيل المثال مياه الشرب للتحقق من أنها تتفق مع معايير جودة المياه ذات الصلة ، أو مياه النهر للتحقق من الملوثات الموجودة بها.

الجدول (1) : مواقع أخذ العينات وإحداثياتها

الرقم	إسم موقع أخذ العينة	نوع العينة	الإرتفاع (m)	الإحداثيات	
				N	E
1	سد أعلى البوابة	مياه سطحية	229.08	360 56' 21.4"	190 50' 03.4"
2	بئر رقم 52	مياه جوفية	149	370 00' 12.6"	190 48' 26.4"
3	بئر رقم 61	مياه جوفية	129	370 01' 37.9"	190 48' 22.4"
4	بئر رقم 65	مياه جوفية	108	370 03' 02.1"	190 48' 25.3"
5	السد الرابع	مياه سطحية	123	370 03' 07.4"	190 48' 08.6"
6	حي ترانسيت	ماء الصنبور	1	370 13' 08.1"	190 35' 15.6"
7	حي الثورة مربع 19	ماء الصنبور	-7	370 13' 26.6"	190 39' 01.8"
8	حي وسط المدينة	ماء الصنبور	6	370 13' 23.9"	190 37' 10.7"
9	خزان رقم 1	مياه سطحية و جوفية	0	370 13' 17.3"	190 37' 11.8"
10	خزان رقم 2	مياه سطحية و جوفية	-3	370 13' 10.1"	190 37' 22.4"
11	خزان رقم 4	مياه سطحية و جوفية	6	37° 13' 40.66"	19° 37' 20.99"
12	خزان رقم 5	مياه سطحية و جوفية	-13	370 12' 05.9"	190 39' 11.9"
13	خزان رقم 6	مياه سطحية و جوفية	-8	370 11' 56.7"	190 37' 33.6"
14	Eastern-16" منهول الشرقي عند الكيلو 14	مياه سطحية و جوفية	49	370 08' 04.2"	190 44' 07.5"
15	Downtown-20" منهول الأوسط عند الكيلو 14	مياه سطحية و جوفية	56	370 07' 54.2"	190 44' 02.1"
16	Southern-20" منهول الجنوبي عند الكيلو 14	مياه سطحية و جوفية	56	370 07' 42.4"	190 43' 58.4"

2.3 تحليل عينات المياه:

تم أخذ 500 مل من كل موقع لتحليل الخواص الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية لجميع العينات وذلك بمعمل الكيمياء - كلية الهندسة جامعة البحر الأحمر والمعمل المركزي لمياه ولاية البحر الأحمر والأشكال (3 أ) و (3 ب) تمثل نماذج من العينات.

الشكل (3 أ): نموذج من عينات المياه لإجراء الاختبارات الكيميائية والفيزيائية

الشكل (3 ب): نموذج لعينات اختبار المايكروبيولوجي^[5]

3. النتائج والمناقشة:

الجدول (2): أهم العوامل التي تؤثر علي جودة المياه 25 / 1/ 2018.

الرقم	اسم موقع أخذ العينة	البكتريا القولونية	الحديد (Fe+2) (mg/l)	الكبريتات (SO4) (mg/l)	جملة الأملاح الذائبة (mg/l)	المواد الصلبة العالقة (mg/l)	الرقم الهيدروجيني	الكور (mg/l)	العكارة (* NTU)
1	سد أعلى البوابة	غير موجودة	0.02	283**	381.8	0.02	7.8	140	11.3**
2	السد الرابع	غير موجودة	0.08	296**	408.4	0.6	8.3	133.8	14.1**
3	بئر رقم 52	غير موجودة	0.18	316**	604	0.2	7.6	200	3.3
4	بئر رقم 61	غير موجودة	0.20	336**	513	0.08	7.9	150	0.13
5	بئر رقم 65	غير موجودة	0.16	323**	572	0.1	7.6	170	5.9**
6	حي ترانسيت	موجودة**	0.21	362**	384.9	0.003	8.6**	133	2.1
7	حي وسط المدينة	غير موجودة	0.13	312**	371.4	0.007	8.3	138	1.4
8	حي الثورة مربع 19	موجودة**	0.05	343**	2510**	0.02	7.8	549**	2.3
9	Eastern-16" منهل الشرقي عند الكيلو 14	غير موجودة	0.04	291**	390.8	0.06	8.1	134	7
10	Downtown-20" منهل الأوسط عند الكيلو 14	غير موجودة	0.06	266**	385	0.21	8.3	124	6.4**
11	Southern-20" منهل الجنوبي عند الكيلو 14	غير موجودة	0.021	281**	386.8	0.091	8.2	120	6.3**
12	خزان رقم 1	غير موجودة	0.07	292**	376.7	0.103	8.1	68	4.3**
13	خزان رقم 2	غير موجودة	0.06	317**	385.9	0.136	8.1	126	7
14	خزان رقم 5	غير موجودة	0.04	251**	390.8	0.082	8.2	155.6	8.2**
15	خزان رقم 6	غير موجودة	0.09	320**	386.1	0.029	8.7**	128.2	8.3**
16	خزان رقم 4	موجودة**	0.073	312**	537.7	0.236	8.4	172	0.37

** : يدل علي تخطي المواصفة.

من الجدول أعلاه نلاحظ وجود البكتريا القولونية في ثلاث عينات وهذا يتنافي مع مواصفة المياه الصالحة للشرب التي تنص علي عدم وجود البكتريا القولونية [5]، [4]. وأيضا نلاحظ تخطي للقيم المسموح بها من قبل مواصفة مياه الشرب في كل من الكبريتات، جملة الأملاح الذائبة، الرقم الهيدروجيني، الكلور، العكارة حيث نجد أن القيم المسموح بها 250mg/l , 1000mg/l , (6.5-8.5), 5NTU , 250mg/l علي الترتيب [4]، [5].

الجدول (3): أهم العوامل التي تؤثر علي جودة المياه 25 / 1 / 2019.

الرقم	اسم موقع أخذ العينة	البكتريا القولونية	الحديد (Fe+2) (mg/l)	الكبريتات (SO4) (mg/l)	جملة الأملاح الذائبة (mg/l)	المواد الصلبة العالقة (mg/l)	الرقم الهيدروجيني	الكلور (mg/l)	العكارة (* NTU)
1	سد أعلى البوابة	موجودة**	0.18	332**	441.4	0.72	8.3	130	33.3**
2	السد الرابع	موجودة**	2.17**	212	257.3	1.16	7.6	75	3.6
3	بئر رقم 52	موجودة**	0.19**	221	429.2	0.66	7.9	100	34.6**
4	بئر رقم 61	موجودة**	2.26**	278**	436.1	2.11	7.9	110	3.5
5	بئر رقم 65	موجودة**	1.13**	271**	515.1	1.11	8.9**	140	59.5**
6	حي ترانسيت	موجودة**	0.68**	298**	620	0.77	8.1	230	25.8**
7	حي وسط المدينة	غير موجودة	0.17	296**	421.8	0.92	8.4	122	5.4**
8	حي الثورة مربع 19	موجودة**	0.96**	242	390.6	0.39	7.7	300**	2.6
9	Eastern-16" منهول الشرقي عند الكيلو 14	موجودة**	0.93**	361**	404.9	0.32	7.9	120	22.2**
10	Downtown-20" منهول الأوسط عند الكيلو 14	موجودة**	1.11**	196	424.9	0.61	7.9	169	17.1**
11	Southern-20" منهول الجنوبي عند الكيلو 14	موجودة**	1.76**	306**	454.9	0.63	8.2	130	13**
12	خزان رقم 1	موجودة	0.96**	276**	402.1	0.61	7.8	110	6.7**
13	خزان رقم 2	موجودة**	0.73**	217	420.2	0.12	7.8	192	14.6**
14	خزان رقم 5	غير موجودة	3.16**	226	401.2	0.92	7.7	176	18.4**
15	خزان رقم 6	موجودة**	0.51**	371**	418.6	0.11	7.8	194	11.5**
16	خزان رقم 4	موجودة**	0.92**	198	554.5	0.65	7.8	238	2.5

** : يدل علي تخطي المواصفة.

من الجدول أعلاه نلاحظ أن أغلب العينات ملوثة بالبكتريا القولونية وبقية المحددات الأخرى وهذا دليل علي عدم معالجة المياه من المصدر وعليه فإن

المياه غير صالحة للشرب [4] [5] .

وبالمقارنة بين الجدول (3) و الجدول (2) من حيث عامل البكتريا القولونية نجد أن 88% و 19% من العينات غير مطابقة للمواصفات السودانية لمياه

الشرب ، وهذا المحدد وحده كفيل بجعل الماء غير صالح للشرب ، وفي هذه الفترة كانت مدينة بورتسودان تعاني من إنتشار حمي الشيكونيغونيا .

الشكل (4) : توزيع العكارة باستخدام (Arc-Map and Kriging Method)

الشكل (5) : توزيع الأملاح الكلية المذابة باستخدام (Arc-Map and Kriging Method)

الشكل (6) : توزيع الكبريتات باستخدام (Arc-Map and Kriging Method)

الأشكال 4 ، 5 ، 6 تمثل توزيع بعض المحددات علي منطقة الدراسة من النتائج في الجدولين 2 ، 3 مثل العكارة، الأملاح الكلية المذابة و الكبريتات بالترتيب ، وذلك بإستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Arc-Map) .

4. الإستنتاجات والتوصيات:

(Conclusion and Recommendation)

- 1/الإيفاء بمتطلبات ماء ذو نوعية (طبيعية وكيميائية وحيوية) مقبولة لاستخدامها للشرب والاستخدامات الأخرى حسب ما توصي به منظمة الصحة العالمية (WHO) والمواصفات السودانية لمياه الشرب.
- 2/ تصميم محطة معالجة متكاملة لمياه خور أربعاء.
- 3/ يجب إنشاء خزانات بمواصفات فنية خاصة وسعات كبيرة لتواكب النمو والتطور بالمدينة.

تقييم نوعية المياه مهمة جدا لتفادي الأمراض والمشاكل المتعلقة بالمياه، وكذلك يجب التأكد من المياه بالمصدر واختبار صلاحيتها للشرب عن طريق اجراء الاختبارات الفيزيائية، الكيميائية والبيولوجية. في هذه الدراسة تم أخذ بعض العينات من المصدر والمنازل وعدد من الخزانات الأرضية والخطوط الناقلة الرئيسة للمياه وإجراء الاختبارات عليها بمعمل كلية الهندسة وهيئة مياه ولاية البحر الأحمر، وخلصت الدراسة الى أن المياه بالمدينة غير نفية وغير مطابقة للمواصفات السودانية (SSMO)، وتوصي بالآتي:

[5] Mark D. Sobsey and Frederic K. Pfaender- Department of Environmental Sciences and Engineering, School of Public Health University of North Carolina, Chapel Hill, NC 27599. Evaluation of the H2S Method for Detection of Fecal Contamination of Drinking Water.

[6] Guidelines for Drinking-water Quality THIRD EDITION INCORPORATING THE FIRST AND SECOND ADDENDA Volume 1 Recommendations- World Health Organization - Geneva 2008

4 / البحث بعمق عن علاقة حمى الشيكونيغونيا بمياه الأمطار والخيران.

5. المراجع: (References)

[1] Mustafa SirElkhatim Mustafa. Determination of a landfill site for Port Sudan city. First Conference on Civil Engineering 13-15 Dec. 2016 – Merowe – Sudan. Sudan Engineering Society Journal

[2] A Summary of Survey in Reservoirs of the Red Sea State, Sudan water Harvesting Project, SINOHYDRO- Bureau 5 Co-Ltd, December 2010.

[3] Port Sudan Water and Sanitation Rehabilitation and Expansion Assessment and Programme Design - Master Master Plan Report Volume2: Water Supply - September 2015.

[4] الهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس (SSMO)، مواصفة مياه الشرب، 2008.