Empowered lives.
Resilient nations.

الدليل الإرشادي
لمعالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها
ولحصاد مياه الأمطار وتجميعها
في منزلك

الجمعية العلمية الملكية
Royal Scientific Society

Copy Rights © 2018

All Rights Reserved to the United Nations Development Programme (UNDP) and OPEC Fund for international Development (OFID). No part of this publication may be produced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission by UNDP and OFID. However, sharing the knowledge presented in this script for educational and development purposes is highly encouraged.

حقوق الطبع والنشر © ٢٠١٨

جميع الحقوق محفوظة لبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي وصندوق أوبك للتنمية الدولية (أوفيد). لا يجوز نسخ أي جزء من هذا المنشور, أو تخزينه في نظام استرجاع المعلومات, أو نقله بأي صورة أو أي وسيلة, سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بالنسخ الضوئي أو التسجيل على أشرطة أو خلاف ذلك من دون إذن مسبق من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي وصندوق أوبك للتنمية الدولية. إلا أن مشاركة المعرفة الواردة في هذا الكتيب للأغراض العلمية والتنموية مرحب به.

هذا الدليل:

يأتي هذا الدليل كمُخرج من مخرجات مشروع «تعزيز سبل تكيف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة» والمنفذ من برنامج الأمم المتحدة الإنمائي بتمويل من صندوق أوبك للتنمية الدولية (أوفيد) وبالتعاون مع الجمعية العلمية الملكية خلال عامي ٢٠١٧-٢٠١٨.

إعداد

قسم دراسات المياه

مركز البيئة والمياه

الجمعية العلمية الملكية

د. المؤيد السيد

م. رولى عيّاش

م. نانسي الزق

م. فداء جبريل

م. آيات هزايمة

م. محمد مشاتلة

م. رنا عارضة

م. مراد سعدون

م. مجد الحاج قاسم

مراجعة وتدقيق

د. نضال العوران : برنامج البيئة والتغير المناخي/ برنامج الأمم المتحدة الإنمائي

م. ميسم العتوم : برنامج البيئة والتغير المناخي / برنامج الأمم المتحدة الإنمائي

رنا صالح : برنامج البيئة والتغير المناخي / برنامج الأمم المتحدة الإنمائي

م. رأفت عاصي : مدير مركز البيئة والمياه / الجمعية العلمية الملكية

تصميم ورسومات:

م. أمجد عابد

مايا عامر

• قائمة المحتويات

الجزء الأول: معالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها

الفصل الأول: المياه الرمادية؛ تعريفها, كميتها, نوعيتها..... 4

الفصل الثاني: معالجة المياه الرمادية 12

الفصل الثالث: إعادة استخدام المياه الرمادية والتشريعات الأردنية ذات العلاقة 23

الفصل الرابع: فوائد معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية 27

الفصل الخامس: الجدوى الاقتصادية لأنظمة معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية..... 31

الجزء الثاني: حصاد مياه الأمطار وتجميعها

الفصل الأول: حصاد مياه الأمطار: التعريف والفوائد 37

الفصل الثاني: الأبعاد التصميمية لأنظمة حصاد مياه الأمطار..... 44

الفصل الثالث: رفع الوعي وبناء القدرات المتعلقة بحصاد مياه الأمطار 55

الفصل الرابع: نوعية مياه حصاد الأمطار المنزلية وأنواع الخزانات المستخدمة 59

الفصل الخامس: الجدوى الاقتصادية لمشاريع حصاد مياه الآبار المنزلية 66

المراجع 70

تمهيد

تعتبر مشكلة ندرة المياه واحدة من أهم التحديات البيئية الخطيرة التي تواجه العالم بشكل عام والدول النامية بشكل خاص. عانى الأردن وما يزال من مشكلة العجز المائي وقلة الموارد المائية المتاحة مع الزيادة المستمرة في الطلب على المياه, إذ تفاقمت مشكلة العجز المائي في السنوات الأخيرة نتيجة لقلة الموارد المائية المتاحة وتغير المناخ وما يتبعه من ارتفاع في درجات الحرارة وتناقصٍ في كميات الأمطار, إضافة إلى الزيادة المفاجئة في أعداد السكان نظراً لزيادة تدفق اللاجئين من الدول المجاورة منذ عام ٢٠١١, حيث بلغ عدد سكان الأردن في عام ٢٠١٥ حوالي ٩,٥ مليون نسمة وبمعدل نمو (١,٩٤%) وهو أعلى من المعدل العالمي والبالغ (١,٧%). وقد ساهمت هذه العوامل مجتمعة في تصنيف الأردن كثاني أفقر دول العالم بالنسبة للموارد المائية, إذ أن حصة الفرد السنوية من المصادر المتجددة أقل من ١٠٠م٣/ فرد وهي أقل بكثير من مستوى خط الفقر المائي العالمي البالغ ٥٠٠ م٣/ فرد سنوياً.

ولإيجاد حلول لهذه المشكلة, قامت وزارة المياه والري بتطوير استراتيجية وطنية للمياه في الأردن للفترة ما بين (٢٠١٦-٢٠٢٥) لإدارة المصادر المائية وتحقيق الاستخدام الأمثل لهذه المصادر المائية الشحيحة. وتتضمن هذه الاستراتيجية حزمة من السياسات والخطط لمحاولة سد الفجوة ما بين الطلب المتزايد على المياه والموارد المائية المتاحة والتي منها: حماية المصادر المائية المتاحة ونشر الوعي بترشيد استهلاك المياه في كافة القطاعات والتوسع بخدمات الصرف الصحي ومعالجة وإعادة استخدام المياه العادمة وتقليل نسبة الفاقد في الشبكات وكذلك التوسع في مشاريع حصاد مياه الأمطار والبحث عن مصادر مائية بديلة والتي منها معالجة المياه العادمة.

وتماشياً مع هذا التوجه الحكومي والإقبال المجتمعي, فقد قام برنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP بتنفيذ مشروع «تعزيز سبل تكيّف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة» بتمويل من صندوق أوبك للتنمية الدولية (أوفيد) وبالتعاون مع الجمعية العلمية الملكية خلال الفترة شباط ٢٠١٧-كانون ثاني ٢٠١٨. حيث اشتمل المشروع على تدخلات مائية تركزت على آبار حصاد مياه الأمطار في المدارس والحدائق العامة وغيرها إضافة إلى معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية لأغراض الزراعة وتنظيف دورات المياه.

يأتي هذا الدليل, كمخرج من مخرجات هذا المشروع, ليقدم معلومات شاملة ومنوعة حول المياه الرمادية و تقنيات حصاد مياه الأمطار في العالم والأردن. حيث تم إعداد هذه الدليل ليلبي جميع الاحتياجات وليناسب جميع المستويات. فقد قام فريق قسم دراسات المياه في الجمعية العلمية الملكية بمراجعة مئات الأوراق العلمية المحكمة والتقارير والدوريات والمشاريع ذات العلاقة بالمياه الرمادية وحصاد مياه الأمطار وتم نسجها بطريقة متسلسلة وسلسة ليجد المسؤول والمدرس والمواطن والمزارع والطالب والمُحاضر ضالته في هذا الدليل.

تم تقسيم هذا الدليل إلى قسمين رئيسين: القسم الأول يغطي موضوع معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية بينما يغطي القسم الثاني حصاد مياه الأمطار. وقد اشتمل القسم الأول على خمسة فصول ناقشت مفهوم المياه الرمادية وطرق معالجتها وكميتها ونوعيتها والمواصفات الأردنية المرتبطة بها. كما تم التطرق بشكل مختصر إلى الجدوى الاقتصادية لمشاريع المياه الرمادية في الأردن. وفي خمسة فصول أخرى,فقد تمت الإحاطة في القسم الثاني بموضوع الحصاد المائي ليشمل تقنياته وفوائده وتصميم خزانات التجميع ونوعية مياه الأمطار المجمعة فيه.

القسم الأول

معالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها

الفصل الأول

المياه الرمادية

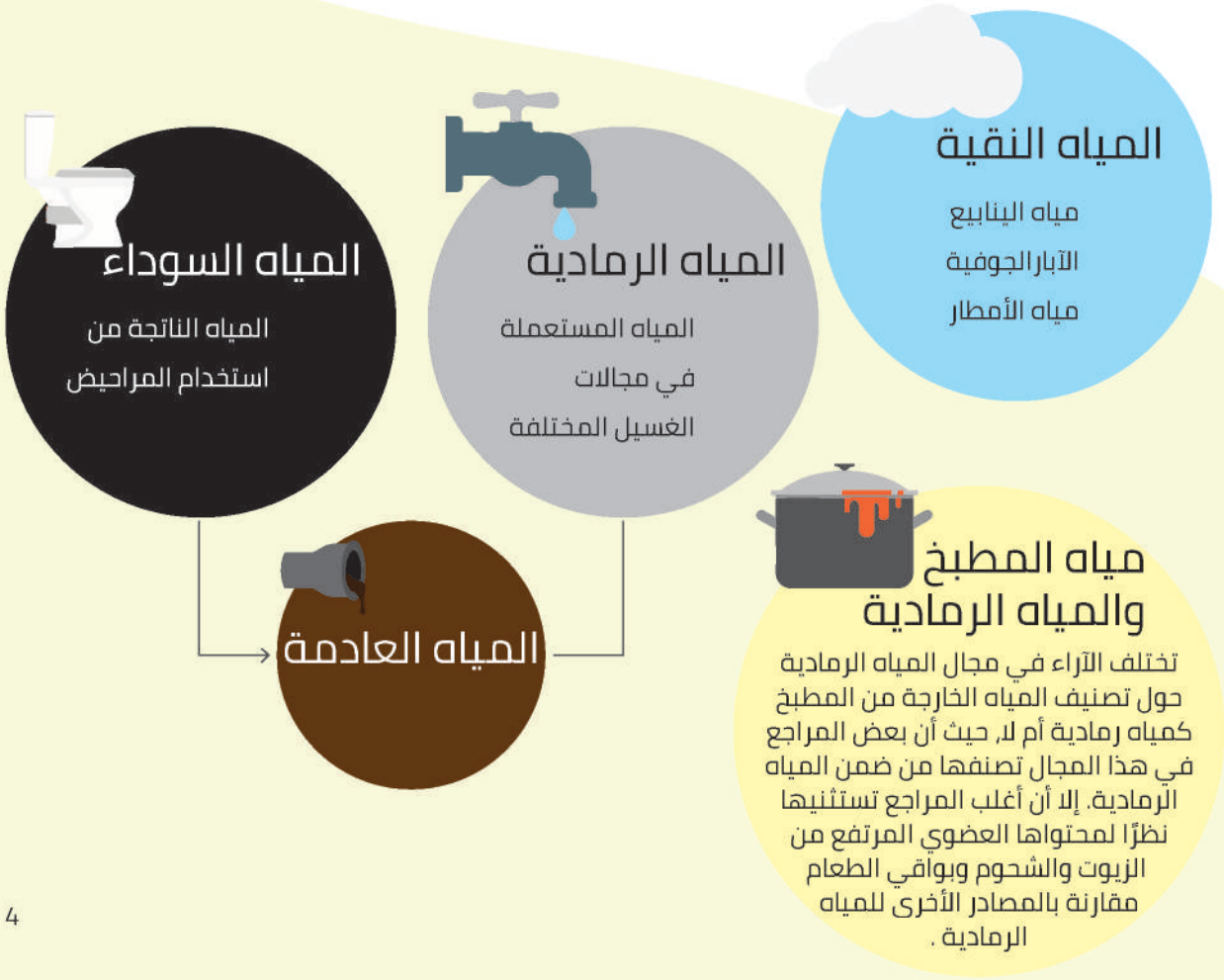
(تعريفها, كميتها, نوعيتها)

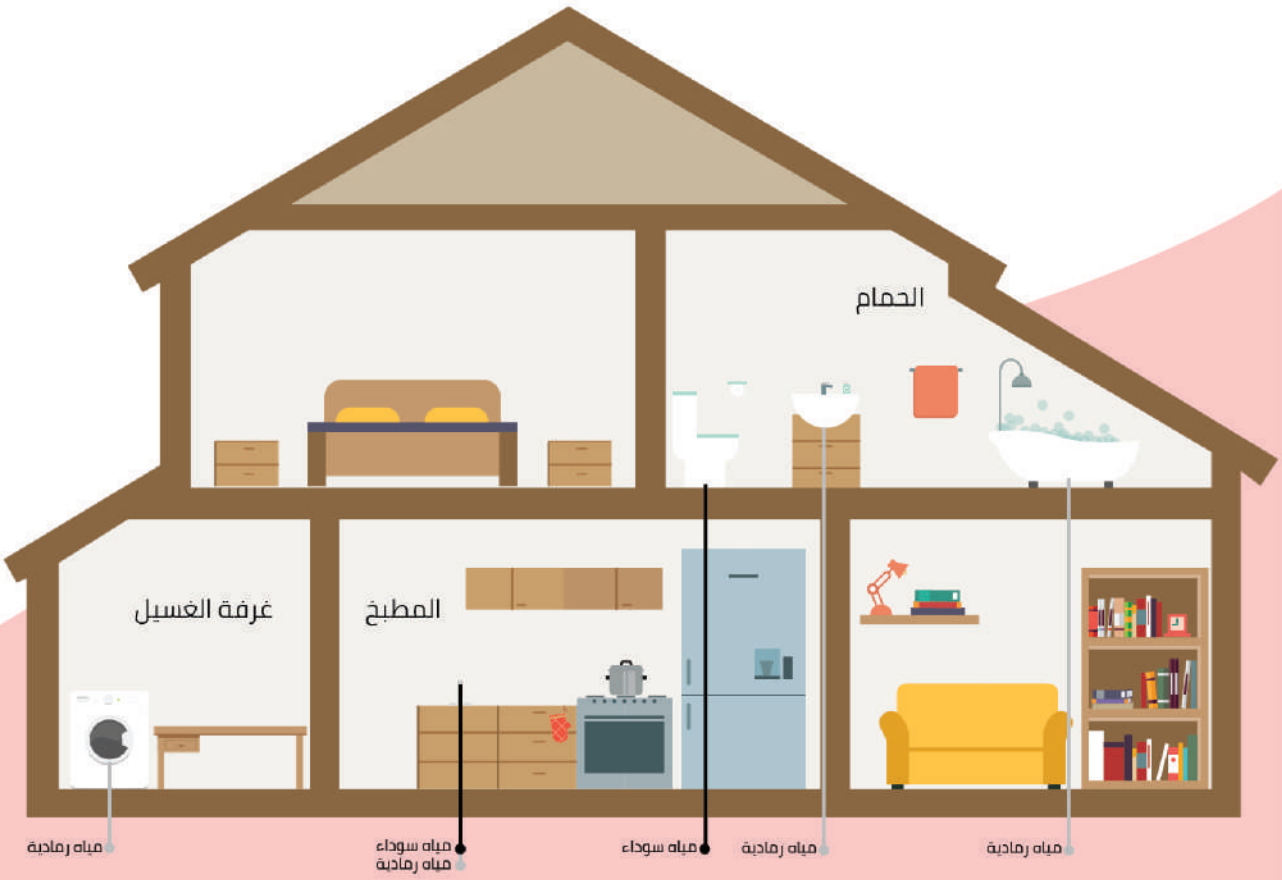
١-١ تعريف المياه الرمادية ومصادرها على المستوى المنزلي

عند التطرق إلى تعريف المياه الرمادية لا بد لنا من تعريف المياه العادمة والسوداء لبيان الفرق بين هذه المصطلحات. المياه السوداء هو مصطلح يستخدم للإشارة إلى المياه التي تحتوي على البراز والبول ومياه المراحيض. أما المياه الرمادية فهي التي تنتج عن النشاط البشري من غسل الأواني والملابس ومن الاستحمام. فالمياه الرمادية إذن هي كل المياه الناتجة من المنزل باستثناء مياه المراحيض.

ومن الجدير بالذكر أن هناك تفاوت كبير بين كثير من الباحثين في تصنيف مياه المطبخ كمياه رمادية أو مياه سوداء، فعند كثير من الباحثين، إدراج مياه المطبخ كجزء من المياه الرمادية يعني مضاعفة الحمل العضوي إلى ضعفين على الأقل مما يزيد من كلفة المعالجة ومتطلبات التشغيل والصيانة. ونظراً لأن الاستهلاك المائي في التجمعات المحلية الريفية متدني (حوالي ٤٠ لتر/ شخص في اليوم) فإن إدراج مياه المطبخ سوف يضاعف من تركيز المواد العضوية إلى ثلاثة أضعاف (الجمعية العلمية الملكية، ٢٠٠٧).

استمدت المياه الرمادية هذا الاسم من كونها مياهاً متوسطة بين المياه العذبة والمياه السوداء وعادة ما تتم عملية فصل المياه السوداء عن المياه الرمادية في المباني من أجل سهولة الجمع فيما بعد واتخاذ الأسلوب الملائم من أجل معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية (الشكل ١).



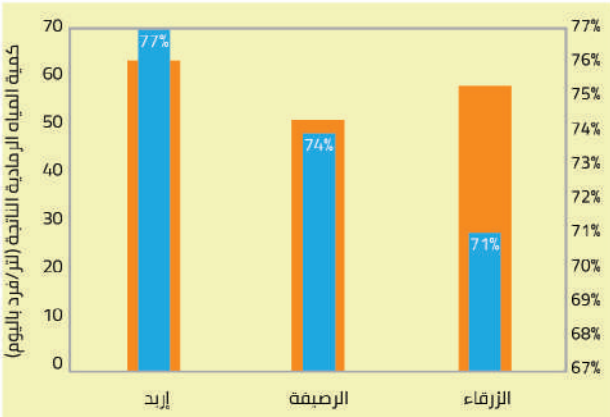


الشكل رقم (١): رسم توضيحي يبين كل من المياه السوداء والمياه الرمادية

١-٢ كمية المياه الرمادية التي من الممكن انتاجها على المستوى المنزلي في الأردن

تتفاوت كميات المياه الرمادية الناتجة على المستوى المنزلي بشكل كبير من منطقة أو محافظة إلى أخرى ومن منزل إلى أخر وذلك بحسب اختلاف عدد أفراد المنزل وأعمارهم ونمط وعادات استهلاك المياه بالإضافة إلى تفاوت كمية التزويد المائي من منطقة إلى أخرى.

وفي دراسة (الجمرا وعياش، ٢٠٠٨) حول كمية المياه الرمادية في بعض مدن الأردن، تبين أن معدل كمية المياه الرمادية الناتجة تختلف في المناطق التي شملتها الدراسة وتتراوح ما بين (٧٧-٧١%) من كمية المياه المستهلكة وكما هو موضح في الشكل ٢.



الشكل رقم (٢): معدل كميات المياه الرمادية الناتجة ونسبتها لكمية المياه المستهلكة (الجمرا وعياش، ٢٠٠٨).

١-٣ حساب كميات المياه الرمادية التي من الممكن معالجتها على مستوى الأردن في المناطق غير المخدومة بشبكة الصرف الصحي

سيتم التطرق هنا إلى حساب كميات المياه الرمادية التقديرية والتي من الممكن إنتاجها على المستوى المنزلي في الأردن في المناطق غير المخدومة بشبكة الصرف الصحي وذلك لبيان أهمية تطبيق مفهوم معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية على المستوى المنزلي.

الفرضيات الحسابية:

تم الاعتماد على عدد من الفرضيات لحساب كميات المياه الرمادية وعلى النحو التالي:

١. تم الاعتماد على كمية التزويد المائي وكمية الفاقد من المياه في الشبكات ونسبة الربط على شبكة الصرف الصحي بالإضافة إلى كمية المياه المستخدمة في الزراعة في كل محافظة والواردة في (Water Reallocation Policy) والصادرة عن وزارة المياه والري عام ٢٠١٦.

٢. تم الاعتماد على المعلومات الصادرة من دائرة الإحصاءات العامة لتعداد السكان والمساكن ٢٠١٥.

٣. تم افتراض أن كمية المياه الرمادية الناتجة تشكل ٧٠% من كمية المياه المستخدمة في المنزل وذلك بالاعتماد على نتائج دراسة (الجمرا وعياش، ٢٠٠٨).

إجمالي كميات المياه الرمادية = (كمية التزويد المائي مع احتساب كمية الفاقد من المياه في الشبكات) ×(١- نسبة الربط على شبكة الصرف الصحي) × عدد السكان ×٠,٧٠ ×٠,٠٠١×٣٦٥ يوم

وبناء على الفرضيات السابقة تم احتساب كمية المياه الرمادية التقديرية في كل محافظة وعلى مستوى المملكة كما هو موضح في الجدول رقم (١) والشكل رقم (٣). إذ بلغ مجموع كمية المياه الرمادية التقديرية التي من الممكن استغلالها على المستوى المنزلي على مستوى الأردن (٥٤ مليون متر مكعب/ السنة) والتي تعادل ما نسبته ٧% من كمية المياه المستخدمة في الزراعة في الأردن، كما وتتفاوت كمية المياه الرمادية من محافظة إلى أخرى للأسباب التي تم التطرق إليها سابقاً حيث كانت أعلى نسبة من كميات المياه الرمادية التقديرية التي من الممكن استغلالها على المستوى المنزلي في محافظة عمان (٣١%). ومن جهة أخرى بلغت أقل نسبة في كمية المياه الرمادية التقديرية في كل من محافظات الطفيلة وعجلون.

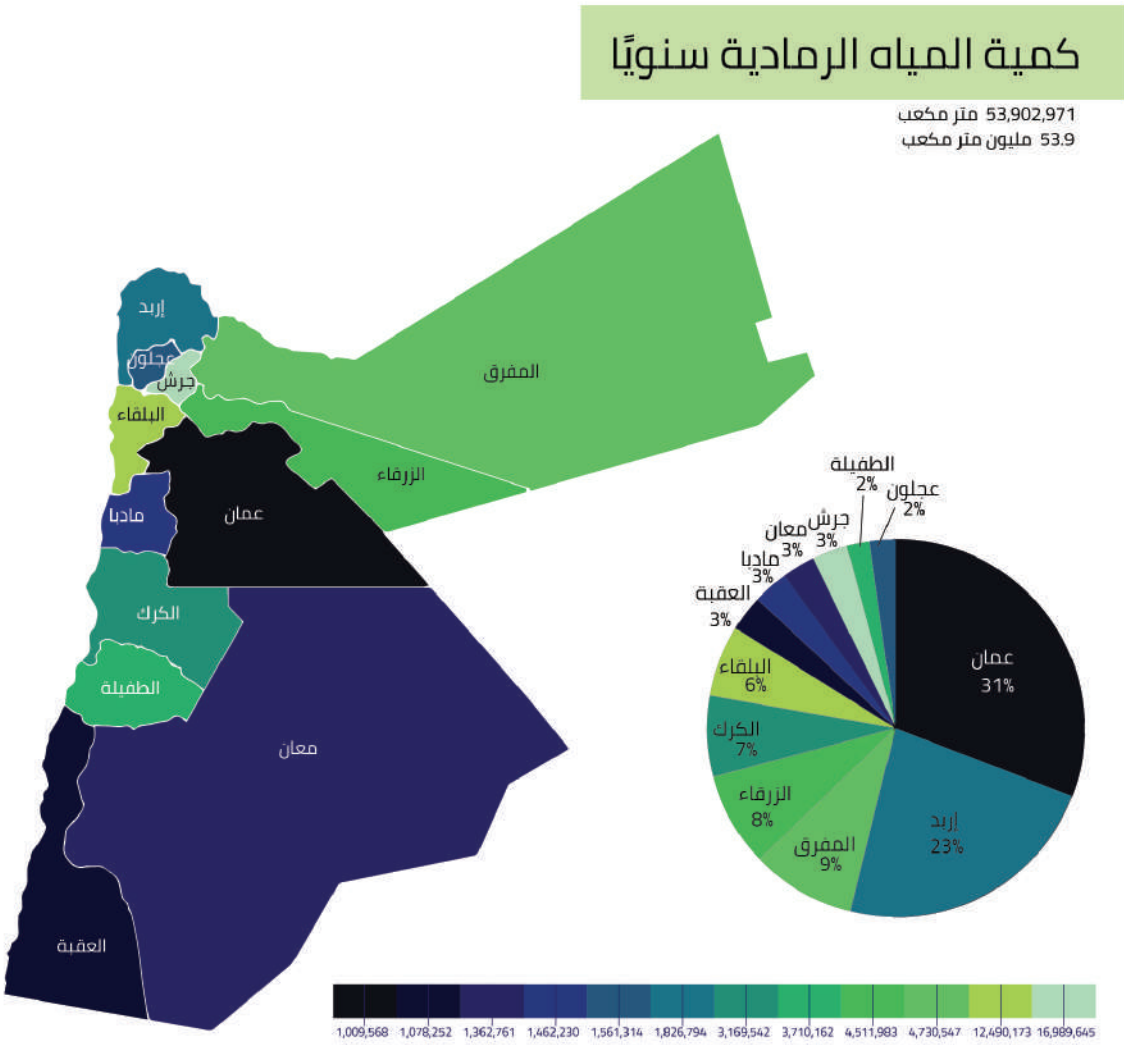
الجدول رقم (١): تقدير كميات المياه الرمادية التي من الممكن استغلالها في الأردن على المستوى المنزلي في المناطق غير المخدومة بشبكة الصرف الصحي

المحافظة	كمية التزويد المائي[١] (لتر/فرد باليوم)	نسبة الفاقد من المياه (%) [١]	كمية التزويد المائي مع احتساب الفاقد من المياه (لتر/فرد باليوم)	نسبة الشبك على شبكة الصرف الصحي (%) [١]	عدد السكان [٢]	كميات المياه الرمادية (متر مكعب سنوياً)	كميات المياه المستخدمة في الزراعة [١] (متر مكعب سنوياً)	نسبة المياه الرمادية من كمية المياه المستخدمة في الزراعة (%)
عمان	134.9	38.5%	83.0	80%	4,007,526	16,989,645	43,800,000	39%
البلقاء	168.8	68.2%	53.7	53%	491,709	3,169,542	110,600,000	3%
الزرقاء	129.8	64.4%	46.2	72%	1,364,878	4,511,983	82,300,000	5%
مادبا	109.7	35.0%	71.3	47%	189,192	1,826,794	6,600,000	28%
اربد	68.6	36.1%	43.8	37%	1,770,158	12,490,173	64,300,000	19%
المفرق	113.7	53.0%	53.4		549,948	4,730,547	140,200,000	3%
جرش	69.8	45.1%	38.3		237,059	1,462,230	11,300,000	13%
عجلون	65	45.2%	35.6		176,080	1,009,568	4,600,000	22%
الكرك	179.4	69.2%	55.3	17%	316,629	3,710,162	60,700,000	6%
الطفيلة	128	57.2%	54.8	20%	96,291	1,078,252	7,100,000	15%
معان	236.2	73.2%	63.3	33%	144,082	1,561,314	110,100,000	1%
العقبة	329	28.2%	236.2	88%	188,160	1,362,761	87,400,000	2%
المجموع					**9,531,712**	**53,902,971**	**729,000,000**	**7%**

(١): (Water Reallocation Policy) والصادرة عن وزارة المياه والري عام ٢٠١٦

(٢): دائرة الاحصاءات العامة لتعداد السكان والمساكن، ٢٠١٥

(٣): إجمالي كميات المياه الرمادية = (كمية التزويد المائي مع احتساب كمية الفاقد من المياه في الشبكات)
×(١- نسبة الربط على شبكة الصرف الصحي) × عدد السكان ×٠,٧٠ ×٠,٠٠١×٣٦٥ يوم



الشكل رقم (٣): كميات المياه الرمادية الناتجة سنويًا في الأردن على المستوى المنزلي.

١-٤ العوامل التي تؤثر على نوعية المياه الرمادية على المستوى المنزلي

مكونات المياه الرمادية

تحتوي المياه الرمادية على العديد من المواد الكيميائية منها والعضوية كما يبين المخطط المجاور.

كما وتتفاوت نوعية المياه الرمادية بشكل كبير وذلك للأسباب التالية:

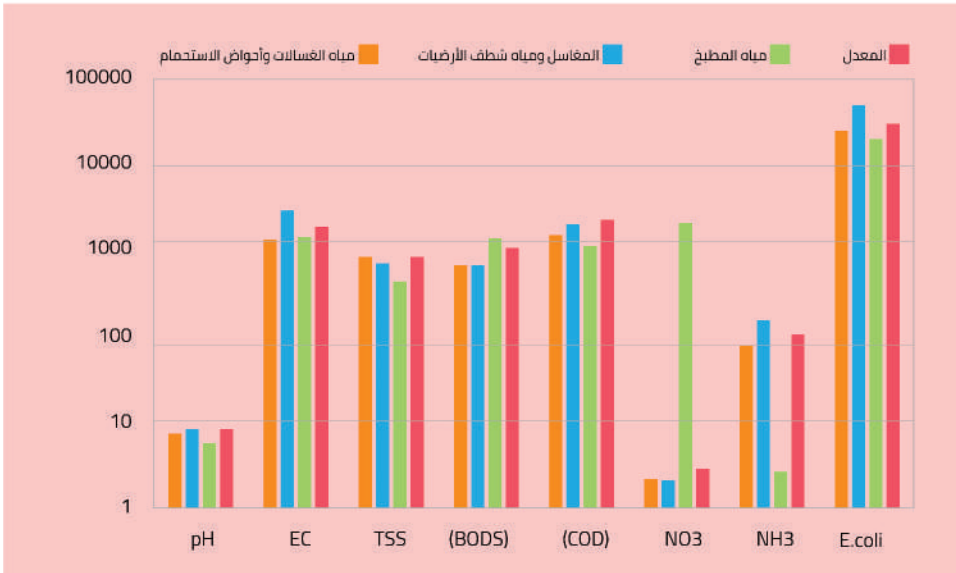
- اختلاف نوعية المياه المستخدمة في المنزل نظراً لاختلاف نوعية المياه من مصدر إلى آخر (مياه الحنفية أو المياه الجوفية أو مياه الأمطار).
- اختلاف أسلوب الحياة وأنماط استخدام المياه من منزل إلى آخر.
- اختلاف كميات المياه المستهلكة, مما يؤدي إلى اختلاف نوعية المياه الرمادية فكلما زاد معدل الاستهلاك تتحسن نوعية المياه نظراً لتخفيف تركيز الملوثات الموجودة في المياه.
- تختلف نوعية المياه الرمادية أيضاً بحسب الموقع الجغرافي من منطقة إلى أخرى وبحسب الريف والحضر وكذلك حسب المحافظة, إذ أن كمية ونمط استخدام المياه المنزلية تختلف من منطقة إلى أخرى.
- تختلف نوعية المياه الرمادية بحسب نوع الاستعمال فنوعية المياه الرمادية الخارجة من المنازل تختلف عنها من المدارس والجامعات والمساجد والمستشفيات وغيرها.
- تختلف نوعية المياه الرمادية حسب المناخ أو الفصل.

أهم ما يميز المياه الرمادية هو انخفاض محتوى المياه من المواد العضوية والعناصر الغذائية من النيتروجين والبوتاسيوم والميكروبات مقارنة بالمياه السوداء. أما بالنسبة لمحتوى المياه الرمادية من العناصر النادرة فإنها تقريباً تشبة المياه السوداء. وبشكل عام ينخفض محتوى المياه الرمادية من الميكروبات ومسببات الأمراض مقارنة بالمياه السوداء, إلا أنه قد تتواجد الفيروسات والبكتيريا والطفيليات والديدان المعوية في المياه الرمادية. كما يمكن تقسيم المياه الرمادية إلى ثلاث مجموعات رئيسية تبعاً لخصائص نوعية المياه كما هو موضح في الجدول رقم (٢).

الجدول (٢): خصائص المياه الرمادية حسب المصدر (Queensland 2002)

مصدر المياه	الخصائص
الغسيل	**الخصائص الميكروبيولوجية:** تفاوت الاحمال الميكروبية المقاومة للحرارة **الخصائص الكيميائية:** تتميز بارتفاع تركيز كل من الصوديوم (Na) والفوسفات (PO_4) والبورون (B) والمنظفات والأمونيا (NH_4) والنيتروجين (T-N) الناتجة من مساحيق الغسيل والصابون والملابس المتسخة **الخصائص الفيزيائية:** ارتفاع العكارة وتركيز المواد العالقة ويميل لون المياه للون الرمادي وارتفاع درجة حرارة المياه نتيجة لاستخدام المياه الساخنة في الغسيل **الخصائص البيولوجية:** ارتفاع تركيز الأكسجين المستهلك حيوياً (BOD_5)
الاستحمام	**الخصائص الميكروبيولوجية:** انخفاض الاحمال الميكروبية المقاومة للحرارة **الخصائص الكيميائية:** تتميز بارتفاع تركيز كل من الصوديوم (Na) والفوسفات (PO_4) والبورون (B) والمنظفات والأمونيا (NH_4) والنيتروجين (T-N) الناتجة من الصابون والشامبو وغيرها من المواد **الخصائص الفيزيائية:** ارتفاع العكارة وتركيز المواد العالقة وارتفاع درجة حرارة المياه نظراً لاستعمال المياه الساخنة في الاستحمام **الخصائص البيولوجية:** انخفاض تركيز الأكسجين المستهلك حيوياً (BOD_5)
المطبخ	**الخصائص الميكروبيولوجية:** تفاوت الاحمال الميكروبية المقاومة للحرارة **الخصائص الكيميائية:** تتميز بارتفاع تركيز كل من الصوديوم (Na) والفوسفات (PO_4) والبورون (B) والمنظفات والأمونيا (NH_4) والنيتروجين (T-N) الناتجة من مساحيق الجلى والتنظيف **الخصائص الفيزيائية:** ارتفاع العكارة والدهون والزيوت والشحوم وتركيز المواد العالقة الناتجة من بقايا الطعام **الخصائص البيولوجية:**ارتفاع تركيز الأكسجين المستهلك حيوياً(BOD_5)

وقد أظهرت دراسة قامت بها الجمعية العلمية الملكية (٢٠٠٧) في منطقة البادية الشمالية الغربية في الأردن تفاوتاً كبيراً لنوعية المياه الرمادية بحسب المصدر (مطبخ، غسيل , استحمام) وخاصةفيمايتعلق بتركيز الأمونيا والنترات كما يظهر في الشكل (٤).



الشكل رقم (٤): التغير في نوعية المياه الرمادية حسب المصدر

الفصل الثاني

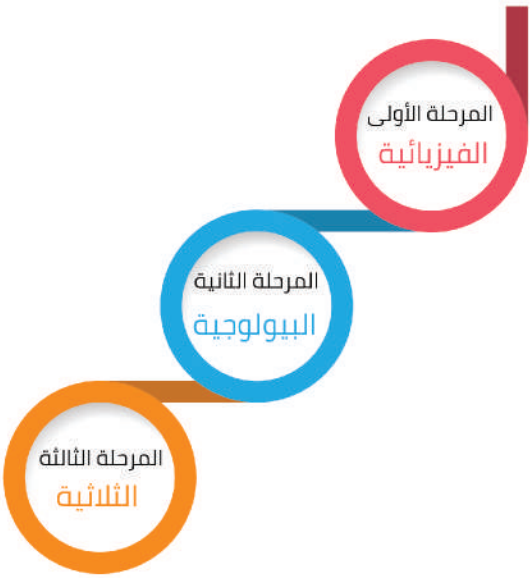
معالجة المياه الرمادية

٢-١ طرق جمع وفصل ومعالجة المياه الرمادية على المستوى المنزلي

٢-١-١ جمع وفصل المياه الرمادية

يتم فصل المياه الرمادية باستخدام أنابيب بلاستيكية (PVC) قطر ٢ إنش أو ٤ إنش ويُمد الخط إلى نقطة تتجمع فيها المياه الرمادية لأغراض المعالجة. بحيث يتم تغيير إتجاه أنابيب الصرف الصحي في المنزل وهذا يتطلب في بعض الأحيان إجراء عمليات خلع وتكسير للبلاط.

وتعتمد عملية معالجة المياه الرمادية بشكل عام على الغرض الأساسي لإعادة الاستخدام ونوعية المياه قبل المعالجة فهناك بعض الاستخدامات مثل الاستخدام لأغراض الري على سبيل المثال لا تحتاج إلى معالجة مكثفة للمياه للوصول إلى مياه خالية من الملوثات ومسببات الأمراض في حين بعض الاستخدامات تحتاج إلى عمليات معالجة مكثفة. كما تختلف طرق ومراحل معالجة المياه بحسب نوعية المياه والملوثات الموجودة في المياه قبل المعالجة. الشكل رقم (٥).



٢-١-٢ مراحل معالجة المياه الرمادية

تقسم مراحل معالجة المياه بشكل عام إلى ثلاث مراحل رئيسية وهي:

المرحلة الأولى: المعالجة الفيزيائية

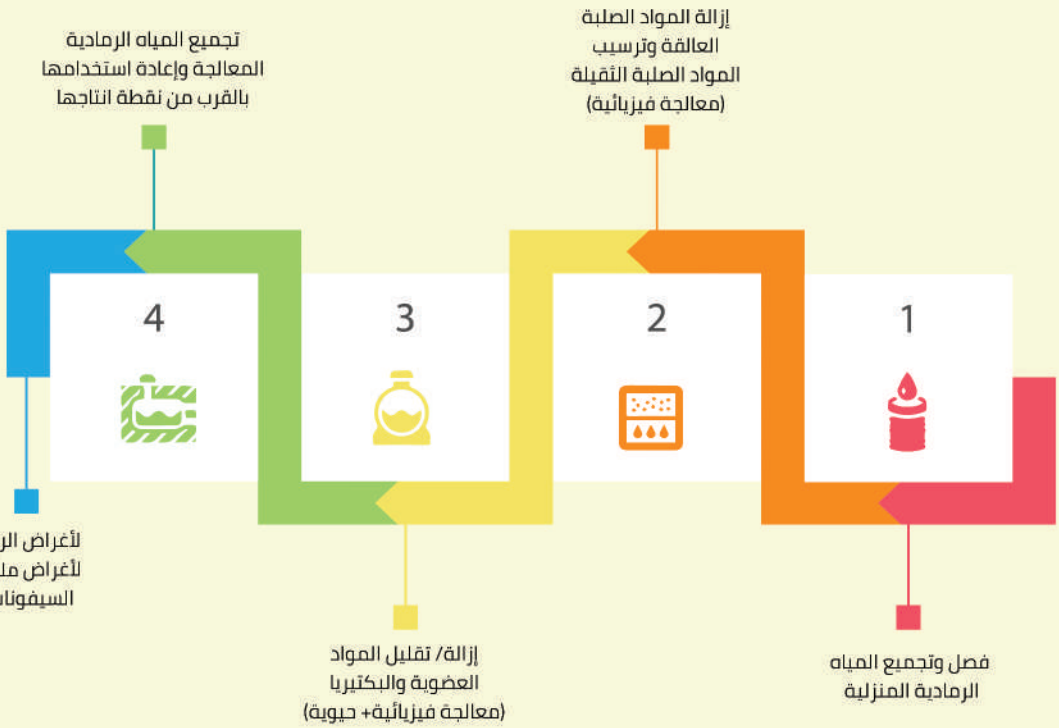
في هذه المرحلة، يتم تجميع المياه العادمة في خزانات ترسيب خاصة، بحيث تترسب حينها العوالق الصلبة في القاع وتطفو المواد الذائبة الخفيفة مثل الزيوت ورغوة الصابون على السطح. وقد تتضمن هذه المرحلة عمليات الترشيح والترسيب كما قد تستخدم عمليات التخثير.

المرحلة الثانية: المعالجة الحيوية أو البيولوجية

تتم في هذة المرحلة من المعالجة ازالة المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي (بشكليها الذائب و المُعلّق) و إزالة المواد الصلبة العالقة.

المرحلة الثالثة: المعالجة الثلاثية

يتم في هذه المرحلة التخلص من الملوثات التي لم يتم التخلص منها في المراحل السابقة وذلك لتحقيق المواصفات المطلوبة لإعادة الاستخدام. يتم إزالة المواد الصلبة المتبقية التي لم تزال بالمعالجة الثانوية وعادة ما تستخدم الفلاتر الحصوية أو تستخدم المصافي الميكروية كما تشمل المعالجة الثلاثية إزالة المغذيات مثل النتروجين و الفوسفور. كما وتتضمن المعالجة الثلاثية عمليات التعقيم والتطهير للمياه.



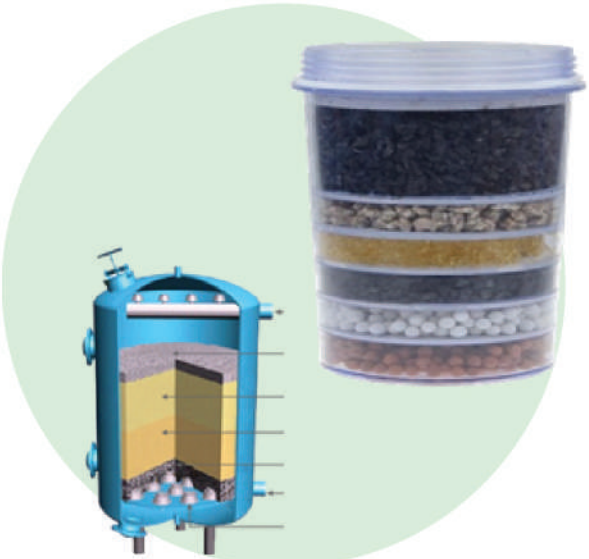
الشكل رقم (٥): مخطط توضيحي يبين النمط السائد لفصل وجمع ومعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية المنزلية.

٢-١-٣ أنظمة معالجة المياه الرمادية

هناك العديد من الأنظمة التي يتم استخدامها في معالجة المياه الرمادية حول العالم. إلا أن أنظمة الفلاتر الرملية والأحواض الرطبة تعتبر من أكثر الطرق شيوعاً في هذا المجال.

- نظام الفلتر الرملي:

تعد أنظمة الفلاتر الرملية من أشهر الأنظمة في معالجة المياه الرمادية. تتكون الفلاتر الرملية بشكل عام من طبقات متعددة من الرمل أو الحصى أو الكربون المنشط, حيث يتم تصميمه بالتحكم في سماكة وعدد الطبقات ومحتويات كل طبقة بناءاً على عدد من العوامل مثل كمية المياه الرمادية ومعدل الاستهلاك والفترة الزمنية اللازمة لمعالجة المياه والحمل العضوي وغيرها من العوامل. ويقوم مبدأ عمل الفلتر الرملي على تنقية ومعالجة المياه أثناء مرورها خلال طبقات الفلتر الرملي، حيث يجري ترسيب وامتصاص الملوثات وقد يحدث تحلل للمواد العضوية الذائبة من خلال مرورها عبر الطبقة الحيوية Biofilm المتكونة على سطح الطبقات الرملية.



الشكل رقم (٦): نظام الفلتر الرملي

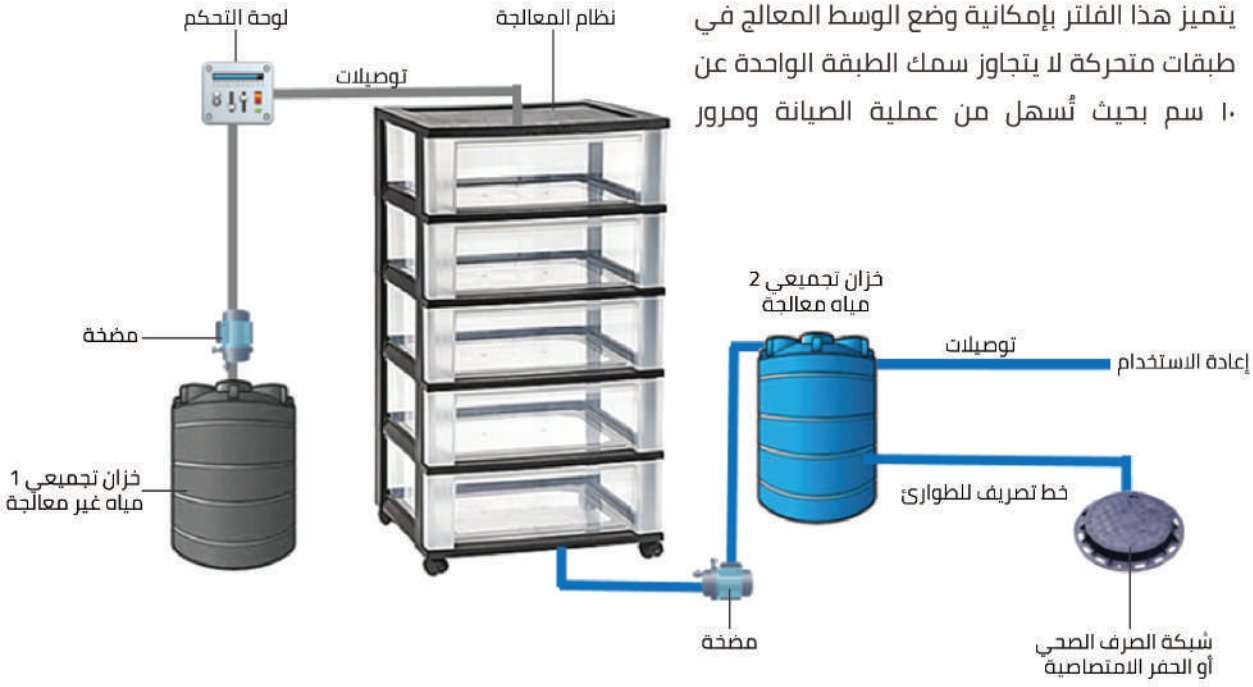
الشكل رقم (٧): نظام الأحواض الرطبة الصناعية

- نظام الأحواض الرطبة:

يتألف نظام الأحواض الرطبة من حوض مستطيل يتم إنشاؤه تحت سطح الأرض ويُملئ بوسط حصوي أو رملي أو مزيج منهما معاً وقد يتم استخدام التوف البركاني كوسط للمعالجة (علماً بأن التوف البركاني متوفر في مناطق شرق الأردن). كما يتم تصميم الحوض بأبعاد محددة يتم احتسابها بناءاً على عدد من العوامل مثل كمية المياه الرمادية ومعدل الاستهلاك والفترة الزمنية اللازمة لمعالجتها داخل الحوض والحمل العضوي وغيرها من العوامل. وقد يتم زراعة هذا الحوض بأحدى أنواع النباتات التي تتميز بمقدرتها على امتصاص الملوثات من المياه الشكل رقم (٧).

- نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة:

يعتبر نظام الفلتر الرملي واحد من الأمثلة على نظام الفلتر الرملي. وقد تم تطوير هذا النظام من قبل مركز البيئة والمياه في الجمعية العلمية الملكية لمعالجة المياه الرمادية على المستوى المنزلي. يتميز هذا الفلتر بإمكانية وضع الوسط المعالج في طبقات متحركة لا يتجاوز سمك الطبقة الواحدة عن ١٠ سم بحيث تُسهل من عملية الصيانة ومرور الأُكسجين عبر طبقات الفلتر. الشكل (٨) يظهر مكونات الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة (السيد وآخرون، ٢٠١٤, ٢٠١٥) [1]



الشكل رقم (٨): المخطط التفصيلي لنظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة

1: Assayed et al. (2014 and 2015)

مكونات الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة:

١. **خزان التجميع الأولي**: وهو عبارة عن خزان يتم فيه استقبال وتجميع المياه الرمادية قبل المعالجة كما يعمل هذا الخزان على التقليل من المواد الصلبة العالقة في المياه الرمادية من خلال علمية الترسيب. ويكون لهذا الخزان ملحقات رئيسية لضمان تحقيق الغاية المرجوة منه, ومن هذه الملحقات:

- خط للمياه الرمادية الداخلة: وهو خط لنقل المياه الرمادية غير المعالجة من مصادرها المتعددة.
- خط التغذية ومضخة التغذية: ويعمل هذا الخط مع المضخة على نقل المياه الرمادية غير المعالجة على دفعات وضمن فترات زمنية محددة إلى نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة.
- خط التنظيف: وذلك لتنظيف الخزان الأولي بين فترة وأخرى من الشوائب والمواد العالقة المترسبة في قاع الخزان.
- خط تصريف الماء الزائد: ويستخدم هذا الخط في حال زيادة الحمل الهيدروليكي للنظام أو تعطل النظام مما يؤدي إلى تراكم المياه غير المعالجة في الخزان الأولي مما يسمح بتصريف المياه الرمادية غير المعالجة إلى شبكة الصرف الصحي أو الحفرة الإمتصاصية.

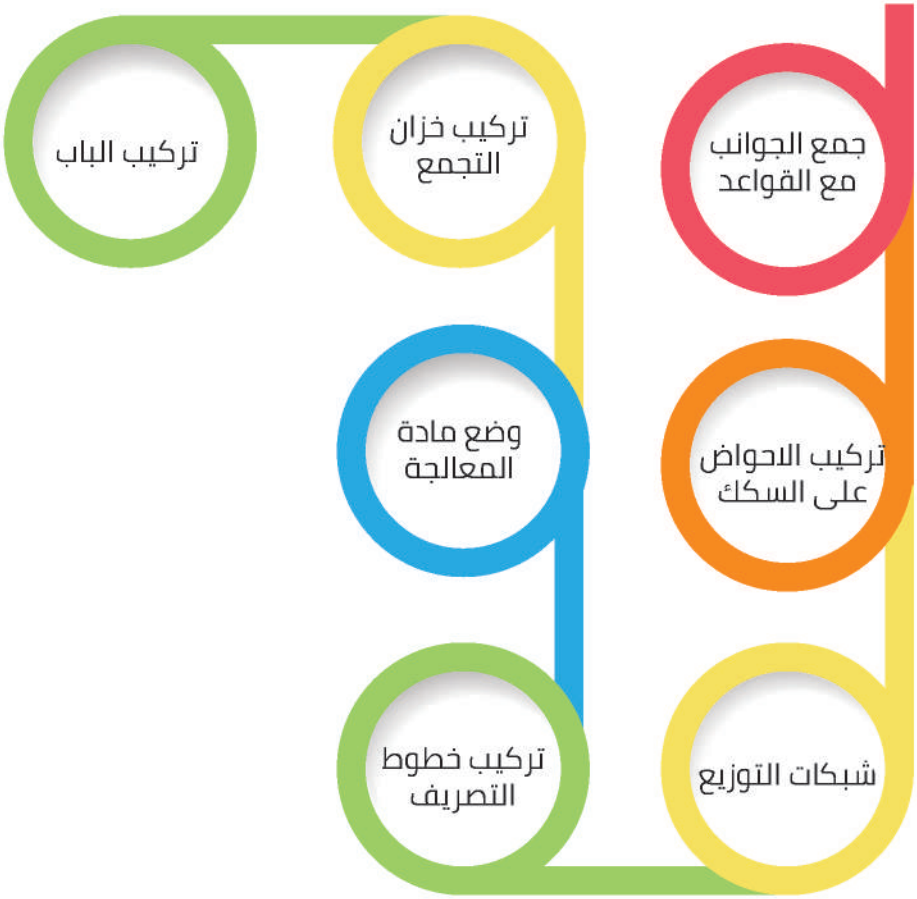
٢. **الفلتر ذو الطبقات المتحركة:** وهو الجزء الرئيسي في نظام معالجة المياه الرمادية, والذي يتم فيه عملية معالجة المياه الرمادية والذي بدوره يتكون من:

- الهيكل الخارجي والدعامة ويتكون من: الجوانب وعددها (٣) و باب عدد (١) بالإضافة إلى السكك والحوامل.
- الأحواض ومادة المعالجة: وهي عبارة عن طبقات متعددة من مادة أو عدد من المواد التي تستخدم في معالجة المياه وتتراوح ارتفاع كل طبقة في العادة (١٠) سم, حيث تُعالج المياه الرمادية من خلال مرورها في هذه الطبقات.
- شبكات التوزيع وخطوط التصريف: تقوم هذه الشبكات على توزيع المياه الرمادية خلال طبقات الفلتر الرملي بشكل متساوي مما يرفع كفاءة المعالجة ويُقلل من تراكم المياه في أماكن معينة في طبقات الفلتر. كما تعمل خطوط التصريف على مرور المياه الرمادية من طبقة إلى أخرى في النظام.

٣. **خزان تجميع المياه المعالجة**: ويستخدم لتجميع المياه الرمادية المعالجة ليتم إعادة استخدامها بعد ذلك.

٤. **لوحة التحكم:** تستخدم لوحة التحكم لضبط عملية وكفاءة المعالجة من خلال التحكم في كمية المياه الداخلة إلى النظام بفترات زمنية محددة مما يسمح بتوزيع الحمل المائي بشكل متجانس خلال ساعات اليوم. الشكلين رقم (٩) و (١٠) يظهران مكونات الفلتر ذو الطبقات المتحركة بشكل تفصيلي.

الشكل رقم (٩): مكونات نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة



الشكل رقم (١٠): خطوات تركيب نظام الفلترالرملي ذو الطبقات المتحركة

مميزات نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة

يتميز نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة عن باقي أنظمة وأشكال الفلاتر الرملية الأخرى بما يلي:

- سهولة التركيب والتشغيل والصيانة, نظرًا لأنه يتكون من طبقات منفصلة مما يسمح بإجراء الصيانة المطلوبة بكل سهولة.
- اعتماد مبدأ التكنولوجيا العمودية, حيث أن المعالجة الهوائية هي السائدة في كل طبقات الفلتر, مما يقلل من الروائح وكذلك قدرته على إزالة الأحمال العضوية و المواد الصلبة العالقة.
- انخفاض المساحة المطلوبة لإنشاء النظام وعدم الحاجة إلى أعمال الحفر.
- تقليل مشاكل الإنسداد وإغلاق الطبقات, إذ أن هذه المشكلة تُعَد من أهم مشاكل ومعوقات استخدام الفلاتر الرملية.

التشغيل والصيانة

هنالك عدد من الأمور الهامة والتي يجب مراعاتها عند التركيب والتشغيل والصيانة ومنها:

- شد وجمع الجوانب جيداً (الهيكل الداعم) للنظام والأدراج.
- استخدام الميزان أثناء تركيب النظام والأدراج لضمان الاستقامة ومنع الميلان .
- تشحيم (وضع شحمة) للسكك لتسهيل سحب الأدراج .
- سحب الأدراج بطريقة سليمة بكلتا اليدين لضمان عدم خروج الأدراج من مسارها (السكك).
- تركيب خط راجع (bypass) لخزان تجميع المياه الرمادية الأولي وشبكه على خطوط المجاري.
- تركيب خط راجع (bypass) لخزان تجميع المياه الرمادية المعالجة.
- فصل النظام كاملاً عن الخدمة اثناء إجراء عمليات الصيانة.

المشاكل والحلول ذات العلاقة بالفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة

قد تحدث بعض المشاكل أثناء تشغيل نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة والتي من الممكن حلها بكل سهولة كما هو موضح في الجدول أدناه, حيث يبين الحالة وكيفية التعامل معها.

الجدول رقم (٣): مشاكل وحلول لتشغيل وصيانة نظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة

الرقم	الحالة	السبب	الإجراء
1	**وجود تجميع مياه داخل الاحواض**	• كمية المياه الداخلة غير مضبوطة. • انسداد في شبكة التوزيع.	• ضبط كمية المياه الداخلة للوحدة. • تنظيف شبكات التوزيع.
2	**انسداد فتحات شبكات التوزيع**	• وجود زيوت او شحوم أو وسط المعالجة داخل الشبكة.	• فك الشبكة وتنظيفها.
3	**وجود تهريب في خزان التجميع النهائي**	• كمية المياه المعالجة لم يتم استخدامها.	• استخدام المياه المعالجة أو التخلص بجزء منها. • ضبط كمية المياه الداخلة للوحدة.
4	**وجود عكارة عالية نسبياً في المياه المعالجة**	• خروج الماء خارج المصافي • طبيعة المياه الداخلة عكرة جدا.	• الكشف عن المصافي واعادة تثبيتها جيدا.

٤-١-٢ تطبيقات للفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة:

من خلال مشروع تعزيز سبل تكيف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة قامت الجمعية العلمية الملكية /مركز البيئة والمياه وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي UNDP وبتمويل من صندوق أوبك للتنمية الدولية (OFID) بتصميم وإنشاء ٢٦ محطة معالجة مياه رمادية في عدّة مواقع مختلفة باستخدام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة. حيث تنوعت أحمال هذه الأنظمة باختلاف كمية المياه الرمادية كما تنوعت مقاصد إعادة الاستخدام. جدول (٤) يقدّم ملخصًا عن بعض هذه الأنظمة التي قامت الجمعية العلمية الملكية بتنفيذها خلال أيار –كانون أول ٢٠١٧.

الجدول رقم (٤): ملخص عن بعض مشاريع الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة من مشروع (UNDP/OFID)

الرقم	المحافظة	اسم الموقع	عدد الأنظمة	كمية المياه المعالجة (لتر/ يوم)	نظام إعادة الاستخدام	ملاحظات	صور
.1	المفرق	مدرسة رحاب الثانوية للبنات	1	400	الري	ارتفاع الاحمال الميكروبية فى المياه غير المعالجة نتيجة تربية الحيوانات فى المدرسة	
.2		مدرسة الربيع الأساسية للبنات	1	500	الري	/	
.3	الزرقاء	مركز الأميرة منى (دار المسنين)	3	1800	الري	ارتفاع الاحمال الميكروبية فى المياه غير المعالجة	
.4		مدرسة بدر الكبرى الثانوية للبنات	1	500	تنظيف المرشاح وملء السيفون	/	

.5	عجلون	مدرسة صقر قريش	2	800	الري	/	
.6		كلية عجلون الجامعية/ جامعة البلقاء التطبيقية	2	140	تنظيف المرحاض وملئ السيفون	/	
.7	إربد	كلية الحصن الجامعية/ جامعة البلقاء التطبيقية	2	300	تنظيف المرحاض وملئ السيفون	/	

٢-١-٥ أهم الأمور الواجب مراعاتها عند تشغيل وصيانة أنظمة جمع ومعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية

للتأكد من عمل أنظمة معالجة المياه الرمادية بشكل عام فإنه يُنصح بالآتي:

- الكشف الدوري عن المضخات والمحابس للتأكد من عدم وجود فقاعات في المضخة وعدم انغلاق أو تلف المحابس.
- التأكد من عدم انقطاع التيار الكهربائي عن المضخات.
- مقارنة المياه الداخلة والخارجة من وحدة المعالجة بشكل دوري.
- الكشف على أنابيب المياه الرمادية للتأكد من عدم تجمع المواد الصلبة فيها وانسدادها.
- إزالة المواد المترسبة في قاع حوض تجميع المياه الرمادية بشكل دوري (مرة كل سنة).
- ملاحظة مؤشرات انسداد نظام المعالجة وذلك بتجمع المياه على سطح النظام أو عدم تغير منسوب المياه في حوض تجميع المياه الرمادية المعالجة وتتبع صدور روائح من الوحدات.

ولتحسين نوعية المياه الرمادية المعالجة، يُنصَح بالآتي:

- في حال تم استخدام مياه المطبخ، يجب إزالة مخلفات الطعام عن الصحون وأواني الطبخ قبل غسلها ووضع مصفاة في حوض الجلي لحجز بقايا الأرز والطعام ومنعها من الاختلاط مع مياه الجلي.
- عدم وضع مواد كيماوية في مصادر المياه الرمادية مثل المبيّضات ومواد التنظيف القوية والدهانات والأدوية.
- عدم غسل الملابس الملوثة بفضلات الأطفال في المصادر الموصولة بأنابيب المياه الرمادية.
- عدم تنظيف الأطفال في مصادر المياه الرمادية.

أما بالنسبة للاعتبارات الصحية لاستخدام المياه الرمادية، فإنه يُنصَح بما يلي:

- استخدام المياه الرمادية المعالجة في نفس موقع إنتاجها.
- يُفضّل أن يكون مكان إعادة استخدام المياه الرمادية بعيداً – نسبياً- عن أماكن تردد الأطفال والمارة.
- وضع لافتات في المنطقة التي تُستخدم فيها المياه الرمادية بحيث تبين هذه اللافتات وجود إعادة استخدام للمياه الرمادية في هذه المنطقة.
- تجنب تخزين المياه الرمادية قبل أو بعد المعالجة لأكثر من ٢٤ ساعة لمنع تكاثر البكتيريا وانتشار الروائح، ويفضل وضع ماسورة تهوية تسمح للروائح بالخروج وخاصة في أحواض التجميع التي قد تُخزّن فيها المياه.
- عدم استخدام المياه الرمادية بأية طريقة تؤدي إلى التماس المباشر مع الخضروات أو النباتات التي تؤكل نيئة أو مطبوخة.
- استخدام أسلوب الري بالتنقيط ومنع الري بواسطة الرشاشات.
- تجنب استعمال المياه الرمادية المعالجة في حالة وجود حالة وبائية عامة.

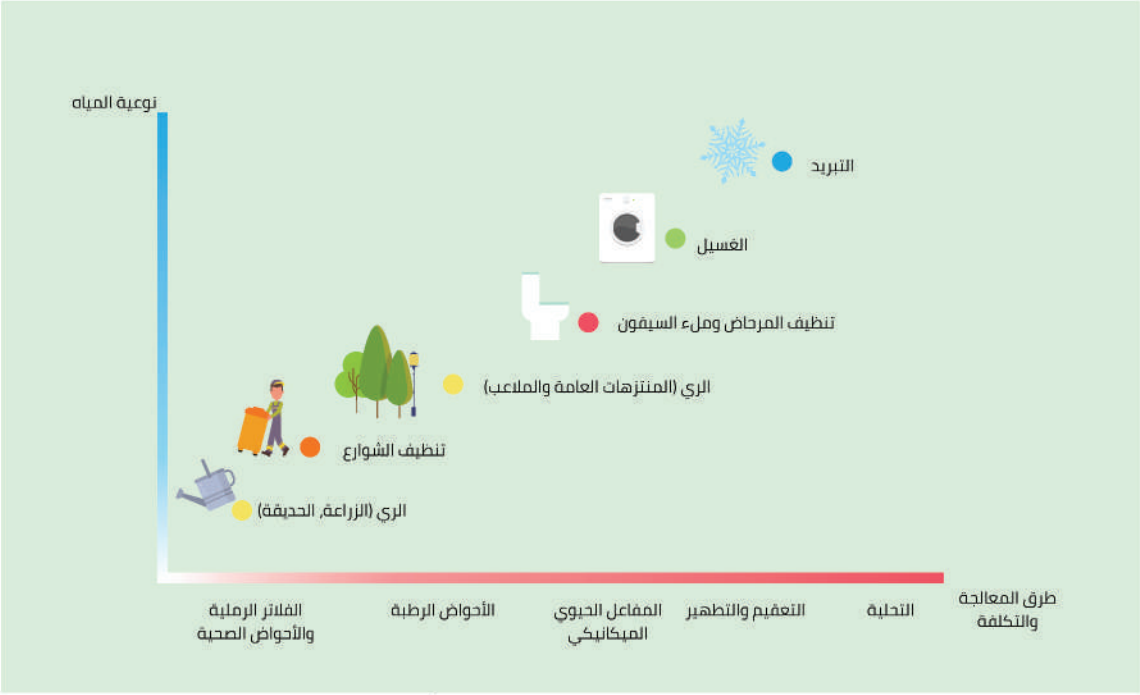
الفصل الثالث

إعادة استخدام المياه الرمادية والتشريعات الأردنية ذات العلاقة

٣-١ إعادة استخدام المياه الرمادية

يمكن إعادة استخدام المياه الرمادية في مجالات مختلفة مثل الزراعة وتنظيف المرحاض وملىء سيفون الحمام وغسيل السيارات وإطفاء الحرائق وتغذية المياه الجوفية وفي الخلطات الأسمنتية وغيرها من الاستعمالات, إلا أن أغلب التشريعات والمواصفات المعمول بها عالمياً ومحلياً في مجال معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية تركز فقط على إعادة استخدامها في الزراعة وتنظيف المراحيض.

وكمثال على معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في العالم يبين الشكل رقم (١١) طرق معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في ألمانيا.



الشكل رقم (١١):معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في ألمانيا (GIZ. 2014)

٣-٢ التشريعات والمواصفات ذات العلاقة التي تحكم عملية جمع ومعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في الأردن

تم اصدار أول مواصفة أردنية لضبط عملية إعادة استخدام المياه الرمادية في الأردن عام ٢٠٠٨ (JS ١٧٧٦:٢٠٠٨) من قبل اللجنة الفنية الدائمة للمياه والمياه العادمة التابعة لمؤسسة المواصفات والمقاييس الأردنية، حيث اقتصرت هذه المواصفة على اعتماد إعادة استخدام المياه الرمادية المستصلحة في الري المقيد فقط (أي ري جميع أنواع المحاصيل باستثناء الفواكه والخضروات والنباتات التي تلامس ثمرها المياه المعالجة سواء أكانت تؤكل نيئة أو مطبوخة).

وقد تم تعديل هذه المواصفة عام ٢٠١٣ (JS ١٧٧٦:٢٠١٣) لتشمل كافة أغراض الري من ري الخضار المطبوخة أو التي تؤكل نيئة والحدائق والمسطحات الخضراء وغيرها من المحاصيل. إضافة إلى ذلك تم إضافة بند إعادة الاستخدام لتنظيف وملئ سيفون الحمام في المواصفة المعدلة كما هو موضح في الجدول رقم (٥) والجدول رقم (٦).

الجدول رقم (٥): الخصائص والمعايير القياسية الواجب الالتزام بها للمياه الرمادية المستصلحة حسب أوجه الاستخدام

الفحوصات [1]	الرمز	الحدود المسموح بها حسب أوجه الاستخدام		
		ري الخضار المطبوخة والحدائق والمسطحات الخضراء والمحاصيل الأخرى[2]	ري الخضار التي تؤكل نيئة	مياه تنظيف المراحاض (Toilet Flushing)
الرقم الهيدروجيني	pH (SU)	9-6		
المواد الصلبة الذائبة الكلية	TDS	2000		
المواد الصلبة العالقة الكلية	TSS	100	100	10≥
الأكسجين المستهلك حيوياً	BOD_5	60	60	10≥
الأكسجين المستهلك كيميائياً	COD	120	120	20≥
النترات	NO_3	70		
النيتروجين الكلي	T-N	50		
العكارة	Turbidity[3]	قيمة غير محددة	قيمة غير محددة	5≥
البيكربونات	HCO_3	520		
الكلورايد	Cl	500		
الفوسفات	P (as PO_4)	15		
نسبة ادمصاص الصوديوم	SAR	9		
الكبريتات	SO_4	500		
الدهون والشحوم والزيوت	FOG	8		
الفينول	Phenol	0.05		
مادة المثيلين الأزرق الفعالة	MBAS	v25		
الإيشيريشيا كولاي	*E.coli*[4]	10^{4}[5]	10^{3}[5]	10>
بيوض الديدان المعوية	*IPN*[6]	1≥		

(1) الوحدات (مليغرام/لتر) باستثناء ما تم الإشارة اليه

(2) تشمل المحاصيل الأخرى: المحاصيل العلفية ومحاصيل الحبوب ومحاصيل الزيت والمحاصيل الصناعية

(3) وحدة عكارة المياه (Turbidity) هي وحدة نفتالية (NTU)

(4) وحدة قياس الإيشيريشيا كولاي (E.coli) هي العدد الأكثر احتمالاً لكل ١٠٠ مليلتر (١٠٠mL/MPN)

(5) يشترط استخدام نظام الري بالتنقيط

(6) وحدة قياس بيوض الديدان المعوية هي بيضة لكل لتر (Egg/L)

الجدول رقم (٦): تركيز المعادن الثقيلة والنزرة في المياه الرمادية المستصلحة التي يتم استخدامها في الري

العنصر (١)	الرمز	الحد المسموح به (مليغرام/لتر)
السيانيد	CN	0.07
الألمنيوم	Al	5.0
الزرنيخ	As	0.1
البيريليوم	Be	0.1
الكادميوم	Cd	0.01
الكوبلت	Co	0.05
الكروم الكلي	Cr	0.1
النحاس	Cu	0.2
الفلوريد	F	2.0
الخارصين	Zn	2.0
الحديد	Fe	5.0
الليثيوم	Li	2.5
المنغنيز	Mn	0.2
الموليبدينيوم	Mo	0.01
النيكل	Ni	0.2
الرصاص	Pb	5.0
السيلينيوم	Se	0.02
الفانديوم	V	0.1
الزئبق	Hg	0.004>
البورون	B	1

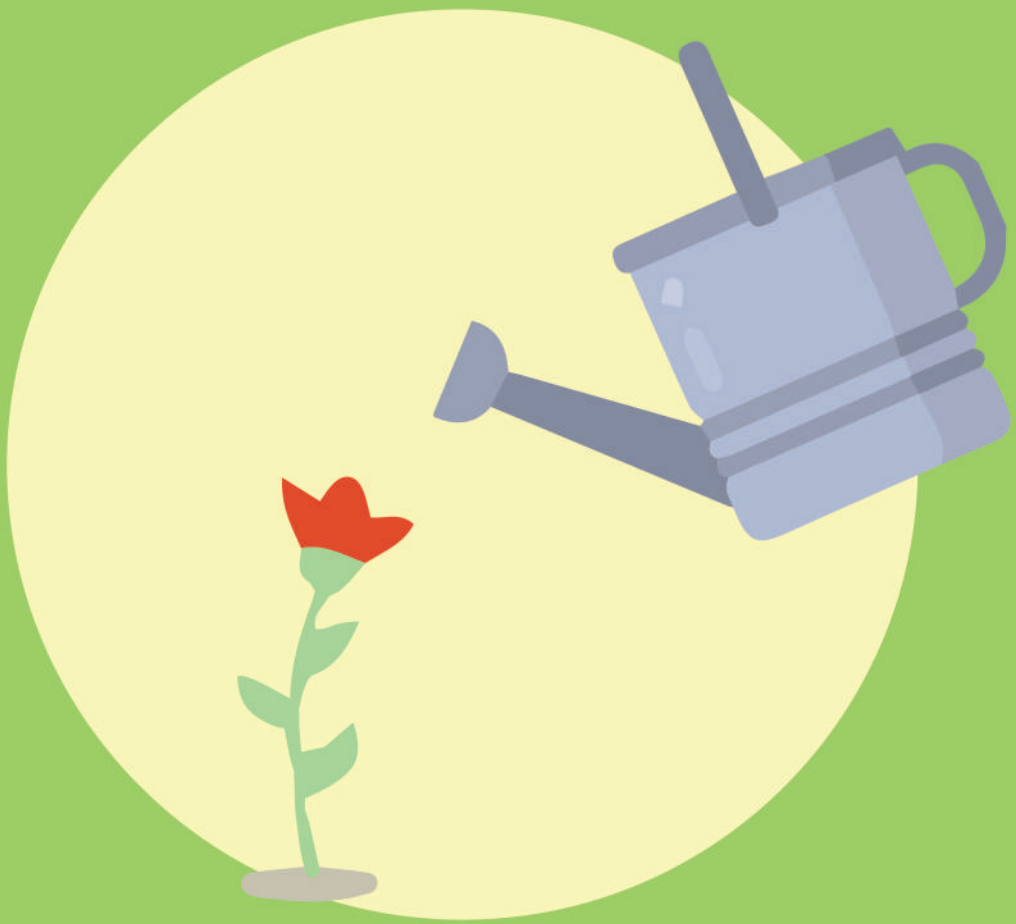
(١): وحدة التركيز (مليغرام/لتر)

فيما سبق يظهر أن المياه المُعالجة في الأردن يُمكن استخدامها للأغراض التالية:

- الخضار التي تؤكل نيئة والخضار المطبوخة.
- المحاصيل الحقلية.
- الأشجار المثمرة والحرجية.
- الحدائق والمتنزهات والمسطحات الخضراء.
- المحاصيل العلفية ومحاصيل الحبوب ومحاصيل الزيت والمحاصيل الصناعية.
- وتنظيف المراحيض.

الفصل الرابع

فوائد معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية



يمكن تقسيم الطابع العمراني و توزيع المناطق السكنية في الأردن إلى قسمين رئيسيين؛ أولهما الطابع السكني الريفي(القروي) وثانيهما الطابع الحضري(المدني). وسنتطرق في هذا الجزء الى فوائد إعادة استخدام المياه الرمادية على مستوى المنزل في الطابعين.

أولاً: الطابع الريفي (القروي)

من المعروف أن من يسكن في الريف يكون نظام السكن أفقياً مما يوفر مساحة منزلية تسمح بإجراء أنشطة منوعة.

ويمكن إجمال أهمية إعادة استخدام المياه الرمادية المعالجة في المناطق القروية في:

1. ري الحديقة المنزلية: يمكن ري الحديقة المنزلية بالمياه الرمادية المعالجة والتي تنطبق عليها الخصائص المنصوص عليها ضمن المواصفات والتشريعات السارية المتعلقة بهذا الخصوص، حيث يمكن استخدامها في ري الأشجار الحرجية أو الزينة المحيطة بالمنزل مما يعطي منظراً جمالياً للحديقة المنزلية أو ري بعض المحاصيل الحقلية على مستوى المنزل ويساعد ذلك في تحقيق الاكتفاء الذاتي من هذه المحاصيل مع ضرورة استخدام أنظمة الري التي تحقق شروط السلامة العامة.

2. تقليل الضغط على استهلاك مخزون المياه المنزلي الصالح للشرب وأغراض النظافة، حيث يصبح هناك مصدر مائي متجدد بشكل يومي يمكن الاستفاده منه.

3. تقليل فاتورة المياه على مستوى المنزل؛ حيث يقدر التوفير من (٣٠% - ٤٠%) من إجمالي الفاتورة بناءً على تقدير استهلاك المياه الرمادية.

4. تخفيف العبئ (الحمل المائي) والمادي على الحفر الامتصاصية المنزلية التي يحتاج صاحب المنزل لنضح الحفرة على نفقته الخاصة من وقت لآخر، حيث تتباعد الفترة اللازمة لنضح هذه الحفر بسبب فصل المياه الرمادية ومعالجتها وإعادة إستخدامها.

5. تقليل الأضرار البيئية (تلوث المياه الجوفية او خرانات تجميع مياه الامطار على مستوى المنزل) والحد من انتشار الحشرات والقوارض في المنطقة والتي قد تنتج عن امتلاء و فيضان الحفر الامتصاصية .

ثانياً: الطابع الحضري (المدني)

تتميز المناطق ذات الطابع المدني بعدم توفر مساحات واسعة للقيام بعمليات معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية , إلا أنه في حال استخدام تقنيات ذات متطلب مساحة صغير (كما هو الحال في الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة) فإن المناطق الحضرية يُمكن لها الاستفادة من المياه الرمادية في تنظيف المراحيض وفي تعزيز مفهوم الزراعة الحضرية.

وتكمن أهمية معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في المناطق الحضرية في:

1. تخفيف الحمل المائي على شبكات تصريف المياه العادمة نتيجة فصل المياه الرمادية ومنع دخولها للشبكة.
2. يمكن إعادة استخدام المياه الرمادية المعالجة في الوحدات الصحية المنزلية لغايات تنظيف المراحيض (السيفونات) وهذا يشمل المباني والتجمعات السكنية بما يتطابق مع المواصفات والتشريعات اللازمة لهذه الغايات.
3. تقليل الضغط على استهلاك مخزون المياه المنزلي الصالح للشرب وأغراض النظافة, حيث يصبح هناك مصدر مائي متجدد بشكل يومي يمكن الاستفاده منه.
4. تقليل فاتورة المياه على مستوى المنزل؛ حيث يقدر التوفير من (٣٠%- ٤٠%) من إجمالي الفاتورة بناءً على تقدير استهلاك المياه. وهنا لا بد من الإشارة إلى وجود «كود» لفصل المياه الرمادية ضمن التجمعات السكنية الجديدة و التي تعرف بـ « المباني الخضراء».
5. حديثاً و لتحقيق غايات الاكتفاء الذاتي في المناطق الحضرية يمكن إعادة استخدام المياه الرمادية المعالجة في الزراعة وذلك من خلال إنشاء وحدة زراعة على أسطح المنازل (الزراعة الحضرية).

قامت الجمعية العلمية الملكية /مركز البيئة والمياه بتصميم وتنفيذ فلتر رملي ذو طبقات متحركة على سطح أحد المنازل الواقعة في منطقة حضرية مكتظة (صويلح-عمان) , حيث تمت إعادة استخدام المياه المعالجة لأغراض الزراعة الحضرية على سطح المنزل. وقد تم إنشاء وبناء بيت بلاستيكي على سطح المنزل يعتمد على المياه الرمادية المُعالجة. وهذه هي التجربة الأولى التي يتم فيها إعادة استخدام المياه الرمادية لأغراض زراعة أسطح المنازل في المناطق الحضرية.

البيت البلاستيكي على سطح أحد المنازل في منطقة صويلح-عمان ويظهر من داخله الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة – تنفيذ الجمعية العلمية الملكية ٢٠١٥-٢٠١٦

الفصل الخامس

الجدوى الاقتصادية لأنظمة معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية

سيتم التطرق في هذا الجزء إلى الجدوى الاقتصادية من معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية. تُعرف الجدوى الاقتصادية بأنها «أسلوب أو أداة علمية لقياس مدى نجاح أي مشروع مالياً وذلك من خلال الاعتماد على عدد من الفرضيات والتقديرات».

٥-١ تكاليف معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية

تتمثل التكلفة الفعلية لأنظمة معالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها في التالي:

1. التكاليف الأولية لنظام معالجة المياه الرمادية وعملية فصل المياه الرمادية.
2. التكاليف الأولية للفنيين والعمالة من أجل تجهيز الموقع وإجراء الفصل والتمديدات وتوصيلات نظام المعالجة ونظام إعادة الاستخدام.
3. التكاليف الأولية لأنظمة إعادة الاستخدام من تمديديات وتوصيلات ومضخات وغيرها.
4. التكاليف التشغيلية لأنظمة المعالجة وإعادة الاستخدام وتتضمن تكلفة الطاقة والكهرباء والصيانة وغيرها.

٥-٢ فوائد وعوائد معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية

هنالك العديد من الفوائد لمعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية والتي يمكن تقسيمها إلى فوائد مالية وفوائد اجتماعية - اقتصادية وفوائد بيئية.

الفوائد المالية: وهي الفوائد التي لها قيم سوقية مباشرة (Direct Market Values) وتشمل:

- كميات المياه الإضافية التي سيتم الحصول عليها من معالجة المياه الرمادية.
- مقدار الخفض على قيمة فواتير المياه.
- كميات المحاصيل الزراعية الإضافية الناتجة من إعادة استخدام المياه الرمادية في الزراعة.
- التوفير الناجم عن تقليل نضح الحفر الإمتصاصية نتيجة تقليل كميات المياه العادمة الخارجة من المنزل.

الفوائد البيئية: تتمثل الفوائد البيئية من إجراء معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية بشكل أساسي في الحد من خطر تلوث المياه الجوفية وذلك من خلال تقليل كميات المياه العادمة التي من الممكن أن تتسرب إلى المياه الجوفية. ومن الصعب تحديد أثر المشروع بشكل مباشر في الحد من تلوث المياه الجوفية, إذا أن هنالك العديد من العوامل التي تؤثر في مدى إمكانية حدوث تلوث للمياه الجوفية والتي تختلف من منطقة إلى أخرى. إضافة إلى ذلك فإن مشاريع المياه الرمادية تُساعد في الحد من انتشار الحشرات والقوارض وحالات الإصابة بالأمراض المرتبطة بتلوث المياه.

٥-٣ تحليل التدفق النقدي: التدفق الداخل والخارج (Cash Flow Analysis)

يعرف مفهوم التدفق النقدي بالحركة النقدية داخل وخارج أي مشروع. وفي العادة يتم حساب التدفق النقدي بشكل سنوي لأغراض التحليل المالي. ففي مشاريع معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية فإن التدفقات النقدية الداخلة تتمثل في كميات المياه الإضافية التي من الممكن الحصول عليها من معالجة المياه الرمادية، وزيادة كمية إنتاج المحاصيل الزراعية نتيجة الري المتواصل وتقليل فاتورة المياه ونضح الحفر الامتصاصية. وتشمل التدفقات النقدية الخارجة تكاليف التشغيل والصيانة للنظام، بالإضافة إلى التكلفة الرأسمالية أو الأولية للنظام في بداية المشروع والعمالة والتكاليف الأخرى والتي تدرج من ضمن نفقات المشروع.

عند إجراء تحليل التدفق النقدي يتم احتساب مؤشرين ماليين رئيسيين وهما صافي المنافع (The Net Benefit) ونسبة المنفعة إلى التكلفة (المنفعة/ التكلفة). ويمكن احتسابهم على النحو التالي:

صافي المنافع= (التدفقات النقدية الداخلة - التدفقات النقدية الخارجة)

أو %المنفعة/التكلفة= التدفقات النقدية الداخلة / التدفقات النقدية الخارجة × 100%

٥-٤ دراسات الجدوى الاقتصادية لمشاريع معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية في الأردن

تم خلال الأعوام السابقة إعداد عدد من الدراسات في مجال الجدوى الإقتصادية لمشاريع معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية ومن الأمثلة على هذه الدراسات:

دراسة (السيد وآخرون، ٢٠١٥)[1]:

تم اجراء هذه الدراسة على أنظمة الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة التي تم تركيبها في تسعة منازل ذات طابع حضري وغير مخدومة بشبكة صرف صحي في مناطق في محافظات عمان و الطفيلة ومادبا ومعان في الفترة ما بين (٢٠١٠-٢٠١٣)، حيث تم إعادة استخدام المياه الرمادية في الري. تمثلت نتائج دراسة الجدوى الإقتصادية لأنظمة معالجة المياه الرمادية وإعادة الاستخدام في الزراعة إلى أن: صافي الفوائد= (التدفقات النقدية الداخلة - التدفقات النقدية الخارجة)= (١١٧٧,٦٧)-(٦٣٣) = ٥٤٥ دينار أردني، أي ما يقارب ٧٦٩ دولار أميركي مع نهاية العمر الإفتراضي للنظام والذي تم افتراضه (١٢) عام . الجدول رقم (٧) يوضح الحسابات التفصيلية للدارسة.

1: Assayed et al. 2015.

الجدول رقم (٧): الحسابات التفصيلية للفوائد والتكلفة لنظام الفلتر الرملي ذو الطبقات المتحركة

السنوات	التكلفة (الدينار الأردني)	الفوائد (الدينار الأردني)	$\frac{1}{(1+r)^t}$	التكلفة (5% خصم بالدينار الأردني)	الفوائد (5% خصم بالدينار الأردني)	(التكلفة/الفائدة)%
0	385	0	1.00	385	119.40	3.22%
1	28	119.4	1.05	27	113.71	24%
2	28	119.4	1.10	25	108.30	23%
3	28	119.4	1.16	24	103.14	23%
4	28	119.4	1.22	23	98.23	23%
5	28	119.4	1.28	22	93.55	24%
6	28	119.4	1.34	21	89.10	24%
7	28	119.4	1.41	20	84.86	24%
8	28	119.4	1.48	19	80.81	24%
9	28	119.4	1.55	18	76.97	23%
10	28	119.4	1.63	17	73.30	23%
11	28	119.4	1.71	16	69.81	23%
12	28	119.4	1.80	16	66.49	24%
المجموع				633	1177.67	

دراسة الشبكة الإسلامية, ٢٠٠٧ (INWRDAM, ٢٠٠٧) :

تم إجراء دراسة الجدوى الاقتصادية على أنظمة الخنادق الرملية (Confined Trench) والتي تم تركيبها في ٦٠ منزل في محافظة الطفيلة, حيث اشتملت الدراسة على دراسة تفصيلية حول الواقع الاقتصادي والاجتماعي والبيئي للأسر المستهدفة من خلال تحليل مصادر الدخل والنفقات وكذلك تحليل النفقات المصروفة على التخلص من المياه العادمة وما يتبعها من أمور أخرى. كما تم الاعتماد على عدد من الفرضيات لتحليل صافي الفوائد (The Net Benefit) والتكلفة والفوائد المرتبطة بمعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية وهي:

- أن معدل الخصم السنوي ٣% و٥% والذي يعكس تكلفة الفائدة من القروض التجارية في فترة المشروع (٢٠٠٦-٢٠٠٥).
- أن العمر الافتراضي لأنظمة معالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها ٥ و ١٠ سنوات, حيث تكون السنة الأولى هي السنة الصفرية (سنة الاستثمار). كما تم حساب التدفقات النقدية الخارجة مع نهاية السنة الأولى.
- تم اعتماد أربعة سيناريوهات أو فرضيات لتحليل النتائج والتحقق من حساسية المشروع وهي:
  ١.العمر الافتراضي للنظام ٥ سنوات مع معدل خصم ٥%
  ٢.العمر الافتراضي للنظام ٥ سنوات مع معدل خصم ٣%
  ٣.العمر الافتراضي للنظام ١٠ سنوات مع معدل خصم ٥%
  ٤.العمر الافتراضي للنظام ١٠ سنوات مع معدل خصم ٣%
- تبدأ الفوائد المتوقعة والتكاليف التشغيلية (التدفقات النقدية الداخلة والخارجة) نهاية السنة الأولى.
- لا يؤخذ في الاعتبار تصاعد الأسعار (تأثير التضخم)
- لا يوجد قيمة نقدية للبنية التحتية والالات والبناء مع نهاية مدة المشروع (انتهاء العمر الافتراضي للنظام)

استناداً إلى نتائج تحليل الجدوى الاقتصادية لهذه الدراسة والموضحة في الجدول رقم (٨)، تبين أن المشروع (معالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية) سيُنتج أرباحاً صافية وبنسب متفاوته بين السيناريوهات المفروضة. كما أن المنافع البيئية والتي تم التطرق إليها في بداية الفصل تعد نجاح إضافي لأي مشروع يُعنى بمعالجة وإعادة استخدام المياه الرمادية.

الجدول رقم (٨): الحسابات التفصيلية للفوائد والتكاليف لدراسة الشبكة الإسلامية

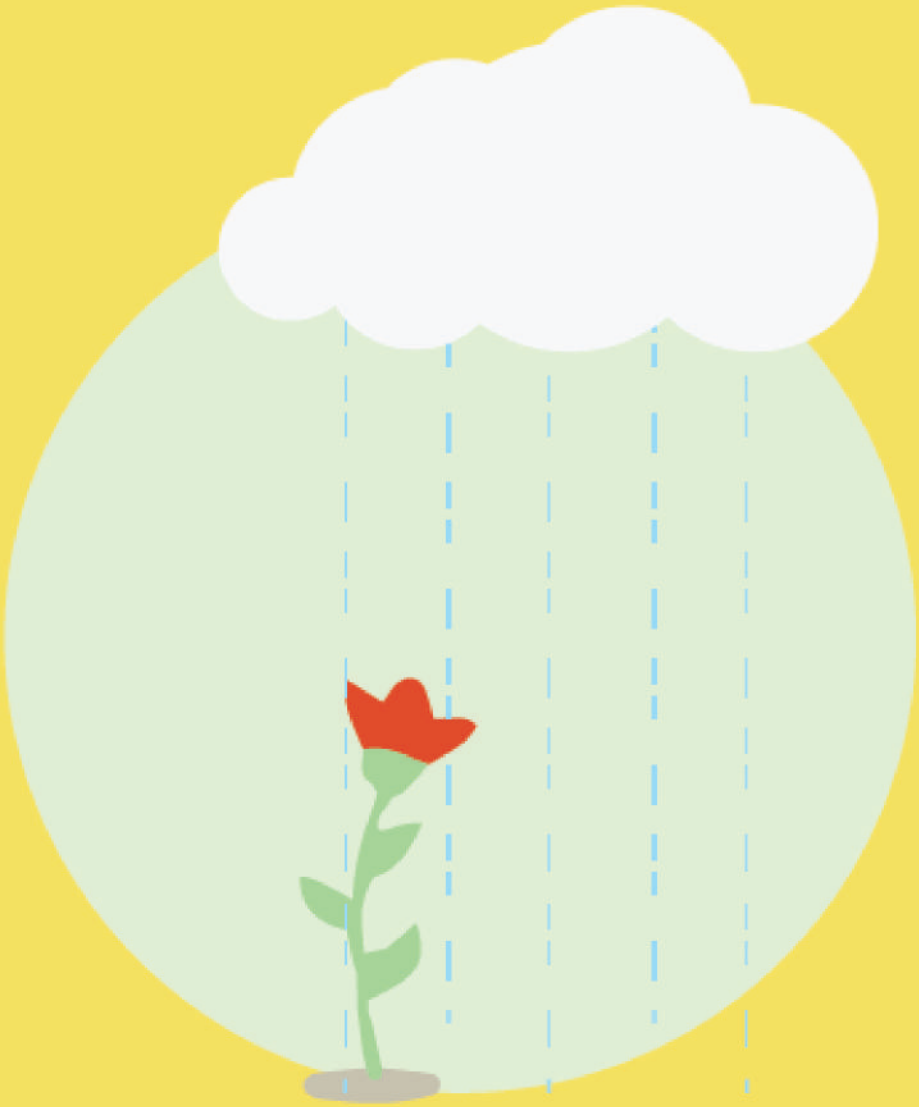
الفرضية	التكلفة (الدينار الأردني)	الفوائد (الدينار الأردني)	صافي الفوائد (الدينار الأردني)	(التكلفة/الفائدة)%
العمر الافتراضي للنظام 5 سنوات مع معدل خصم 3%	339	610	270.99	1.83
العمر الافتراضي للنظام 5 سنوات مع معدل خصم 5%	332	576	244.58	1.76
العمر الافتراضي للنظام10 سنوات مع معدل خصم 3%	447	1136	688.06	2.75
العمر الافتراضي للنظام 10 سنوات مع معدل خصم 5%	425	1028	602.71	2.58

القسم الثاني

حصاد مياه الأمطار وتجميعها

الفصل الأول

حصاد مياه الأمطار: التعريف والفوائد



١-١ مقدمة

تعتبر تقنيات حصاد مياه الأمطار إحدى الوسائل القديمة جداً لتجميع المياه واستخدامها في عدة نشاطات وبخاصة الزراعية منها وقد شهدت العشرون سنة الأخيرة عودة هذه التقنيات فأصبح العديد من الناس يعملون على تجميع مياه الأمطار من أسطح المنازل واستعمالها للأغراض المنزلية المختلفة. وقد عملت وزارة المياه والري في الأردن على تسليط الضوء على حصاد مياه الأمطار وأهميته في كثير من الوثائق الصادرة عنها. ففي استراتيجية وزارة المياه والري ٢٠١٦-٢٠٢٥ أشارت وزارة المياه والري إلى ضرورة تبني تقنيات حصاد مياه الأمطار على جميع المستويات: على المستوى المنزلي وعلى المستوى الزراعي على السواء. كما قامت دائرة الإعلام والتوعية في الوزارة ببث ونشر العديد من المواد المرئية والمسموعة ذات العلاقة بحصاد مياه الأمطار وضرورة الاستفادة منها.

وانعاكساً لهذا الاهتمام الرسمي بحصاد مياه الأمطار، فقد توجهت العديد من الجهات والمنظمات الدولية بما فيها مؤسسات الأمم المتحدة إلى تنفيذ العديد من البرامج المائية التي تتبنى مفهوم حصاد مياه الأمطار وعلى جميع المستويات. فقد قام برنامج الأمم المتحدة الإنمائي بالتعاون مع مرفق البيئة العالمي- برنامج المنح الصغيرة بتمويل العديد من المجتمعات المحلية ضمن برنامج القروض الصغيرة لإقامة مشاريع تهدف الى توفير المياه عن طريق إقامة خزانات لتجميع مياه الأمطار في المنازل. وقد تم توثيق أكثر من (١٩٠) مشروعاً يتضمن إقامة أنظمة حصاد مائي ضمن برنامج المنح الصغيرة. ومن الجدير بالذكر، أن حصاد مياه الأمطار يتعدى تجميع المياه على مستوى المنزل أو المزرعة، فهو يشمل السدود والحفائر والأحواض التي تستخدم في الزراعة . وقد قامت منظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة (الفاو) بعمل دراسة لتقييم قطاع الحصاد المائي في الأردن خلال الأعوام (٢٠١٢-٢٠١٣) وقد تضمنت الدراسة مراجعة جميع المعلومات المتوفرة عن كمية المياه التي تم حصادها وتوزيع المنشآت المائية، كما تمّ إعداد قاعدة بيانات تختص بالسدود (ماعدا السدود المائية الكبيرة) والحفائر والأحواض المائية (جدول رقم ١).

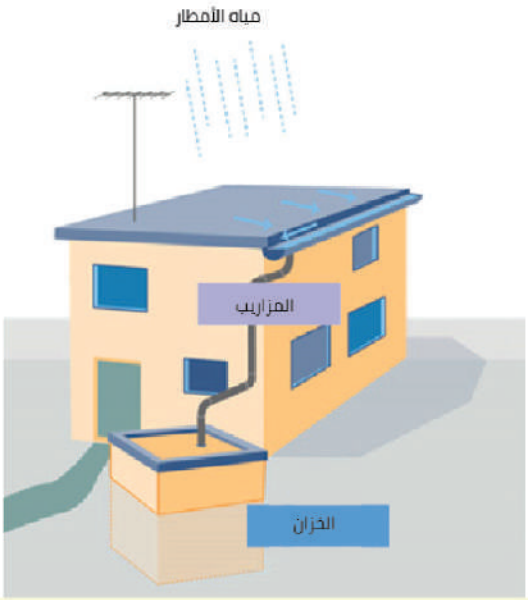
الجدول رقم (١): عدد منشآت الحصاد المائي لأغراض الزراعة في الأردن

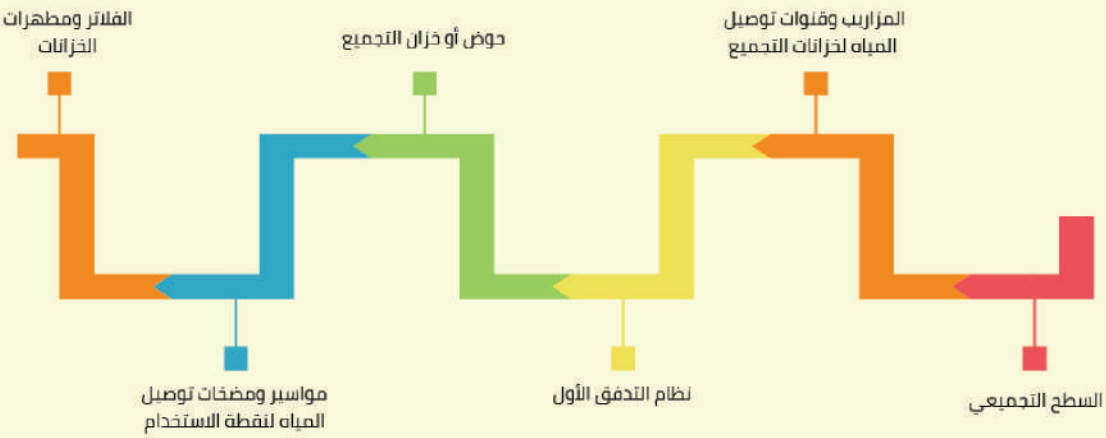
المنشأة المائية	القائمة	قيد التنفيذ	المستقبلية	المجموع
سدود	56	6	29	91
حفائر	129	31	46	206
أحواض	65	-	-	65
المجموع	250	37	75	362

المرجع: Assessment of the water-harvesting sector in Jordan, FAO, ٢٠١٦

١-٢ تعريف حصاد مياه الأمطار ومكوناته الرئيسية

يعرف الحصاد المائي بعملية جمع وتخزين مياه الأمطار الساقطة على أسطح المنازل أو الأراضي الصخرية بشكل عام ليتم استخدامها للأغراض المنزلية أو الزراعية بعد فترة انتهاء الهطول المطري. يتكون نظام حصاد مياه الأمطار من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي ١. السطح التجميعي للمياه ٢. والمزاريب والتوصيلات وقنوات التوصيل ٣. الخزان التجميعي بالإضافة إلى العديد من الملحقات كنظام التدفق الأول والمضخات والفلاتر والمطهرات كما هو موضح في الشكل رقم (١).





الشكل رقم (١): شكل مبسط لنظام حصاد مياه الأمطار من سطح المنزل

فيما يلي شرح عن كل مكون من هذه المكونات:

١. خزان أو حوض التجميع: يمثل الخزان التجميعي للمياه التكلفة الأكبر لنظام الحصاد المائي ولذلك لا بد من حساب حجم الخزان التجميعي بدقة للحصول على السعة أو الحجم المثالي بأقل التكاليف. وتتعدد أحجام وأشكال وأنواع وتكلفة الخزانات التجميعية فهناك الخزانات المصنوعة من البلاستيك و الخزانات المصنوعة من الحديد المغلفن والفخارية أو الطينية بالإضافة إلى الخزانات الإسمنتية والتي تعتبر الأكثر شهرة في الأردن لتجميع مياه الأمطار كما يظهر في الشكل رقم (٢).

الشكل رقم (٢): أمثلة على أنواع وأشكال الخزانات التجميعية لمياه الأمطار

٢. السطح التجميعي: يعتبر السطح التجميعي لمياه الأمطار من المكونات المهمة لنظام الحصاد المائي؛ إذ أن مساحة ونوعية السطح التجميعي تُؤثر بشكل كبير على كمية ونوعية مياه الأمطار التي من الممكن جمعها وتخزينها على المستوى المنزلي. في العادة يكون السطح التجميعي للمياه على المستوى المنزلي هو سطح المبنى أو المنزل. تتنوع أشكال والمواد المصنوع منها السطح من منطقة إلى أخرى فمنها الأسمنتية والطينية والحديد والبلاط أو القرميد والخشب والإسبستوس وغيرها كما هو موضح في الشكل رقم (٣). يُؤثر السطح التجميعي على كمية المياه التي من الممكن جمعها وذلك من خلال مساحة السطح التجميعي وميلان السطح التجميعي باتجاه نقطة التجميع, كما وتؤثر مادة السطح في كفاءة تجميع مياه الأمطار والتي يعبر عنها بمعامل السطح التجميعي كما هو موضح في الجدول رقم (٢).

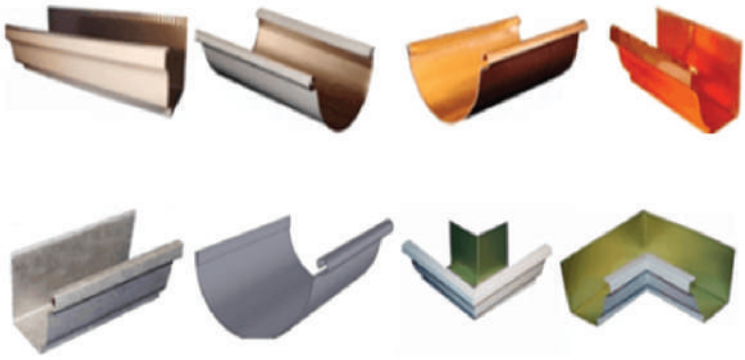
الشكل رقم (٣): أمثلة على أنواع وأشكال الأسطح التجميعية لمياه الأمطار

الجدول رقم (٢): معامل الجريان السطحي للأسطح الأكثر شيوعاً[1]

المادة	معامل الجريان السطحي
المعدن (حديد, المنيوم)	0.95
اسفلت	0.90
خرسانة	0.90
الحصى	0.8-0.85

٣. المزاريب والتوصيلات: هي عبارة عن قنوات أو أنابيب تستخدم لنقل المياه من الخزان السطح التجميعي إلى الخزان ومن الخزان إلى نقطة الاستخدام. تتعدد أشكال وأنواع المزاريب من نصف دائرية إلى مستطيلة أو مثلثة أو قنوات مفتوحة أو أنابيب مغلقة؛ كما تتعدد المواد المصنوعة منها المزرايب من بلاستيكية إلى حديدية أو من الألمنيوم كما هو موضح في الشكل رقم (٤). في العادة يتم تثبيت المزرايب على أطراف السطح التجميعي لنقل مياه الأمطار المتساقطة.

1: Roof-Reliant Landscaping, Rainwater Harvesting with Cistern Systems in New Mexico, 2009.

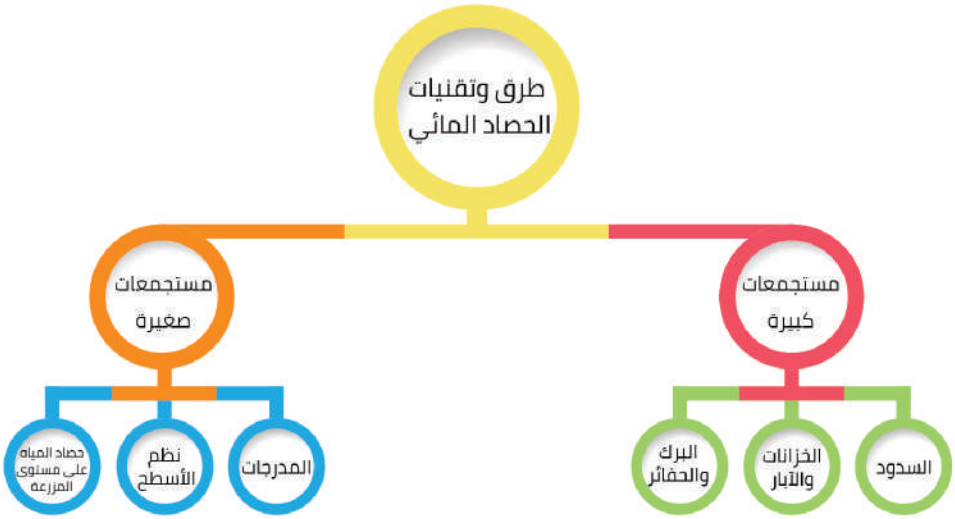


الشكل رقم (٤): أمثلة على أنواع وأشكال المزاريب والتوصيلات في نظام حصاد مياه الأمطار على المستوى المنزلي

صندوق معلومات (١)

نظام التدفق الأول: هو عبارة عن صمام يستخدم لمنع مياه الأمطار في أول جريان سطحي للمياه من الدخول للخزان أو لغايات تنظيف السطح التجميعي للمياه، حيث يمنع دخول المياه الملوثة بالأتربة وغيرها من الدخول للنظام.

١-٣ ما هي طرق وتقنيات حصاد مياه الأمطار؟



الشكل (٥): تصنيف تقنيات الحصاد المائي

١-٤ فوائد حصاد مياه الأمطار

يمكن إجمال فوائد حصاد مياه الأمطار بالتالي:

- أنظمة الحصاد المائي توفر المياه بالقرب من نقاط الاستعمال وهذا بدوره يقلل من مصاريف النقل والضخ وغيرها من المصاريف التشغيلية المعروفة.
- أنظمة مستقلة لا تعتمد على شبكة توزيع المياه وتصلح للإنشاء في المناطق غير المزودة بشبكات توزيع مياه.
- تعتبر مياه الأمطار مياه نظيفة نسبياً وذات نوعية مقبولة للاستعمالات المختلفة وحتى بدون معالجة بشرط أخذ الاحتياطات الصحية اللازمة.
- إذا توفرت أنظمة الحصاد المائي مع شبكة التزويد بالمياه فإنها توفر مخزون إضافي للمياه يمكن استخدامه في مواسم الجفاف وفي حالات انقطاع المياه وبالتالي تقلل الفجوة بين التزويد والطلب.
- التقليل من معدل استهلاك مياه الشبكة وبالتالي تقليل قيمة فاتورة المياه.
- حماية التربة من تراكم الأملاح في حال تم استخدام المياه المُجمعة لأغراض الري.
- التوسع الزراعي ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة.
- فوائد اقتصادية حيث يمكن أن تزداد قيمة العقار أو المُنشأة المزودة ببئر لحصاد مياه الأمطار.
- حصاد مياه الأمطار يقلل من الفيضانات و الجريان السطحي للمياه خاصة في المناطق الحضرية كما يقلل من انجراف التربة وتلوث المسطحات المائية.

الفصل الثاني

الأبعاد التصميمية لأنظمة حصاد مياه الأمطار

٢-١ حساب حجم الخزان التجميعي

تتمثل معظم الحسابات التصميمة في تصميم نظام لحصاد مياه الأمطار على المستوى المنزلي بحساب السعة المناسبة لحجم الخزان التجميعي للمياه. هناك عدد من العوامل التي تحدد السعة التخزينية المناسبة والتي تتمثل بـ:

- معدل الهطول المطري وتوزيعه خلال العام
- مساحة السطح التجميعي للمياه (سطح المنزل)
- معامل الجريان السطحي (الذي يتراوح ما بين ٠,٥ -٠,٩ بالاعتماد على نوعية مادة السطح وميلان السطح)
- أعداد المستخدمين ومعدل استهلاك المياه

كما ويلعب مدى استخدام نظام الحصاد المائي بشكل جزئي أو كلي في التزويد المائي على المستوى المنزلي دوراً مهماً في تحديد الحجم المناسب للنظام. وهناك العديد من الطرق المستخدمة لتحديد حجم الخزان المناسب؛ تختلف هذه الطرق من حيث التعقيد والحاجة إليها ومنها:

الطريقة الأولى: النهج المعتمد على التزويد (Supply Side Approach)

تُستخدم هذه الطريقة في المناطق التي يكون فيها هطول مطري غير متساوي التوزيع خلال العام, بحيث يكون هنالك فائض من المياه في بعض الأشهر فيما يكون عجز في المياه في أشهر أخرى. لذلك لابد من اختيار الحجم المناسب للخزان بشكل صحيح لتوفير ما يكفي من المياه على مدار السنة لتلبية الطلب ومن جانب آخر يجب أن يكون حجم الخزان ملائم لتجنب النفقات غير الضرورية إذ أن خزان التجميع يشكل الكلفة الرئيسية من جميع مكونات الحصاد المائي. وهذا سيناريو شائع في العديد من البلدان النامية ومنها الأردن حيث يكون الهطول المطري في موسم واحد.

صندوق معلومات (٢)

احسب حجم خزان لتجميع مياه الأمطار في منزل يقع في منطقة معدل السقوط المطري فيها ٣٥٠ ملم في السنة , علماً بأن مساحة سطح المنزل ١٥٠ م٢ ونوعية السطح من الأسمنت (معامل السطح ٠,٩)؟

كمية المياه الممكن حصادها=

مساحة سطح المنزل x كمية المطر× معامل نوعية السطح

١٥٠ × ٣٥٠ × ٠,٩ ×٠,٠١= ٤٧,٢٥ م٣.

الطريقة الثانية: النماذج الحاسوبية (Computer Model)

هنالك العديد من برامج الكمبيوتر التي تمكن مستخدميها من حساب حجم الخزان المناسب بدقة تامة بناءاً على المعطيات والبيانات المتوفرة ومنها برنامج(SIM TANKA)والذي تم تطويره من قبل مؤسسة هندية لمحاكاة كفاءة أنظمة الحصاد المائي على المستوى المنزلي بناءاً على معادلات رياضية.

ويحتاج البرنامج إلى بيانات حول معدلات الهطول المطري بشكل شهري لمدة لا تقل عن ١٥ عاماً, حيث يقوم البرنامج بحساب حجم التخزين الأمثل اعتماداً على متطلبات المستخدم وهو متاح بنسخة مجانية على الإنترنت.

٢-٢ حساب حجم الخزان التجميعي لأنظمة الحصاد المائي في الأردن

كما تعرفنا سابقاً فهناك العديد من الطرق لحساب الحجم الملائم لخزان تجميع مياه الأمطار, إلا أن أفضل الطرق لإجراء هذه الحسابات في المناطق الجافة وشبة الجافة والتي منها الأردن هي الطريقة المعتمدة على التزويد (الهطول المطري), حيث أن حجم الخزان يعتمد على كمية التزويد (الهطول المطري) والاستهلاك والذي يمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\Delta S = O - I$$

حيث أن :

ΔS: التغير في كمية التخزين خلال فترة زمنية محددة

I : خلال فترة زمنية محددة إجمالي كمية التزويد المائي للخزان التجميعي (الهطول المطري)

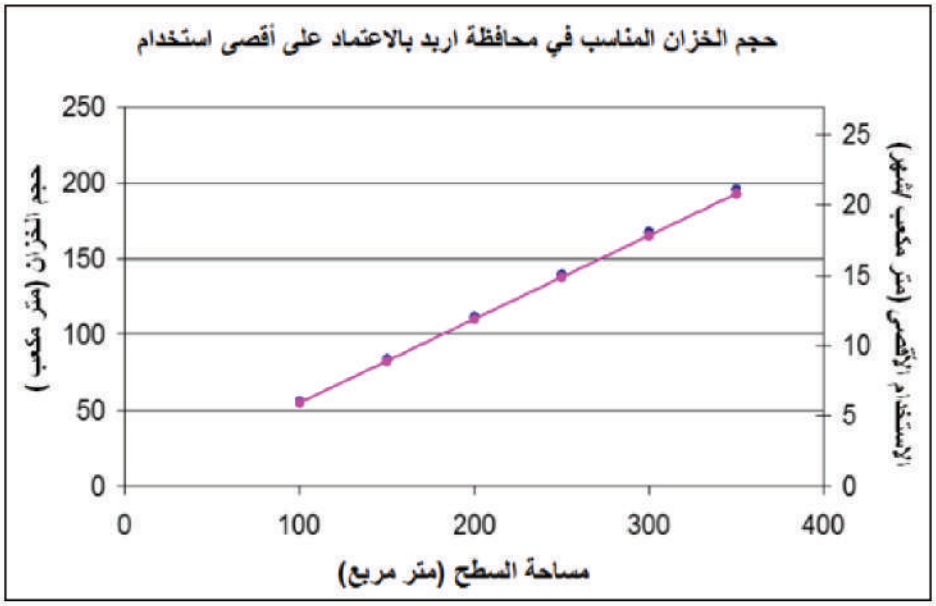
O: إجمالي كمية المياه الخارجة من الخزان (الاستهلاك) خلال فترة زمنية محددة

ومن الدراسات التي تم نشرها في هذا المجال دراسة (أبو زريق وأخرون,٢٠١٢)[1], حيث تم تحديد الحجم المناسب لخزان تجميع مياه الأمطار في سبعة محافظات في الأردن (عمان وإربد وعجلون والمفرق ومعان والطفيلة) بالاعتماد على بيانات الهطول المطري لثلاثين عام (١٩٧٦-٢٠٠٥), حيث تم استخدام بيانات الهطول المطري الشهرية للثمانية شهور الرطبة في الأردن (تشرين أول- أيار) أي ما يعادل بيانات ٢٣٥ شهر. تم الافتراض في هذه الدراسة أن حجم الخزان تم تصميمه لتلبية الاحتياجات المائية في الأشهر الرطبة (تشرين أول- أيار) في حين يتم تلبية الاحتياجات المائية في الأشهر الأخرى الجافة (حزيران-أيلول) من مصادر مائية أخرى. تصلح هذه الطريقة أيضاً لحساب الحجم المناسب لخزان مياه الأمطار ليغطي كافة أشهر العام سواء الرطبة أم الجافة, إذ أن كمية المياه التي من الممكن جمعها في الخزان تبقى كما هي والتي تمثل كمية الأمطار المتساقطة.

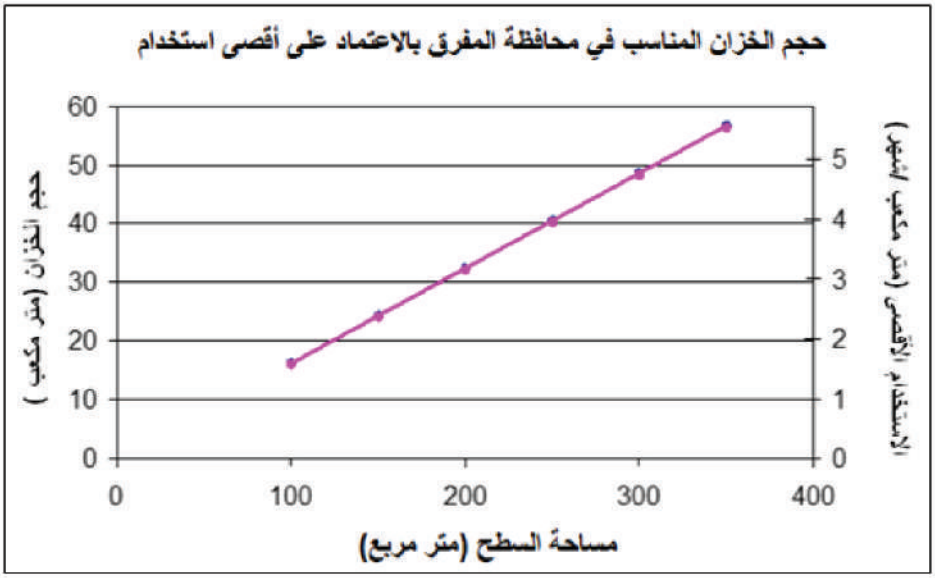
1: Abu-Zreig, M, Hazaymeh. A and Shatanawi. M, Evaluation of residential rainfall harvesting systems in Jordan, Urban Water Journal, 2012.

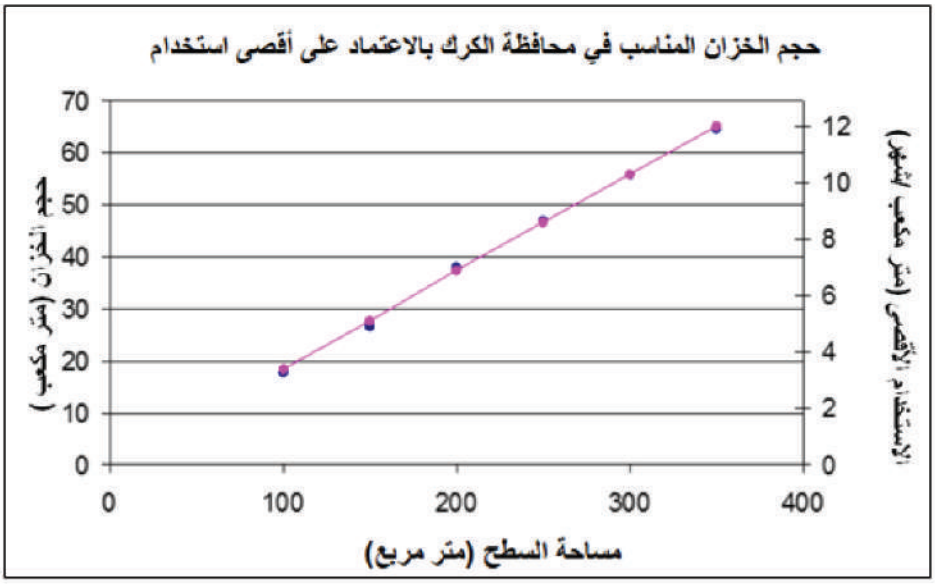
وكما يظهر في الشكل رقم (٦) فإن حجم الخزان يزداد بازدياد الطلب على المياه (استهلاك المياه) وكذلك بزيادة كمية الهطول المطري والتي تختلف من محافظة إلى أخرى. فعلى سبيل المثال، الحجم المناسب لخزان المياه لمنزل مساحته ٢٠٠ متر مربع في محافظة المفرق (المعدل العام لهطول الأمطار ١٦٩ مليمتر) يساوي ٣٣ متر مكعب والذي بدوره سيزود المنزل بكمية مياه تساوي ٣,١ متر مكعب في الشهر كحد أقصى وفي المقابل فإن الحجم المناسب لخزان المياه لمنزل مساحته ٢٠٠ متر مربع في محافظة عجلون (المعدل العام لهطول الأمطار ٦٤٥ مليمتر) يساوي ١٠٥ متر مكعب والذي بدوره سيزود المنزل بكمية مياه تساوي ١١,٥ متر مكعب شهرياً كحد أقصى.

كما وتختلف كمية التزويد المائي التي من الممكن جمعها من مياه الأمطار شهرياً من محافظة إلى أخرى، فعلى سبيل المثال لو أردنا أن نتزود بشكل شهري ب ١٠ متر مكعب من مياه الأمطار فإننا نحتاج في محافظة عجلون أن تكون مساحة سطح المنزل لا تقل عن ١٨٠ متر مربع وحجم الخزان المناسب ٩٠ متر مكعب. أما في محافظة المفرق فإنه لا يمكننا أن نتزود بشكل شهري ب ١٠ متر مكعب من مياه الأمطار وذلك لأن أكثر كمية مياه يمكننا التزود بها من مياه الأمطار بشكل شهري في المفرق هي ٥,٥ متر مكعب على أن لا يقل مساحة سطح المنزل عن ٣٥٠ متر مربع وحجم الخزان ٥٥ متر مكعب.



الشكل رقم (٦) : حجم خزان حصاد مياه الأمطار في محافظات عمان وإربد وعجلون والمفرق ومعان والطفيلة بالاعتماد على بيانات الهطول المطري لثلاثين عام (١٩٧٦-٢٠٠٥)





تابع الشكل رقم (٦) : حجم خزان حصاد مياه الأمطار في محافظات عمان وإربد وعجلون والمفرق ومعان والطفيلة بالاعتماد على بيانات الهطول المطري لثلاثين عام (١٩٧٦-٢٠٠٥)

تابع الشكل رقم (٦) : حجم خزان حصاد مياه الأمطار في محافظات عمان وإربد وعجلون والمفرق ومعان والطفيلة بالاعتماد على بيانات الهطول المطري لثلاثين عام (١٩٧٦-٢٠٠٥)

٢-٣ كمية مياه الأمطار التي من الممكن جمعها من أسطح المنازل في الأردن

سيتم التطرق هنا إلى كميات المياه التقديرية والتي من الممكن جمعها من أسطح المنازل في الأردن وذلك لبيان أهمية تطبيق مفهوم الحصاد المائي على المستوى المنزلي.

- **الفرضيات الحسابية:**

تم الاعتماد على عدد من الفرضيات لحساب كميات المياه الممكن جمعها وعلى النحو التالي:

١. تم الاعتماد على المعدل العام للهطول (مليمتر) لكل محافظة في الأردن وفقاً لأرقام وزارة المياه والري/ سلطة المياه.

٢. تم الاعتماد على المعلومات الصادرة من دائرة الإحصاءات العامة لتعداد للسكان والمساكن ٢٠١٥, فيما يتعلق بمساحة المنازل في الأردن.

٣. تم افتراض أن كل عمارة أو مبنى سكني يتكون من ثمانية شقق وأن مساحة سطح العمارة تعادل مساحة سطح شقتين.

٤. تم أخذ كل من أعداد ومساحات المنازل في المناطق الريفية والحضرية في الاعتبار في الحسابات.

٥. تم استثناء المنزل (غير معروف) مساحة سطح المنزل من الحسابات.

٦.تم اعتماد قيمة (٠,٩) لمعامل الجريان السطحي للمياه.

٧. تم اعتماد المعادلة التالية لتقدير إجمالي كميات المياه الممكن جمعها على مستوى كل محافظة: إجمالي كميات الأمطار الممكن جمعها = مجموع مساحة المنازل (م ٢) × المعدل العام للهطول المطري الفعلي (مليمتر) × معامل الجريان السطحي للأسطح الخرسانية× ٠,٠٠١.

الجدول رقم (٣) :كميات المياه التقديرية التي من الممكن جمعها من أسطح المنازل في الأردن حسب المحافظة

المحافظة	المعدل العام لهطول الأمطار (مليمتر)[1]	المعدل العام للهطول الفعلي (مليمتر)[2]	مساحات المنازل [3] (متر مربع)	كميات مياه الأمطار التي من الممكن حصادها [4] (متر مكعب)
عمان	490	441	33,823,656	13,424,609
البلقاء	624	562	5,999,538	3,034,566
الزرقاء	136	122	9,781,063	1,073,961
مادبا	339	305	2,632,725	722,683
إربد	411	370	17,410,956	5,797,848
المفرق	169	152	7,149,013	977,985
جرش	352	317	2,861,494	816,384
عجلون	645	581	2,194,069	1,147,279
الكرك	359	323	4,644,756	1,350,231
الطفيلة	270	243	1,350,925	295,447
معان	43	39	1,504,381	52,804
العقبة	35	32	1,604,650	46,214
المجموع الكلي			90,957,225	28,740,011

(١): تم الاعتماد على المعدل العام للهطول (مليمتر) لكل محافظة في الأردن وفقاً لأرقام وزارة المياه والري/ سلطة المياه.

(٢): المعدل الفعلي للهطول المطري: لا يتضمن الهطول المطري الذي يقل عن ٥ مليمتر والذي يساوي ٠,٩ من المعدل العام للهطول المطري.

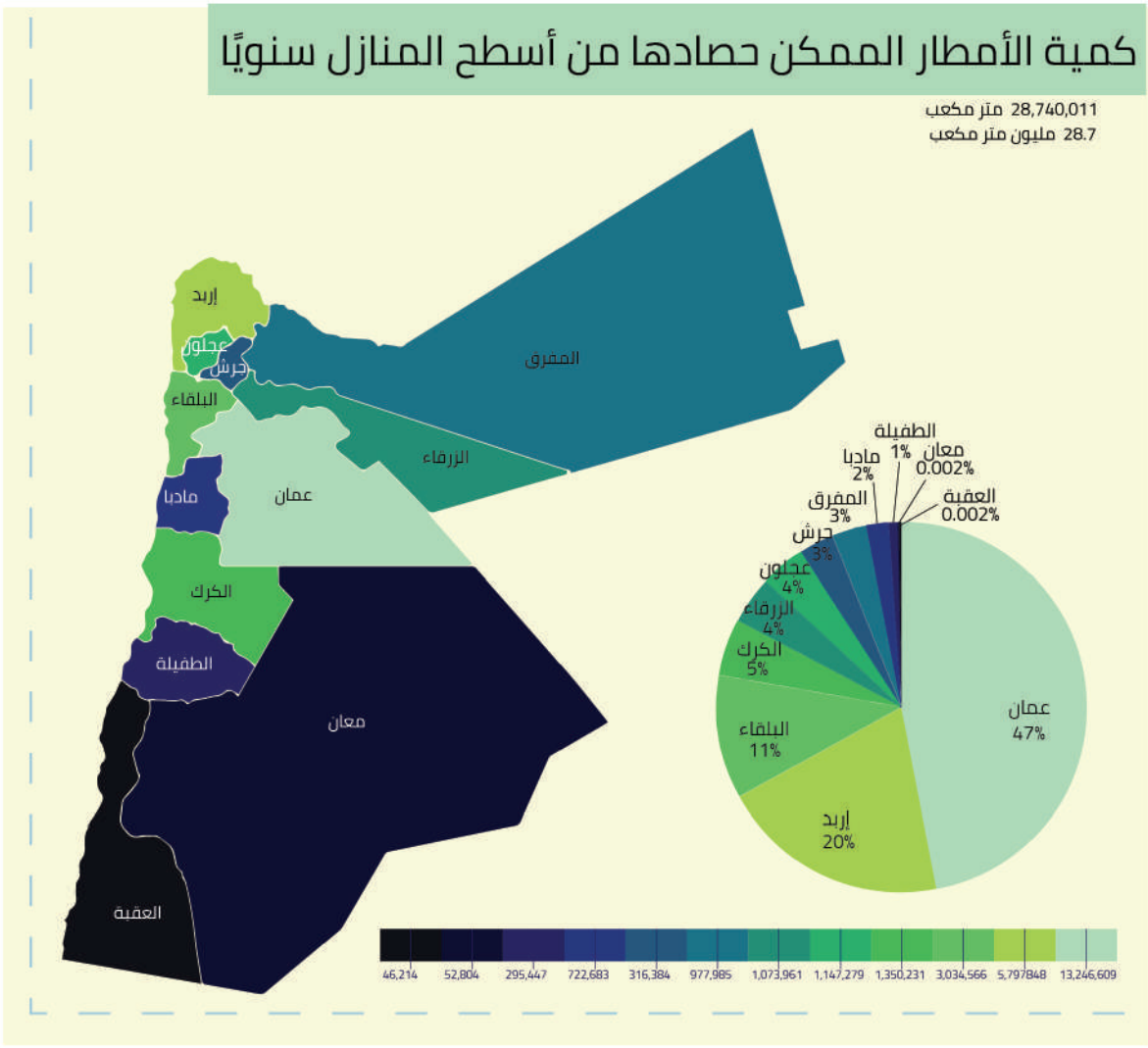
(٣): تم الاعتماد على المعلومات الصادرة من دائرة الإحصاءات العامة للتعداد للسكان والمساكن ٢٠١٥, فيما يتعلق بمساحة المنازل في الأردن.

(٤): إجمالي كميات الأمطار الممكن جمعها = مجموع مساحة المنازل (م ٢) × المعدل العام للهطول المطري الفعلي (مليمتر) × معامل الجريان السطحي للأسطح الخرسانية× ٠,٠٠١.

يظهر مما سبق، أن كمية المياه الممكن حصادها من أسطح المنازل سنوياً في الأردن تبلغ (٢٨,٧) مليون متر مكعب والتي تشكل ما نسبته (٦,٧%) من كميات المياه المستخدمة منزلياً في الأردن والبالغة (٤٢٨,٩) مليون متر مكعب عام ٢٠١٤. كما وتتفاوت كميات حصاد مياه الأمطار التي من الممكن جمعها من محافظة إلى أخرى، إذ تُشكل نسبة كمية المياه التي من الممكن جمعها في محافظتي عمان وإربد (٦٧%) من كمية المياه التي من الممكن جمعها على مستوى الأردن فيما تُشكل نسبة مياه الأمطار التي من الممكن جمعها من المحافظات الأخرى (٣٣%) فقط. ويعود السبب في ذلك إلى أن محافظتي عمان وإربد تعتبران من أكثر المحافظات كثافة للسكان والمساكن في الأردن كما وأنها تقع في سلسة المناطق المرتفعة والتي تُصنف كأعلى المناطق في الأردن بالهطول المطري. (شكل ٧).

٢-٤ التغير المناخي وحصاد مياه الأمطار

يؤثر التغير المناخي بشكل كبير في كمية المياه التي من الممكن حصادها والذي يؤثر بدوره بشكل مباشر على السعة التصميمية المناسبة للخزان التجميعي. وتشير بيانات التغير المناخي في الأردن كما وردت في التقرير الوطني الشامل حول تغير المناخ في الأردن أن هنالك زيادة على متوسط درجة الحرارة من ١,٥-٢,٥ درجة مئوية بحلول عام ٢٠٥٠ والذي يؤدي بدوره إلى ارتفاع في معدلات تبخر المياه والجفاف. أما بالنسبة للتغيرات في الهطول المطري فيشير التقرير الوطني إلى أن هنالك تراجع ملموس في هطول الأمطار في المناطق الغربية وأن هذا التراجع في الهطول سيزيد في المناطق الجنوبية والشرقية للأردن بنسب تصل الى ٣٠ % في بعض الحالات.



الشكل رقم (٧): كمية المياه التي من الممكن حصادها من مياه الأمطار في الأردن بحسب المحافظات

الفصل الثالث

رفع الوعي وبناء القدرات المتعلقة بحصاد مياه الأمطار

٣-١ مقدمة

بالرغم من انتشار ممارسة حصاد مياه الأمطار في الأردن، إلا أن هناك شريحة كبيرة من المنازل لا تقوم بتجميع مياه الأمطار واستخدامها وذلك يعود في مجمله إلى أسباب اقتصادية كعدم توفّر القدرة المالية على إنشاء خزان تجميعي، أو إلى أسباب توعوية كعدم توفّر المعرفة بنوعية هذه المياه وأهميتها في تخفيف العبئ المائي. وقد قامت وزارة المياه بتسليط الضوء على تقنيات حصاد مياه الأمطار وأهميتها وذلك من خلال إدارة الإعلام والتوعية المائية. فقد تمت الإشارة إلى أهمية توعية المواطنين بأهمية حصاد مياه الأمطار في الخطة التنفيذية لإدارة الإعلام والتوعية المائية لوزارة المياه والري (٢٠١٨-٢٠١٩) حيث تمت الإشارة في هذه الخطة إلى الرسائل التوعوية المرتبطة بحصاد مياه الأمطار كعدم ربطها على شبكة الصرف الصحي وإعادة استخدامها للأغراض المنزلية.

٣-٢ أشكال التوعية وبناء القدرات المتعلقة بحصاد مياه الأمطار

- المحاضرات العامة : تتضمن عروض تقديمية حول حصاد مياه الأمطار يتم تقديمها من شخص متخصص. تحتوي عادة على معلومات عامة وحقائق ذات علاقة بالموضوع. تستهدف هذه المحاضرات أعداد كبيرة من المهتمين ومن جميع الأعمار والمستويات العلمية.
- الورشات التفاعلية: يتم خلالها استخدام أساليب العصف الذهني أو عمل المجموعات أو الزيارات الميدانية أو غيرها من أساليب التعلم الناشط حيث يتعرف المشارك على معلومات تفصيلية في حصاد مياه الأمطار. يستطيع المشارك من خلال الورشات التفاعلية تصميم خزان تجميعي لحصاد مياه الأمطار اعتماداً على مساحة سطح التجميع ومعدل التساقط المطري كما يتمكن من الاطلاع على خزانات التجميع وأشكالها من خلال الزيارات الميدانية. عادة لا يزيد عدد المشاركين في مثل هذه الورشات عن ٢٠-٢٥ مشارك.
- الرسائل التوعوية العامة: حيث تشمل نشر رسائل توعوية ذات علاقة بحصاد مياه الأمطار في الوسائل الإعلامية المقروءة والمرئية والمسموعة. كما يتضمن إعداد النشرات التوعوية والكتيبات الإرشادية.

نموذج من ورشة عمل تفاعلية حول حصاد مياه الأمطار

العنوان: تدريب حول حصاد مياه الأمطار.

الأهداف: سيتمكن المشاركون من التعرف على تقنيات حصاد مياه الأمطار ودورها في إدارة الطلب على المياه وطرق الاستفادة منها وبشكل فعال.

الأهداف التدريبية:

١. تعريف حصاد مياه الأمطار والتعرف على تقنياته.

٢. التعرف على طرق تصميم خزانات حصاد مياه الأمطار اعتماداً على مساحة السطح ومعدل التساقط المطري.

٣. تحديد نوعية مياه الأمطار وكميتها ومناقشة مدى مطابقتها للمواصفات المعتمدة.

٤. مناقشة الاعتبارات الصحية لحصاد مياه الأمطار.

٥.التعرف على التجارب السابقة في هذا المجال : دراسات حالة.

الهدف	النشاطات التعليمية	أوراق/عروض للتسليم	وسائل التقييم	المدة الزمنية
1	-يقوم المدرب بتقسيم المشاركين إلى 4-5 مجموعات بمعدل 5 أشخاص في كل مجموعة بحيث تقوم كل مجموعة بعرض تعريفهم للحصاد المائي والتقنيات المتوفرة من وجهة نظرهم ثم يقوم المدرب بالخروج بتعريف واحد شامل يجمع بينهم.	/	المناقشة والتفاعل	30 دقيقة
2	-يقوم المدرب بعرض المعادلات ذات العلاقة على شاشة العرض (عرض تقيدمي PowerPoint). -توزيع تمارين ليقوم كل شخصين متجاورين بالتعاون في حلها .	-المعادلات الرياضية ذات العلاقة / عروض تقديمية. -التمارين الرياضية.	حل التمارين ومناقشة الإجابات مع المدرب	45 دقيقة
3	-يقوم المدرب بتقسيم المشاركين إلى 4-5 مجموعات بمعدل 5 مشاركين في كل مجموعة. -يقوم المدرب بتسليم كل مجموعة المواصفة الأردنية لمياه الشرب إضافة إلى نتائج تحاليل لمياه آبار الحصاد المائي المجمعة من أسطح المنازل. - تقوم كل مجموعة في مناقشة النوعية بناء على المواصفة الأردنية. - يقوم المشاركين بمناقشة طرق تحسين نوعية المياه.	-المواصفة الأردنية. -نوعية مياه الحصاد المائي المجمعة في آبار متنوعة في الأردن.	المناقشة والتفاعل	45 دقيقة
4	-يقوم المدرب بعرض عدة أشكال لآبار حصاد مياه أمطار بمواضع مختلفة ثم يطلب من المشاركين تحديد الخلل.	/	المناقشة والتفاعل	15 دقيقة
5	-زيارة ميدانية.	/	المشاركة والمناقشة أثناء الزيارة	يوم كامل

٣-٣التدريبات وبناء القدرات ضمن مشروع «تعزيز سبل تكيّف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة» ٢٠١٧-٢٠١٨

قام برنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) و الجمعية العلمية الملكية وضمن مشروع «تعزيز سبل تكيّف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة» والممول من صندوق أوبك للتنمية الدولية (أوفيد) بتنفيذ ما يزيد عن ٣٨ لقاء وورشة عمل تفاعلية استهدفت طلاب المدارس ومؤسسات المجتمع المدني وغيرهم لبناء قدراتهم وتوعيتهم في قضايا الحصاد المائي. وقد تعرّف المشاركون على معظم المواضيع المتعلقة بحصاد مياه الأمطار كما تخلل التدريب زيارات ميدانية للمشاريع التي تم تنفيذها (الشكل رقم ٨).

الشكل رقم (٨): جانب من الدورات التدريبية واللقاءات التوعوية التي تمت ضمن مشروع «تعزيز سبل تكيّف المجتمعات المستضيفة في الأردن من خلال تشجيع حلول المياه المستدامة»

الفصل الرابع

نوعية مياه حصاد الأمطار المنزلية وأنواع الخزانات المستخدمة

٤-١ تقديم

يُعّد موضوع نوعية مياه حصاد الأمطار من أهم المواضيع المتعلقة بالحصاد المائي. إذ أن الهدف النهائي لعملية الحصاد المائي هي استهلاك المياه ؛ فمتى كانت المياه المُجمعة مطابقة للمواصفة المتعلقة بالاستعمال تحققت الفائدة المرجوة وإلا سيكون الحصاد المائي عبئاً اقتصادياً من دون جدوى. وقد تفاوتت نتائج الدراسات العالمية المتعلقة بنوعية مياه حصاد الأمطار بشكل كبير؛ حيث خَلُصَت جميع هذه الدراسات إلى أن نوعية المياه المجمعة في آبار الحصاد المائي تعتمد بشكل أساسي على العوامل الخمسة التالية:

١. نوعية الهواء المحيط.
٢. نوع المسقط المائي (Catchment area) ومدى نظافته.
٣. طول المسافة بين المسقط المائي وخزان التجميع.
٤. نوعية الأنابيب الناقلة.
٥. نوع خزان التجميع.

وقد أبرزت مجموعة من الدراسات العلمية العالمية هذه العوامل بشكل مباشر وغير مباشر على نوعية المياه المجمعة كما في دراسة (لي وأخرون، ٢٠١٢) [1] والتي قارنت بين مجموعة من أنواع المساقط المائية (الأسطح المبلطة , والأسطح الإسمنتية والأسطح الخشبية والأسطح الحديدية المجلفنة) وأثرها على نوعية المياه المجمعة والتي أظهرت أن الأسطح المعدنية المجلفنة هي أفضل الأسطح من حيث نوعية المياه المُجمعة تليها الأسطح المبلطة ثم الإسمنية وذلك لعدم وجود تجاويف وأخاديد في الأسطح المعدنية التي من شأنها منع تراكم الرواسب والمخلفات العضوية وبالتالي سهولة جريانها مع أول دفقة مياه.

وفيما يتعلق بنظافة المسقط المائي، فقد أظهرت دراسة (عباسي وأخرون، ٢٠١١) [2] أن العنصر الأساسي الذي يتحكم بنوعية المياه المجمعة هو نظافة سطح المسقط المائي من المخلفات العضوية والرواسب المتراكمة أثناء فترة الجفاف. وقد وجد مجموعة من الباحثين علاقة معيارية بين الارتفاع في تركيز النتتروجين الكلي (TN) والفسفور الكلي (TP) في المياه المُجمعة مع عدد أيام الجفاف التي تسبق الهطول المطري على المسقط المائي مما يستدعي زيادة عدد الدفقات الأولية التي تسبق عمليه التجميع (first flush) وذلك لإزالة الرواسب والعوالق المتراكمة كما في أبحاث (كويك وفورستر، ١٩٩٣)[3] و (توماس وغرين ,١٩٩٣).[4]

وعلى صعيد آخر، فقد أظهرت دراسة (تشانغ وآخرون، ٢٠٠٤) [5] أن نوعية مياه الأمطار المجمعة من المناطق الصناعية وذات الحركة المرورية الكبيرة تكون ذات تركيز عالي من العناصر الثقيلة كالرصاص (Pb) والكاديميوم (Cd) و النحاس (Cu) والزنك (Zn) و التي تكون أصلاً موجودة في الهواء. إلا أن (غونزي وأخرون، ٢٠١٥) [6] قد ربط هذا النوع من التلوث في المناطق المدنية فقط، أما المناطق الريفية فإن الأخطار المرتبطة بتلوث المياه المجمعة بالعناصر الثقيلة نتيجة لتلوث الهواء محدودة جداً.

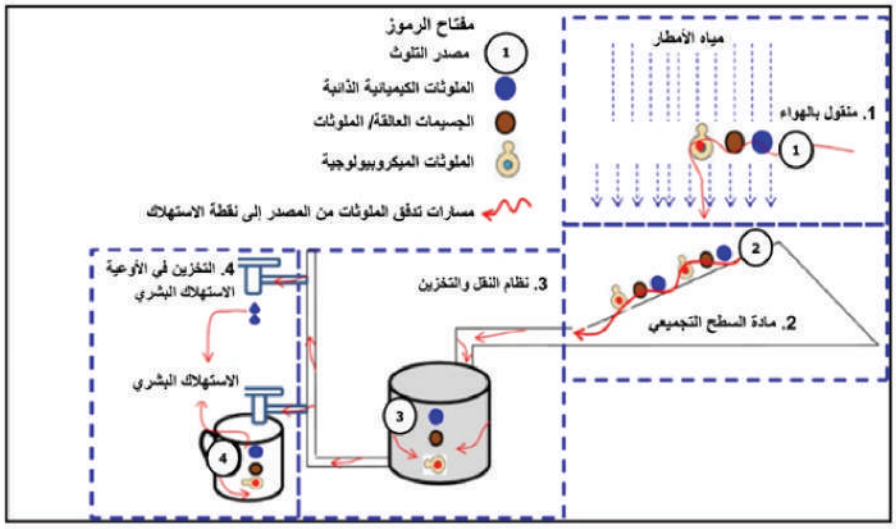
1: Lee et al. (2012)
2: Abbasi et al. (2011)
3: Quek and Forster (1993)
4: Thomas and Greene (1993)
5: Chang et al. (2004)
6: Gwenzi et al. (2015)

أما فيما يتعلق بشبكة التجميع ونقل المياه إلى خزان التجميع، فقد قام (فوستر وأخرون، ١٩٩٩) [1] و (لي وأخرون، ٢٠١٠) [2] بدراسة تأثير استخدام أنابيب معدنية مجلفنة وتبين وجود ارتفاع واضح في تركيز الخارصين (Zn) والألمنيوم (Al) و الحديد (Fe) في المياه المُجمعة في الخزانات التجميعية، كما أظهرت دراسة (سايمون وأخرون، ٢٠٠١) [3] ارتفاع تركيز النحاس في المياه المُجمعة عند استخدام أنابيب نقل نحاسية.

وعلى الجانب المايكروبيولوجي، فقد أظهرت معظم الدراسات العلمية عدم وجود بكتيريا السالمونيلا Salmonella والبزيدوموناس Pseudomonas و الليجونيلا Legionella و كريبتوسبوريديوم Cryptosporidium spp في مياه حصاد مياه الأمطار المجمعة. إلا أن بعض الدراسات أظهرت وجود بعض التراكيز القليلة من بكتيريا الكوليفورم الكلي والبكتيريا القولونية E.coli كما في دراسات كل من: ألبريشتسن (٢٠٠٢) [4] ؛ وارد وآخرون، (٢٠١٠) والسيد وآخرون، (٢٠١٣) [6] حيث أشارت نفس هذه الدراسات إلى أن السبب الرئيسي لتلوث مياه الحصاد المائي بالبكتيريا القولونية هو:

- وجود فضلات للحيوانات أو الطيور على سطح المستجمع المائي مما يتطلب تنظيفه جيداً قبل تجميع المياه.
- وجود حيوانات بالقرب من خزان التجميع أو المسقط المائي.
- عدم إغلاق خزان التجميع بشكل مناسب وبالتالي تعرضه للتلوث من المحيط الخارجي.
- رفع الماء يدوياً من البئر من دون استخدام مضخة مما يعرض المياه إلى التلوث.
- وجود البئر بالقرب من حفر تجميع المياه العادمة والتي قد تؤدي إلى اختلاط المياه العادمة بالمياه المُجمعة خاصة إذا كان بئر التجميع بمستوى منخفض عن حفرة المياه العادمة.

الشكل (٩) أدناه يظهر جميع مكونات نظام الحصاد المائي ونقاط التلوث المحتملة في كل جزء.



الشكل (٩): شكل تخطيطي يوضح أجزاء نظام الحصاد المائي الرئيسية (المسقط المائي , خطوط النقل وخزان التجميع) إضافة إلى الطرق التي قد تنتقل فيها الملوثات إلى المياه المجمعة. Source: Gwenzi et al. (٢٠١٥)

1: Forster (1999)
2: Lee et al. (2010)
3: Simmons et al. (2001)
4: Albrechtsen (2002)
5: Ward et al. (2010)
6: Assayed et al. (2013)

وقد قام (وارد وأخرون، ٢٠١٠)[1] بدراسة شاملة استمرت ٨ أشهر متواصلة لمعظم العناصر والمركبات الكيميائية والأحياء الدقيقة في مياه الأمطار المُجمعة من سطح مبنى جامعي في بريطانيا مساحته ١٥٠٠ م٢ ويجمع المياه في خزان تجميعي سعته ٢٥ م٣ ؛ حيث أظهرت الدراسة عدم وجود تلوث كيميائي ولا بيولوجي في المياه المجمعة باستثناء تأثير أنابيب النقل المعدنية على تركيز بعض العناصر الثقيلة حيث ارتفع تركيز الزنك والألمنيوم في بعض العينات وقد عزى الباحث ذلك إلى طلاء الأنابيب الناقلة. ملخص لنتائج هذه الدراسة تظهر في الجدول أدناه.

الجدول رقم (٤): ملخص نتائج دراسة (وارد وأخرون، ٢٠١٠) حول نوعية مياه حصاد مياه الأمطار المجمعة

الصنف	العنصر	معدل التركيز/القيمة
الملوثات الميكروبيولوجية	الكلوفورم الكلي (no/100ml)	2600-0
	البكتيريا القولونية (no/100ml)	1500-0
العناصر والمركبات غير العضوية	درجة الحموضة	10.4-7.6
	الايصالية الكهربائية EC (µS/cm)	261-43.5
	مجموع المواد الصلبة الذائبة TDS (ملغم/لتر)	183-30.4
	العكورة NTU	2.8-0.3
	النيتروجين الكلي (ملغم/لتر)	17.7-1.35
	النيترات NO_3 (ملغم/لتر)	17.7-1.32
	الأمونيوم NH_4 (ملغم/لتر)	0.59 – 0.01<
	الكلوريد (ملغم /لتر)	28-3
	السيليكا SiO_2 (ملغم /لتر)	4-0.35
	السلفات SO_4^{-2} (ملغم/لتر)	5.3-2.5<
	الكالسيوم (ملغم/لتر)	10-5.7
	المغنيسيوم (ملغم/لتر)	0.58-0.36
	الصوديوم (ملغم/لتر)	4.3-2.8
	الألمنيوم (ميكروغم/لتر)	108-80.2
	الحديد (ميكروغم/لتر)	27.4-9
	النحاس (ميكروغم/لتر)	290-218
	الزنك (ميكروغم/لتر)	480-193
	الرصاص (ميكروغم/لتر)	64.4-25.5
	الكادميوم (ميكروغم/لتر)	0.4<
	النيكل (ميكروغم/لتر)	1.68-1.5<
المركبات العضوية	الزيون والدهون (ملغم/لتر)	1<
	بنزو [a] بيرين (ميكروغم/لتر)	1<
	بنزو [b] فلورانثين (ميكروغم/لتر)	0.001<
	بنزو [ghi] بيريلين (ميكروغم/لتر)	0.002<
	بنزو [k] فلورانثين (ميكروغم/لتر)	0.001<
	الدينو [1 2 3-cd] بيرين (ميكروغم/لتر)	0.003<
	الهيدروكربونات العضوية متعددة الحلقات (ميكروغم/لتر)	0

1:Ward et al. (2010)

٤-٢ استخدام حصاد مياه الأمطار لأغراض الشرب: المعالجة وتحسين نوعية المياه:

يمكن لمياه حصاد مياه الأمطار أن تُستخدم لأغراض الشرب في حال تم الأخذ بعين الاعتبار جميع نقاط التلوث آنفة الذكر و التأكد مخبرياً من مطابقتها لمواصفة مياه الشرب. ففي الأردن مثلاً، لا بد للمياه المُجمعة أن تطابق مواصفة مياه الشرب المُعتمدة من مؤسسة المواصفات والمقاييس الأردنية رقم (٢٠١٥/٢٨٦) – انظر ملحق رقم ١. وقد أبرزت كثير من المراجع العلمية طرق منوعة لتحسين نوعية مياه الحصاد المائي بحسب الاستخدام النهائي منها:

١. الكلورة : وهي طريقة معروفة ورخيصة لمعالجة المياه وقتل الكائنات الحية الممرضة فيه إلا أنها تحتاج إلى انتباه عند وجود تركيز مواد عضوية مرتفع في المياه حيث يؤدي ذلك إلى تشكل مركبات عضوية مسرطنة.

٢. الفلترة وتكون إما باستخدام الفلاتر الرملية أو بتمرير المياه من خلال أغشية بمسامات ضيقة.

٣. استخدام الأشعة فوق البنفسجية لتعقيم المياه، وهي طريقة شائعة أيضاً إلا أنها مكلفة نسبياً كونها مستهلك كبير للطاقة كما أنها ضعيفة الفعالية عند وجود تركيز عالي من المواد الصلبة العالقة (<٣٠ ملغم /لتر).

٤. تنظيف الأسطح أو المُستجمعات المائية قبل تجميع المياه.

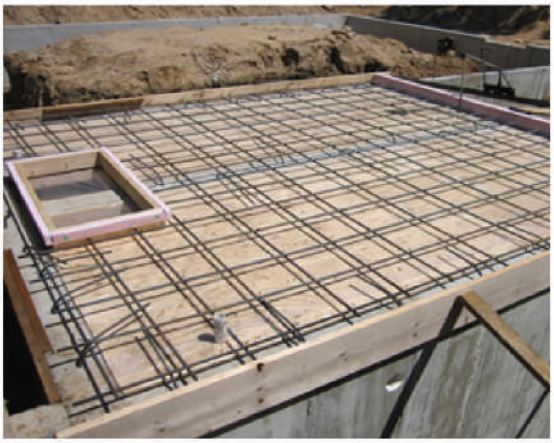
٥. السماح للمياه بالتدفق خارج خزان التجميع عند أول هطول مطري ويفضل الزيادة لأكثر من تدفق واحد خارج خزان التجميع. علماً أنه يوجد قطع تجارية متوفرة بالأسواق يمكن تركيبها على خطوط النقل (المزاريب) بحيث تحول تلقائياً الدفقة الأولى خارج الخزان ثم تنقلها إلى داخله.

٦. الحرص على إنشاء خزان التجميع في مناطق بعيدة عن وجود الحيوانات أو حفر تجميع المياه العادمة.

٤-٣ أنواع الخزانات التجميعية في الأردن

كما هو معلوم فإن الحصاد المائي المنزلي يُعتبر من الأمور التقليدية الشائعة في الأردن، فالقوانين والكودات الحالية أتت لتؤكد وتعزز هذه الممارسة الشعبية في تقليل الفجوة بين تزويد المياه والطلب المتزايد عليها. وقد شاع في الأردن نوعين أساسين لتجميع مياه الأمطار وهما: البئر ذو التوسع المتدرج (أو ما يسمى محلياً بئر إنجاصة) (شكل ١٠) والخزانات الإسمنتية المسلحة (شكل ١١). وفي بعض الأماكن يتم استخدام خزانات بلاستيكية (شكل ١٢). الجدول رقم (٥) يظهر مقارنة بين هذه الأنواع الثلاثة.

الشكل رقم (١٠): بئر الإنجاصة من الداخل



الشكل رقم (١١): الخزانات الإسمنتية المسلحة

الشكل رقم (١٢): الخزانات البلاستيكية لتجميع مياه الأمطار

الجدول رقم (0): مقارنة بين الأنواع المختلفة لخزانات تجميع مياه الأمطار الشائعة في الأردن

البند	خزانات أسمنتية مسلحة	آبار انجاصة	خزانات بلاستيكية
السعة التخزينية	هو خزان اسمنتي يتم استخدام الحديد والإسمنت لتنفيذه. وتُبنى هذه الخزانات إما تحت أو فوق الأرض وقد يكون جزء منها تحت الأرض والجزء الآخر ظاهر فوق الأرض. ويتم تحديد سعته بحسب كمية الامطار المتوقعة ومساحة سطح المنزل	يتم إنشاء هذا النوع من الآبار في الأراضي الصخرية بحيث يأخذ البئر شكل ثمرة الإجاص. يتم حفر الخزان بعمل حفرة مساحتها 1 م^2 بعمق 1 م ثم يتم توسيعها لتصبح مساحتها 2 م^2 بعمق 1م وهكذا حتى يتم الوصول للحجم المطلوب ويتم تهذيب الجوانب حتى يتخذ البئر شكل الإجاصة. ويتم تحديد سعته بحسب كمية الامطار المتوقعة ومساحة سطح المنزل	خزانات بولي ايثيلين , والتي تبدأ سعتها من 500 لتر وحتى 20000لتر
التكلفة	اعلى تكلفة من الانجاصة والبلاستيكية	اقل تكلفة من الاسمنتي	أقل تكلفة من الانجاصة والاسمنتي
الصيانة والتشغيل	-يجب متابعة فحص الخزانات كل 2-3 سنوات من ناحية الرواسب، وفي حال وجود جزء من الرواسب في المياه المتدفقة من الخزان وتغييرها لخواص المياه من ناحية الرائحة والطعم - من الممكن ظهور التشققات في جدران الخزان مع الوقت لكن من الممكن صيانتها في الخزان الاسمنتي	-يجب متابعة فحص الخزانات كل 2-3 سنوات من ناحية الرواسب، وفي حال وجود جزء من الرواسب في المياه المتدفقة من الخزان وتغييرها لخواص المياه من ناحية الرائحة والطعم. - من الممكن ظهور التشققات في جدران الخزان مع الوقت.	- الخزان غير قابل للرشح من القاع أو الجوانب كما أن فتحة الخزان محكمة جدا لا تسمح بدخول الأتربة وخلافه داخل الخزان , ولا تسمح بدخول أشعة الشمس ايضا مما يمنع إمكانية تكوين طحالب داخل الخزان والخزان مزود بفتحة سفلية لاغراض الصيانة والتنظيف. - الخزانات مكونة من ثلاث طبقات : الطبقة الداخلية بيضاء والطبقة الوسطى سوداء اللون وذلك بإضافة مادة الكربون الأسود بنسبة 2% حيث تقوم هذه المادة بامتصاص الأشعة فوق بنفسجية ذات التردد العالي والتي يمكن أن تؤثر على مادة الخزان، والطبقة الخارجية بيضاء لعكس أكبر كم من أشعة الشمس ويتم تصميم الخزانات على أن تكون مدعمة بحلقات جانبية مما يقلل من ضغط الماء على جوانب الخزان وبالتالي زيادة العمر الافتراضي له.
العمر الافتراضي	يقدر ب 10 سنوات تقريباً وذلك يعود على مواصفات الانشاء والظروف المحيطة	يقدر ب 10 سنوات تقريباً وذلك يعود على مواصفات الانشاء والظروف المحيطة	يقدر العمر الافتراضي للخزان ب3-4 سنوات وذلك حسب الظروف المحيطة بالخزان من عوامل جوية وغيرها.
نوعية المياه	-من الممكن ظهور مادة الجير في الخزانات الاسمنتية الجديدة مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحموضة، مما يعطي المياه مذاقا مراً غير مستساغ للبشر. -بالاضافة الى امكانية ارتفاع مجموع المواد الصلبة الذائبة في الماء في هذا النوع من الخزانات.	- من الممكن ظهور مادة الجير في خزانات الانجاصة الجديدة مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحموضة، مما يعطي المياه مذاقا مراً غير مستساغ للبشر. -بالاضافة الى امكانية ارتفاع مجموع المواد الصلبة الذائبة في الماء في هذا النوع من الخزانات. -في حال حدوث تشققات ومن غير الممكن صيانتها كما ذكرنا سابقا في جدران الخزان فمن الممكن تعرض المياه الى ملوثات من خلال التربة المحيطة بالخزان.	من المهم التأكد من نوعية البلاستيك المستخدم في تصنيع الخزانات ومدى صلاحيته لتخزين مياه الشرب فيه. -يجب التأكد من عدم نفاذية جدران الخزان للضوء وذلك لمنع نمو الطحالب داخله.

الفصل الخامس

الجدوى الاقتصادية لمشاريع حصاد مياه الآبار المنزلية

١-٥ تعريف الجدوى الاقتصادية البيئية أو تحليل المنافع والكلف (Economic Feasibility or Cost-Benefit Analysis)

الجدوى الاقتصادية للمشاريع هو مصطلح اقتصادي يُقصد به الأرباح التي يمكن أن تُجنى من تنفيذ مشروع معين وتعتمد بشكل رئيسي على سرعة استرداد رأس المال (Payback period) والكلف الرأسمالية والتشغيلية. وهي عملية حسابية رقمية تعتمد بشكل أساسي على الكلف والفوائد المباشرة (direct cost & direct benefits). إلا أن المشاريع البيئية لا يمكن النظر إليها من منظور الفوائد والكلف المباشرة فقط, فهناك منافع وكلف غير مباشرة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أو ما يسمى بعلم الاقتصاد البيئي بـ Externalities. فمثلاً تُعتبر الرائحة الكريهة التي قد تنبعث من محطات معالجة المياه العادمة كلفة غير مباشرة وبالمقابل يُعتبر الاستقرار الاجتماعي و الأسري نتيجة وجود المياه وعدم انقطاعها فائدة غير مباشرة. وقد عكف كثير من الباحثين الاقتصاديين المهتمين بالشأن البيئي إلى محاولة ترجمة الفوائد والكلف غير المباشرة إلى قيمة مالية بحيث يمكن إدخالها في حسابات الجدوى الاقتصادية وبحسب الصيغ التالية:

يوجد العديد من الدراسات العالمية التي درست الجدوى الاقتصادية لمشاريع حصاد مياه الأمطار حيث اعتمدت معظم هذه الدراسات على حسابات الكلفة والفوائد من آبار الحصاد المائي بشكل مباشر (نيتو وآخرون ، ٢٠١٢)[1]

,(وارد وآخرون، ٢٠١٢)[2] و (لوبت وآخرون ٢٠١٤)[3] وقد تفاوتت نتائج هذه الدراسات بشكل كبير اعتماداً على الفرضيات التي بُنيَت عليها كل دراسة. فقد أظهرت نتائج أبحاث زانج وآخرون (٢٠٠٩)[4] ورحمن وآخرون (٢٠١٠)[5] أن حصاد مياه الأمطار في أستراليا من المباني التجارية الكبيرة والعمارات السكانية ذات الطوابق المتعددة مجدي اقتصادياً أكثر من حصاد مياه الأمطار على مستوى المنزل حيث أن زمن استرجاع المبلغ المدفوع (Payback period) في الحالة الأولى تراوح بين ١٥-٢١ سنة بينما في حالة حصاد مياه الأمطار على مستوى المنزل كان ٣٢-٤٣ سنة (دومينيك وساوري،٢٠١١)[6]. بالمقابل وجد جيسي وسشوندیمارك (٢٠١٣)[7] أن حصاد مياه الأمطار على مستوى المنزل مجدي اقتصادياً حيث كان زمن استرجاع الكلفة ١٠-١,٥ سنوات إلا أن البحث افترض أن مياه الأمطار هي المصدر الوحيد والمتوفر للاستخدام في جميع النماذج التي اعتمد عليها.

الكلفة الإجمالية: الكلفة المباشرة + الكلفة غير المباشرة (المخفية)	(١)
الفوائد الإجمالية: الفائدة المباشرة + الفائدة غير المباشرة (المخفية)	(٢)
الجدوى الاقتصادية السنوية = الفوائد الإجمالية – الكلفة الإجمالية	(٢) – (١)
زمن استرداد رأس المال = الكلفة الإجمالية /الفوائد الإجمالية	(١) / (٢)

1: Neto et al. (2012)
2: Ward et al. (2012)
3: Loubet et al. (2014)
4: Zhang et al. (2009)
5: Rahman et al. (2010)
6: Domenech et al. (2011)
7: Ghisi and Schondermark (2013)

وعليه , فإنه من غير الممكن إعطاء حكم واحد يناسب جميع الحالات فيما يتعلق بالجدوى الاقتصادية لمشاريع حصاد مياه الأمطار فهي تعتمد وبشكل كبير على:

١. معدل التساقط المطري.
٢. مساحة المسقط المائي.
٣. حجم خزان التجميع.
٤. كلفة المواد الأولية.
٥. نوع خزان التجميع.
٦. عدد أفراد الأسرة ومعدل استهلاك المياه.
٧. سعر المياه المزودة في الجهة الحكومية أو من صهاريج المياه الخاصة.
٨. كلفة ضخ المياه في حال استخدام مضخات كهربائية.

٢-٥ الفوائد غير المباشرة لحصاد مياه الأمطار

أشارت معظم الدراسات السابقة أن إغفال الفوائد غير المباشرة لآبار حصاد مياه الأمطار يجعلها غير مجدية اقتصادياً، فقد أشار بحث ديفاكوتا وآخرون (٢٠١٥) [1] أن جميع النماذج والسيناريوهات ذات العلاقة بآبار حصاد مياه الأمطار المنزلية سواء على مستوى المنزل أو على مستوى مجموعة منازل أو عمارات سكنية كبيرة هو غير مجدي اقتصادياً بل أن زمن استرداد الكلفة يتجاوز في معظمها العمر التشغيلي للبئر؛ إلا إذا تم اعتبار فائدة واحدة أو أكثر من الفوائد غير المباشرة. فبحسب ديفاكوتا وآخرون (٢٠١٥) فإن اعتبار فائدة آبار حصاد مياه الأمطار في تقليل انبعاثات الكربون مقارنة في مياه الشبكة ضمن مفهوم دورة الحياة Life Cycle Assessment and Life Cycle Costing يجعل الآبار مجدية وبشكل كبير.

وبالمجمل يمكن إجمال الفوائد غير المباشرة لآبار الحصاد المائي بالتالي:

١. التقليل من كمية المياه الجارية في شبكة الصرف الصحي وبالتالي إطالة عمر الشبكات وتجنب الفيضانات.
٢. تقليل الأمراض الناجمة عن شح المياه والحصول على حالة صحية أفضل في المجتمع.
٣. تقليل المشكلات الاجتماعية والتنازع بين أفراد العائلة الواحدة وبين العائلات المتجاورة.
٤. زيادة سعر العقار عند وجود بئر حصاد مياه أمطار.
٥. زيادة الإنتاج الزراعي والمساحات الخضراء في حال تم استخدام المياه المُجمعة لأغراض الري وبالتالي التخلص من تراكيز ثاني أوكسيد الكربون وتحسين المنظر الجمالي.
٦. تقليل الضخ الجائر من الآبار الجوفية والحفاظ على الموارد الطبيعية.

1:Devakota et al. (2015)

٥-٣ الجدوى الاقتصادية لمشاريع حصاد مياه الأمطار في الأردن

لا يوجد أي دراسة تفصيلية تظهر تحليل الفوائد والكلف لآبار الحصاد المائي في الأردن باعتبار الفوائد والكلف غير المباشرة. وقد أظهرت دراسة السيد وآخرون (٢٠١٣) والتي أجريت على مجموعة من الأسر التي تمتلك آبار حصاد مياه أمطار في محافظة جرش أنها استطاعت أن توفر ٥٠-٢٤٠ دينار أردني سنوياً نتيجة حصاد مياه الأمطار وذلك بسبب التخلي عن الحاجة إلى شراء صهاريج المياه الخاصة. كما أظهرت نفس الدراسة أن ما يزيد عن ٨٠% من الأسر أصبحت تشعر بالأمن المائي وعدم الخوف من انقطاعها. إلا أن هذه الدراسة لم تربط الفوائد بالكلف كما أنها لم تحول الفوائد غير الملموسة إلى قيم مادية يمكن من خلالها تحليل الكلفة والمنفعة بشكل كامل.

وبعيداً عن الجدل حول الجدوى الاقتصادية لحصاد مياه الأمطار، فإن حصاد مياه الأمطار في الأردن على جميع المستويات له قبول مجتمعي واسع. حيث أظهرت مشاريع حصاد مياه الأمطار التي نفذها برنامج الأمم المتحدة الإنمائي والمنظمات الأوروبية والأمريكية الإنمائية أن أكثر من ٣٠٠٠ بئر حصاد مياه أمطار تم تمويله من خلال قروض دوارة في المجتمعات المحلية في الأردن والذي يعكس الفوائد الكبيرة لهذه الآبار على حياة العائلات الأردنية ومدى الرغبة الشديدة لاقتناء آبار حصاد مياه أمطار في المنازل.

المراجع

مراجع القسم الأول: معالجة المياه الرمادية وإعادة استخدامها

١. الاستراتيجية الوطنية للمياه في الأردن ٢٠١٦ - ٢٠٢٥ , وزارة المياه والري.

٢. المواصفة الأردنيةالمياه الرمادية المستصلحة في التجمعات الريفية- رقم (٢٠٠٨/١٧٧٦)، مؤسسة المواصفات والمقاييس الأردنية.

٣. المواصفة الأردنية/ المياه الرمادية المُستصلحة- رقم (٢٠١٣/١٧٧٦)، مؤسسة المواصفات والمقاييس الأردنية، ٢٠٠٧

٤. دائرة الإحصاءات العامة، تقرير تعداد السكان والمساكن (٢٠١٥)، http://dosweb.dos.gov.jo

٥. الدليل الإرشادي لإدارة المياه الرمادية على مستوى المنزل في التجمعات السكانية الصغيرة في البادية الشمالية الشرقية/الأردن، منشورات الجمعية العلمية الملكية (٢٠٠٧).

6. Jamrah A., Ayyash S. (2008). 'Greywater generation and characterization in major cities in Jordan', Jordan Journal of Civil Engineering, (2), No.4.

7. Assayed A., Chenoweth J. and Pedley S. (2014). "Drawer Compacted Sand Filter: "a new and innovative method for on-site greywater treatment". Environmental Technology, Vol. 35 (19) pp. 2435-3446.

8. Assayed A., Chenoweth J. and Pedley S. (2014). "Assessing the efficiency of greywater treatment and reuse at household level by using a Drawer Compacted Sand Filter and its suitability for urban and peri-urban agriculture- a case study in Jordan. Urban Water Journal, Ecological Engineering Journal, Vol. 81 pp. 525-533.

9. Halalsheh M., Dalahmeh S., Sayed M., Suleiman W., Shareef M., Mansour M. and Safi, M. (2008) 'Grey water characteristics and treatment options for rural areas in Jordan', Bioresource Technology, (99) pp. 6635–6641.

10. INWRDAM (2007). Studies of IDRC Supported Research on Greywater in Jordan conducted by INWARDAM. Published by INWRDAM Amman, Jordan available at: http://inwrdam.org.jo/sitesdefault/files/INWRDAM%20booklet%20on%20greywater%20research%20outcomes%202008-English%20Version.pdf

11. Queensland, G. (2002), Guidelines for the use and disposal of greywater in unsewered areas, N.R.a.M. Queensland Government, ed, pp. 10.

مراجع القسم الثاني: حصاد مياه الأمطار وتجميعها

1. Abbasi, T., Abbasi, S.A., 2011. Sources of pollution in rooftop rainwater harvesting systems and their control. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 41 (23), 2097–2167. http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2010.497438.

2. AlAyyash, S., Al-Adamat, R., Al-Amoush, H., Al-Meshan, O., Rawjefih, Z., Shdeifat, A., Al-Harahsheh, A., Al-Farajat, M. (2012) Runoff Estimation for Suggested Water Harvesting Sites in the Northern Jordanian Badia. Journal of Water Resource and Protection. 4, 127-132.

3. Albrechtsen, H.J., 2002. Microbiological investigations of rainwater and graywater collected for toilet flushing. Water Sci. Technol. 46, 311e316.

4. Al-Houri Z., Abu-Hadba O., Hamdan K. (2014) The Potential of Roof Top Rain Water Harvesting as a Water Resource in Jordan: Featuring Two Application Case Studies. International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering 8 (2) 149-155

5. Assayed, A., Hatokay, Z., Al-Zoubi, R., Azzam, S., Qbailat, M., Al-Ulayyan, A., Bushnaq, S., Maroni, R., et al., 2013. On-site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. Resour. Conserv. Recycling 73, 72–77.

6. Awawdeh M., Al-Shraideh S., Al-Qudah K. and Jaradat R. (2012) Rainwater harvesting assessment for a small size urban area in Jordan. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. 4(12) 415-422

7. Chang, M., McBroom, M.W., Beasley, R.S., 2004. Roofing as a source of nonpoint water pollution. J. Environ. Manage. 73 (4), 307–315. http://dx.doi.org/ 10.1016/j.jenvman.2004.06.014.

8. Devkota, J., Schlachter, H., Apul, D., 2015. Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. J. Clean. Prod. 95, 311e321.

9. Domenech, L., Saurí, D., 2011. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. J. Clean. Prod. 19 (6e7), 598e608

10. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2016) Assessment of the water harvesting sector in Jordan (Final Report). Retrieved from: http://www.fao.org/3/a-i5390e.pdf

11. Forster, J., 1999. Variability of roof runoff quality. Water Sci. Technol. 39, 137e144.Furumai, 2008. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban wateruse. Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C 33 (5), 340e346

12. Ghisi, E., Schondermark, P.N., 2013. Investment feasibility analysis of rainwater use in residences. Water Resour. Manag. 27, 2555-2576.

13. Gwenzi, W., Nothando, D., Pisa, C., Tauro, T., Nyamadzawo, G., 2015. Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: review and perspectives. Sustain. Water Qual. Ecol. 6, 107e118.

14. Lee, J.Y., Bak, G., Han, M., 2012. Quality of roof-harvested rainwater – comparison of different roofing materials. Environ. Pollut. 162, 422–429. http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.005.

15. Lee, J.Y., Yang, J.S., Han, M., Choi, J., 2010. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources. Sci. Total Environ. 408, 896e905.

16. Lee, J.Y., Yang, J.S., Han, M., Choi, J., 2010. Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water asalternative water resources. Sci. Total Environ. 408 (4), 896–905.

17. Loubet, P., Roux, P., Loiseau, E., Bellon-Maurel, V., 2014. Life cycle assessments of urban water systems: a comparative analysis of selected peer-reviewed literature. Water Res. 67, 187-202.

18. Mekdaschi Studer, R. and Liniger, H (2013) Water Harvesting: Guidelines to Good Practice. Centre for Development and Environment (CDE), Bern; Rainwater Harvesting Implementation Network (RAIN), Amsterdam; MetaMeta, Wageningen; the International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome.

19. Neto, R.F.M., de Castro Carvalho, I., Calijuri, M.L., da Fonseca Santiago, A., 2012. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: efficiency and costs. Resources. Conservat. Recycl. 65, 124-129.

20. Quek, U., Forster, J., 1993. Trace metals in roof runoffs. Water Air Soil Pollut. 68 (3–4), 373–389. http://dx.doi.org/10.1007/BF00478464.

21. Rahman, A., Dbais, J., Imteaz, M., 2010. Sustainability of rainwater harvesting systems in multistory residential buildings. Am. J. Eng. Appl. Sci. 3 (1), 889-898.

22. Roof-Reliant Landscaping, Rainwater Harvesting with Cistern Systems in New Mexico, 2009
Simmons, G., Hope, V., Lewis, G., Whitmore, J., Gao, W., 2001. Contamination of potable roof-collected rainwater in Auckland, New Zealand. Water Res. 35, 1518e1524.

23. The International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) (2016) Effective Mechanized Rainwater Harvesting: Coping with climate change implications in the Jordanian Badia. ICARDA Science Impact Success Story. Retrieved from: http://drylandsystems.cgiar.org/outcome-stories/mechanized-rainwater-harvesting-battles-climate-risks-jordanian-dry-areas

24. Thomas, P.R., Greene, G.R., 1993. Rainwater quality from different roof catchments. Water Sci. Technol. 28 (3–5), 291–299. Available from: <http://www. iwaponline.com/wst/02803/wst028030291.htm

25. Ward, S., Memon, F.A., Butler, D., 2010. Harvested rainwater quality: the importance of appropriate design. Water Sci. Technol. 61 (7), 1707e1714

26. Ward, S., Memon, F.A., Butler, D., 2012. Performance of a large building rainwater harvesting system. Water Res. 46, 5127e5134.

27. Zhang, Y., Chen, D., Chen, L., Ashbolt, S., 2009. Potential for rainwater use in high rise buildings in Australian cities. J. Environ. Manage. 91, 222e226.

ملحق رقم (١)
مواصفة مياه الشرب الأردنية رقم (٢٠١٥/٢٨٦)

المواصفة القياسية الأردنية رقم 2015/286

المياه – مياه الشرب

الخصائص الفيزيائية لمياه الشرب

الخاصية	الحد الأقصى المسموح به
اللون	15 وحدة لون حقيقية (TCU)
الطعم [أ]	مقبول
الرائحة	مقبولة
العكارة	5 وحدات عكارة نيفلومترية (NTU)
[أ] يتم إجراء الفحص عند الحاجة فقط.	

المواد والخصائص التي لها تأثير استساغي على مياه الشرب

الخاصية	الرمز	الحد الأقصى
الرقم الهيدروجيني	pH	من 6.5 إلى 8.5
المواد الصلبة الذائبة الكلية [أ]	TDS	1000 ملغ/ل
العسر الكلي [ب]	TH	500 ملغ/ل
مادة الميثيلين الأزرق الفعالة [ج]	MBAS	0.2 ملغ/ل
الأمونيوم [د]	NH_4	0.2 ملغ/ل
الألمنيوم [هـ]	Al	0.1 ملغ/ل
الحديد	Fe	1.0 ملغ/ل
الخارصين	Zn	4.0 ملغ/ل
النحاس	Cu	2.0 ملغ/ل
المنغنيز	Mn	0.4 ملغ/ل
الصوديوم [و]	Na	200 ملغ/ل
الكلورايد	Cl	500 ملغ/ل
الكبريتات	SO_4	500 ملغ/ل

[أ] يسمح بحد أقصى 1300 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.
[ب] يسمح بحد أقصى 600 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.
[ج] مقياس يشير إلى تركيز المنظفات الكيميائية.
[د] يعتبر مؤشر تلوث ويتم التعامل مع الحالة.
[هـ] يسمح بحد أقصى 0.2 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.
[و] يسمح بحد أقصى 300 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.

العناصر والمركبات الكيميائية غير العضوية

العناصر والمركبات الكيميائية غير العضوية	الرمز	الحد الأقصى المسموح به مغ/ل
الزرنيخ	As	0.01
الرصاص	Pb	0.01
السيانيد	CN	0.07
الكادميوم	Cd	0.003
الكروم الكلي	Cr	0.05
الباريوم	Ba	1.0
السيلينيوم	Se	0.04
البورون	B	2.4
الزئبق	Hg	0.006
الفضة	Ag	0.1
النيكل	Ni	0.07
الأنتيمون	Sb	0.02
الفلورايد [أ]	F	1.5
الموليبيديوم [ب]	Mo	0.09
النيتريت	NO_2	3.0
النترات [ج]	NO_3	50

[أ] يسمح بحد أقصى 2.0 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.
[ب] يسمح بحد أقصى 0.27 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.
[ج] يسمح بحد أقصى 70 مغ/ل في حالة عدم وجود مصدر مائي ذو نوعية أفضل وبموافقة وزارة الصحة.

المبيدات العضوية [أ]

المادة الكيميائية [ب]	الرمز	الحد الأقصى ميكروغرام/لتر
اندرين [ج]	Endrin	0.6
لندين [ج]	Lindane	2.0
ألدرين وألدرين الثنائي [ج]	Aldrin and Dieldrin	0.03
ثنائي كلورو ثنائي فينيل ثلاثي كلوروالإيثان [ج]	DDT	1.0
2،4- ثنائي كلور فينوكسي حامض الخليك [د]	2,4-D	30
2،4،5- ثلاثي كلور فينوكسي حامض الخليك [د]	2,4,5-T	9.0

[أ] يتم تقييم هذه المبيدات (وأية مبيدات أخرى يمكن أن تتواجد ضمن نظام التوزيع المائي) وتحديد احتمالية تواجدها وتكرارية الفحوصات المطلوبة.
[ب] عند وجود أي خلل يتطلب الكشف عن التلوث بأي مبيد آخر من مبيدات الآفات تعتمد قائمة المواد المدرجة في إرشادات جودة مياه الشرب الصادرة عن منظمة الصحة العالمية والحد الأقصى والمعايير الخاصة بها.
[ج] مبيدات حشرية.
[د] مبيدات أعشاب.

الملوثات العضوية في مياه الشرب [أ]

المادة الكيميائية [ب]	الرمز	الحد الأقصى ميكروغرام/لتر
بنزين	C_6H_6	10
رباعي كلورو الإيثيلين	C_2HCl_4	40
ثلاثي كلورو الإيثيلين	C_2HCl_3	20
إيثيل البنزين	$C_6H_5(CH_3CH_2)$	300
الزايلين الكلي	$C_6H_4(CH_3)_2$	500
التولوين	$C_6H_5CH_3$	700

[أ] يتم تقييم هذه الملوثات العضوية (وأية ملوثات عضوية أخرى يمكن أن تتواجد ضمن نظام التوزيع المائي) وتحديد احتمالية تواجدها وتكرارية الفحوصات المطلوبة.

[ب] عند وجود أي وضع يتطلب الكشف عن التلوث بأي ملوث عضوي آخر تعتمد قائمة المواد المدرجة في إرشادات جودة مياه الشرب الصادرة عن منظمة الصحة العالمية والحد الأقصى والمعايير الخاصة بها.

نواتج عملية التطهير في مياه الشرب

المادة	الحد الأقصى المسموح به مغ/ل
الميثانات المهلجنة (TTHM) [أ]	0.15
الكلورايت [ب]	0.7

[أ] يتم تقييم هذة الميثانات المهلجنة الكلية سنوياً وبشكل ربعي (كل ثلاثة أشهر) وفي حال تجاوز الحد الأقصى يجب على الجهة التشغيلية أو مزود المياه اتخاذ الإجراءات التصويبية الملائمة لضمان عدم تكرار التجاوز.

[ب] تفحص للمصادر التي تستخدم ثاني أكسيد الكلور في المعالجة.

المواد المشعة في مياه الشرب

المادة المشعة	الحد المرجعي للخواص الإشعاعية [أ]
مشعات ألفا باستثناء الرادون-222	0.5 بيكاريل/لتر
مشعات بيتا باستثناء التريتيوم والكربون 14 والبوتاسيوم 40	1 بيكاريل/لتر

أ) عند تجاوز هذه الحدود، ينبغي المضي في مزيد من التقضي وخلال 3 أشهر لتحديد جميع النظائر المشعة المسببة في مجموع نشاطها لهذا التجاوز، ويجب قياس تركيز النشاط الإشعاعي الصادر عن كل نظير منها وحساب الجرعة الفعّالة الناجمة عن كل نظير، وحساب مقدار الجرعة الفعّالة الكلية والتي يجب أن لا تتجاوز (0.5 مليسيفرت خلال العام).

الخصائص الميكروبيولوجية

1- البكتيريا

يجب أن تخلو العينة المفحوصة (والتي هي عبارة عن 100 مليلتر) مما يلي:

أ) عصيات القولون الكلية عند استخدام طريقة الترشيح أو أي طريقة معتمدة عالمياً، أو أن يكون عدد عصيات القولون الكلية أقل من 1.1 عند استخدام طريقة العدد الأكثر احتمالاً.

ب) عصيات القولون المقاومة للحرارة أو الإيشيريشيا كولاي عند استخدام طريقة الترشيح أو أي طريقة معتمدة عالمياً، أو أن يكون العدد أقل من 1.1 عند استخدام طريقة العدد الأكثر احتمالاً.

2- الميكروبات الممرضة

يجب أن تخلو مياه الشرب من جميع أطوار الطفيليات وجميع أطوار الديدان الممرضة والبكتيريا الممرضة.

3- الكائنات الطليقة الحية (النيماتود)

يجب أن لا يزيد تعداد الكائنات الطليقة الحية (النيماتود) على كائن حي واحد لكل لتر.