International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 37 العدد
Part 1 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

Received	2025/07/14	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2025/08/10	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2025/08/11	تم نشر الورقة العلمية في

دراسة تأثير استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة على خواص الخرسانة كحل مستدام في البناء والتشييد

أ. مسعود احمد البرشني [1]، أ. مارن امحمد اسماعيل المجدم[2]

[2, 1] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة نالوت، ليبيا
E-mail address: m.albarshani@nu.edu.ly

الملخص:

تعتبر الخرسانة من اهم المواد المستخدمة في البناء و أكثر شيوعا فهي ثاني المواد استهلاكا بعد الماء، وبسبب الطلب المتزايد على الموارد المائية الطبيعية جعلت الباحثين ينظرون لجميع المصادر المائية كحل للحد من استخدام المياه الصالحة للشرب في اعمال البناء والتشييد.

يهدف هذا البحث الي استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في صناعة الخرسانة العادية ، حيث تم تصميم خمسة خلطات خرسانيه (خلطة مرجعية بالماء النقي و خلطة مياه صرف صحي معالجة بدون ترقيد ومياه مرقدة لمدة اسبوع و مرقدة لمدة 4 اسابع و مياه مرقدة لمدة 6 اسابيع) واستخدم مياه الصرف الصحي المعالجة كبديل للمياه الصالحة للشرب في صناعة 60 مكعب خرسانة بحجم (150 × 150 × 150 mm)، و تم اجري اختبارات للماء المستخدم في الخلط لغرض تحديد نسبة الاملاح والمواد الصلبة العالقة و نسبة الحموض، و اختبارات الخرسانة الطازجة لتحديد زمن الشك و نسبة الهبوط و اختبارات الخرسانة المتصلبة لتحديد مقاومة الضغط مقاومة الشد.

لوحظ ان مع زيادة نسبة مياه الصرف الصحي يقل زمن الشك الابتدائي مما يزيد سرعة فقدان العجينة الاسمنتية لخاصية اللدونة وتبين ايضا ان زمن الشك النهائي يقل عند زيادة نسبت مياه الصرف الصحي و بالتالي تزيد سرعة تصلب الخرسانة وفي اختبار اللزوجة تبين ان زمن سقوط الكرة في مياه الصرف الصحي المعالجة كان اكبر بمرتين تقريبا بالمقارنة مع سرعة سقوط الكرة في المياه الصالحة لشرب مما يؤكد لزوجتها العالية ، في اختبار الهبوط تبين وجود زيادة في درجة تشغيل الخرسانة كلما زادت مدة ترقيد مياه

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

الصرف الصحي المعالجة، وفي اختبار مقاومة الضغط كانت زيادة المقاومة بنسبة بسيطة كلما زادة مدة ترقيد المياه المعالجة بينما اظهرت نتائج مقاومة الشد بين الخلطة المرجعية و خلطات مياه الصرف الصحي المعالجة كانت متقاربة.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة، مياه الصرف الصحي، محطات معالجة، مقاومة الضغط، خلطة خرسانية، لزوجة الماء.

Evaluation of the effects of Treated Wastewater on concrete Properties as a Sustainable Construction Practice

Massoud Ahmad Albrshny[1] , Maren Amhamed Ismail Almjddem[2]

[1, 2] Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Nalut University, Libya
E-mail address: m.albarshani@nu.edu.ly

Abstract:

Concrete is one of the most widely used construction materials and the second most consumed material after water. Due to the global water crisis, researchers have been driven to explore alternative water sources as a means of reducing the reliance on potable water in construction activities.

This research aims to use treated wastewater in the manufacture of ordinary concrete. Five concrete mixes were designed: a reference mix using potable water and four mixes incorporating treated wastewater with varying sedimentation periods (0 weeks, 1 week, 4 weeks, and 6 weeks). Treated wastewater replaced potable water in the preparation of sixty concrete cubes, each measuring 150 × 150 × 150 mm. Laboratory testing was conducted on the mixing water to quantify its salinity, suspended solids, and pH levels. The fresh concrete was evaluated through setting time and slump tests, whereas the hardened concrete was assessed for its mechanical performance through compressive and tensile strength tests.

The results showed that increasing the proportion of treated wastewater reduced the initial setting time, accelerating the loss of workability. Similarly, the final setting time decreased with higher wastewater content, leading to faster concrete hardening. The

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

viscosity test revealed that the time taken for a steel ball to fall through treated wastewater was approximately twice that in potable water. Slump test results indicated that concrete workability improved with longer sedimentation periods of the treated wastewater. Moreover, compressive strength slightly increased as the sedimentation period increased, while tensile strength results were comparable between the reference mix and treated wastewater mixes.
Key words: Concrete, Sewage Treated Water, Wastewater Treatment Plants, Compressive Strength, Concrete Mix, Viscosity Water.

1 – المقدمة

نظرا للتطور السريع الذي يشهده العالم في مجال البناء، اصبحت الخرسانة احد اكثر مواد البناء استخداما لما تظهره من مقاومة جيدة لظروف الاستخدام المتعددة، فهي تعتبر من اهم العناصر التي تساهم في قوة و استقرار المبني (Aastha Gupta et al 2022). و نظرا للتطور العمراني و ازدياد معدلات الطلب على المياه الصالحة لشرب في الصناعات الخرسانية هذا يدفعنا الى البحث عن البديل لها (Mohamed H, 2020)

.

حيث تم تطوير مفهوم الاستدامة في السنوات الماضية لتشمل صناعة البناء و التشييد و حل القضايا التي تتعلق بالاستهلاك المرتفع للمصادر الطبيعية و التلوث البيئي نتيجة للكميات الكبيرة من المواد الطبيعية المطلوبة لإنتاج

كمية من الخرسانة سنويا وحيث انه لا يعتبر انتاج الخرسانة صناعة صديقة للبيئة بسبب ارتفاع معدل استهلاك الطاقة و انتاج ثاني اكسيد الكربون و الاستخدام العالي للمياه و النفايات الناتجة عن البناء و الهدم فنتيجة لنقص المياه و الزيادة الهائلة في عدد السكان، اصبحت التنمية المستدامة و الانتاج النظيف للخرسانة التي تسبب ضررا للبيئة هدفا مهما للبحث (Mohamed H, 2020).

ان استخدام مياه الصرف الصحي لمعالجة في خلط الخرسانة سينتج حلا مستداما للبناء دون أي تأثير على خصائص الخرسانة الميكانيكية، فقمنا في هذا البحث بإجراء مجموعة من الاختبارات على خرسانة استخدمت فيها مياه الصرف الصحي المعالجة جزئيا من محطات التكرير و التصفية بدل من المياه الصالحة لشرب، و تحديد مدى تأثير المياه المعالجة سلبا كان ام ايجابا على خواص الخرسانة الطازجة و الصلبة(فؤاد فروج 2016).

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

تعتبر مياه الصرف الصحي من المصادر الغير تقليدية التى لا يجب النظر اليها كمشكلة يجب التخلص منها ولكن ورد مائي يجب استغلاله و الاستثمار في مجال معالجتها و اعادة استخدامها لأنها المورد المائي الوحيد الذي يزداد مع الوقت(sachin mane et al, 2019) و(ghafoor, s et al, 2022). بنتائج البحث ان كانت ايجابية يمكن المساهمة في توفير المياه الصالحة للشرب التي تؤدي بالنهاية الى رفع المخزون المائي خصوصا في ليبيا التي تفتقر وبشكل كبير للمياه الصالحة لشرب.

2 – الدراسات السابقة :

(درس محمد حجازي و آخرون 2020) قسم الهندسة المدنية بجامعة البريطانية في مصر تأثير مياه الصرف الصحي المعالجة في اجراء خلط و معالجة مكعبات الخرسانة وأظهرت النتائج التي تم التوصل اليها ان استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة و المختلطة حققت مقاومة للضغط اعلى من المياه العادية حيث سجلت مقاومة الضغط بلغت 41.63 ميجا باسكال اجرى الباحث(فؤاد فروج 2016) دراسة على امكانية استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في صناعة الخرسانة حيث استخدم مياه صرف صحي معالجة من محطات التكرير و التصفية في مدينة سبها حيث اظهرت النتائج ان مقاومة الخرسانة و تشغيليتها لم تتأثر سلبا بالمياه المعالجة بل تحسنت مقاومة الضغط بنسبة بسيطة .

اجرى الباحث(ساشين مامي و اخرون 2019) قسم الهندسة المدنية كلية دي واي باتيل في الهند دراسة تجريبية لتقييم قوة الخرسانة المصنوعة من مياه الصرف الصحي المعالجة حيث تم فحص قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة و المتصلدة و قيست قوة الضغط على الاسطوانات الخرسانية المتصلدة اظهرت نتائج الاختبار ان قوة الضغط القصوى للخرسانة بين خرسانة المصنوعة من الماء العذب و المصنوعة بالماء المعالج لا تتغير كثيرا في عمر 28 يوم.

3– البرنامج العملي :

اعتدت الدراسة المعملية في البداية على اجراء اختبارات المواد الاولية (الركام الناعم و الخشن و الماء) للحصول على خلطة ذات خواص جيدة سواء في الحالة للدنة او المتصلدة .

3.1 – المواد المستخدمة

لتحضير الخلطات استخدمت مواد محلية وفيما يلي يتم التعرف على خواص هذه المواد

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

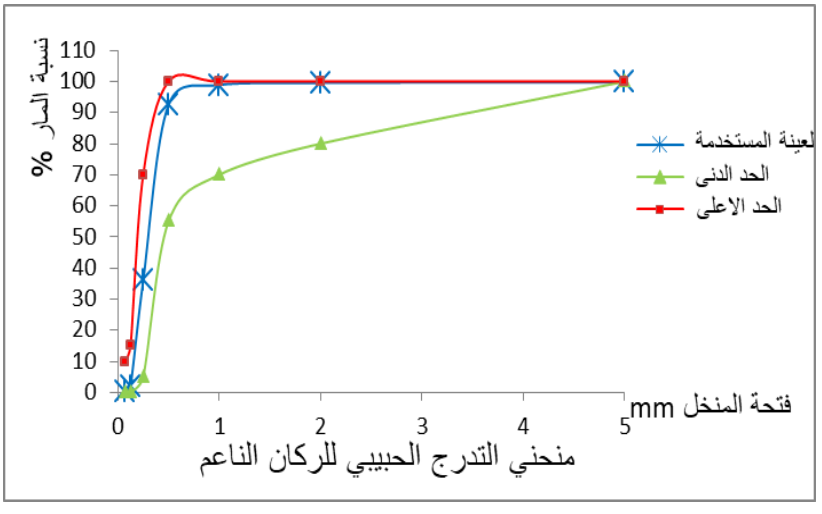
http://www.doi.org/10.62341/msma1108

•**الاسمنت** : استخدم الاسمنت البروتلاندي العادي نوع 42.5 من مصنع البرج زليتن التابع لشركة الاتحاد العربي للمقاولات و المطابق للمواصفة القياسية الليبية رقم 340/ 2009.

•**الركام الناعم** :استخدم في هذه الدراسة ركام ناعم (رمل طبيعي) من محجر زليتن و كانت نتائج التحليل المنخل مطابق للمواصفة البريطانية BS1992:882 . كما هو موضح بالجدول 1. انظر للشكل رقم 1.

جدول 1: يوضح التدرج الحبيبي لعينة الركام الناعم

فتحة المنخل mm	نسبة المار %	حدود المواصفة
5	99.80	100
2	99.60	100 – 80
1	98.90	100 – 70
0.5	92.51	100 – 55
0.25	35.97	70 – 5
0.125	2.11	15 – 0
0.075	0.42	10 – 0



الشكل 1: التدرج الحبيبي لعينة الركام الناعم

•**الركام الخشن:** تم جلب الركام الخشن المستخدم في هذا البحث من منطقة ابورشادة (غريان) وهو ركام مطابق للمواصفة البريطانية BS1992:882 واجريت الاختبارات في

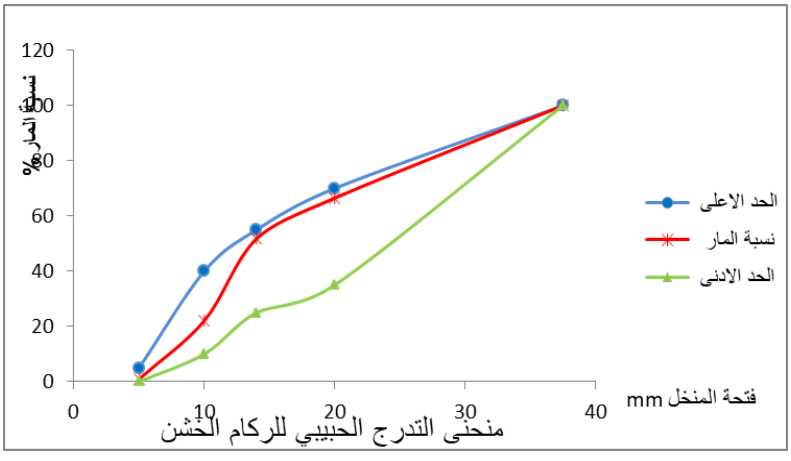
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

معامل كلية الهندسة جادو وكانت نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن كما في الجدول 2. انظر للشكل رقم 2. و الشكل رقم .3 يوضح المناخل القياسية و الميزان المستخدم في الاختبار

جدول 2: يوضح التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن

فتحة المنخل mm	نسبة المار %	حدود المواصفة
37.5	100	100
20	66.5	70 – 35
14	51.73	55 – 25
10	22.08	40 – 10
5	0.96	5 – 0



الشكل 2: التدرج الحبيبي لعينة الركام الخشن

الشكل 3: هزاز المناخل القياسية و الميزان

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

•**الماء :** تم استخدام نوعين من الماء في هذا البحث :

اولا : مياه عذبة نقية :

استخدم مياه عذبة صالحة للشرب من محطة تحلية جادو خالية من المواد العضوية و الشحوم .

ثانيا: مياه صرف صحي معالجة جزئيا :

استخدمت مياه صرف صحي معالجة من محطة النجيلة (جنزور) لمعالجة مياه الصرف الصحي ، الجدول (3) يبين خواص الماء العذب و الصرف الصحي المعالج المستخدم في الخلطات .

الجدول 3: خواص الماء العذب و الصرف الصحي المعالج المستخدم في الخلطات

الخاصية	الماء العذب mg / L	ماء الصرف الصحي المعالج mg / L	الحدود
الاملاح الصلبة الذائبة TDS	100 – 50	1920	2000
نسبة الحموضة PH	6.5	7.37	8 – 6
الكالسيوم Ca^{+2}	7.3	108	3000
الماغنيسيوم Mg^{+2}	0.3	97.8	
الكلوريدات CL	20	78.3	500
الكربونات و البيكربونات Co_3 HCo_3	20	811.3	1000
الكبريتات So^4	22	160	1000
المواد الصلبة العالقة TSS	0	25	
المواد العضوية O . M	0	8890	

2.4 – اعداد العينات

تم اعداد الخلطات الخرسانية بنسبة خلط 1 : 2 : 4 (اسمنت : الركام الناعم : الركام الخشن) تم تجهيز خمسة خلطات خرسانية، في جميع الخلطات تم تثبيت نسبة ونوع الاسمنت والركام بنوعيه وكان المتغير الوحيد هو الماء حيث تم اعداد خلطة A بماء صالح لشرب نقي، و الخلطة B بماء صرف صحي معالج بدون ترقيد و خلطة C بماء صرف صحي معالج مرقد لمدة 7 ايام، و الخلطة D بماء صرف صحي معالج و مرقد لمدة 4 اسابيع، و الخلطة E بماء صرف صحي معالج و مرقد لمدة 6 اسابيع وتم تحديد كمية المياه المطلوبة للخلط بنسبة 50% من وزن الاسمنت. حيث تم اعتماد خمسة اشكال من العينات بهدف تحديد تأثير الترقيد على المياه المعالجة من حيث طبيعة التحول

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

الحاصل للمياه فيزيائيا وتأثيره على مواصفات وخصائص الخرسانة فيما بعد ومقارنتها بخلطة مرجعية للماء النقي حيث الشكل 4 يوضح القوالب القياسية التي استخدمت لتجهيز العينات.

الشكل 4: القوالب القياسية المكعبات والاسطوانات

الاختبارات المعملية :

تم اجراء هذه الاختبارات في معامل كلية الهندسة جادو بجامعة نالوت.

1 – اختبار اللزوجة للماء :

بتبدل لزوجة المياه تتغير كميته المستخدمة في الخلط وهذا يعود الى الخاصية التشحيمية الموجودة في الماء المعالج.

2 – اختبار العجينة النظامية :

هو اختبار عجينة الاسمنت بخلط الاسمنت و الماء بنسب معينة مدة تتراوح من (3 – 5) دقائق.

3 – اختبار تحديد زمن الشك الابتدائي و النهائي :

اجري اختبار زمن الشك الابتدائي و النهائي للخلطات الخرسانية الخمسة .

4 – اختبار الهبوط للخرسانة :

اجريت اختبارات الهبوط طبقا للمواصفة القياسية البريطانية (B.C.1881. part2: 1970) لقابلية التشغيلية للخرسانة وتم تطبيق الاختبار لجميع خلطات الخرسانية، الشكل 5 . يوضح الادوات المستخدمة في الاختبار .

5 – اختبار مقاومة الضغط للخرسانة:

تم اجراء اختبار مقاومة الضغط لتحديد الخصائص الميكانيكية لمقاومة الضغط للخرسانة وتم اختبار عينات وهي بعمر (3 ، 4 ، 14 ، 28) يوم بعد معالجتها بالغمر في الماء

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

حيث بلغ العدد الاجمالى للعينات 60 عينة و تم الاختبار وفقا للمواصفة BC1881، الشكل 5 يوضح جهاز اختبار مقاومة الضغط للخرسانة المتوفر في معمل كلية الهندسة جادو.

6 – اختبار مقاومة الشد للخرسانة:

يقوم اختبار الشد بتقيم قوة الشد للخرسانة بشكل غير مباشر. تم اجراء الاختبار حسب المواصفة القياسية البريطانية Part1983:118:BS1881 حيث تم اختبار العينات وهي بعمر (7 ، 28) يوم من معالجتها بالغمر.

الشكل 5:اختبار الهبوط للخرسانة و جهاز اختبار مقاومة الضغط للخرسانة

النتائج والمناقشة:

1 – اختبار اللزوجة للماء :

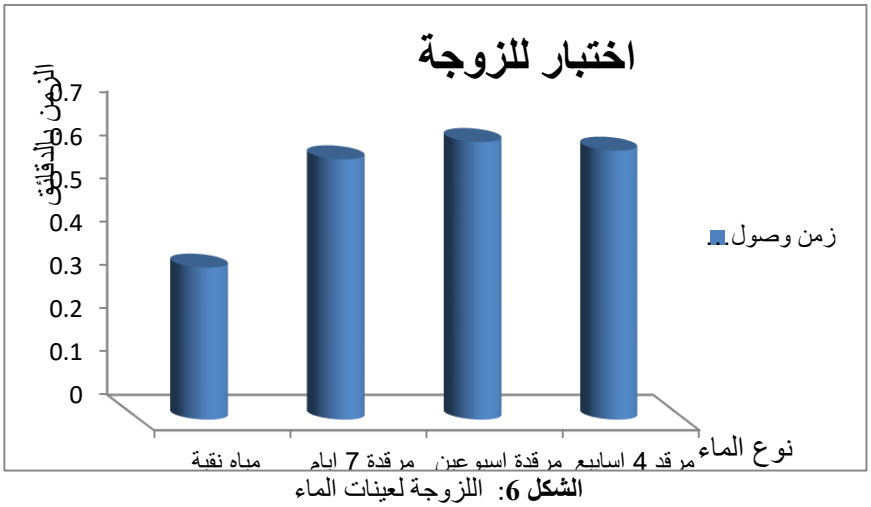
لتحديد لزوجة مياه الصرف الصحي المعالجة المستخدمة في الخلطات تم اعتماد سرعة سقوط كره حديدية داخل مخبار و مقارنتها بسرعة سقوط نفس الكرة في المياه العذبة الصالحة للشرب المستخدمة في الخلطة المرجعية. جدول 4 و الشكل 6 يبين ان زمن سقوط الكرة في المياه العذبة اقل بمقارنته بسرعة سقوط الكرة في مياه الصرف الصحي المعالجة مما يؤكد لزوجة المياه المعالجة اكبر من لزوجة المياه النقية المستخدمة في الخلط اجري الاختبار على المياه المرقدة لمدة 7 ايام و اسبوعين والمرقدة 4 اسابع فقط.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

جدول 4: زمن هبوط الكرة المعدنية عبر المخبار باختلاف المياه المستخدمة .

مخبار يحتوي على / اللزوجة	مياه نقية	مياه معالجة مرقدة لمدة 7 ايام	مياه معالجة مرقدة لأسبوعين	مياه معالجة مرقدة لمدة 4 اسابيع
الزمن الذي تستغرقه الكرة للوصول للقاع (ثانية)	0.24	0.50	0.55	0.53
	0.31	0.42	0.45	0.56
	0.27	0.39	0.41	0.37
	0.35	0.60	0.64	0.62
المتوسط	0.292	0.477	0.512	0.52



الشكل 6: اللزوجة لعينات الماء

2 – اختبار العجينة النظامية :

ايجاد نسبة الماء الازم لتحضير عجينة اسمنتية دات قوام قياسي لعينه من الاسمنت حيت تستخدم هذه النسبة عند تحضير عينات الخاصة بخواص الاسمنت ، تم اجراء الاختبار طبقا للمواصفة الليبية. كانت نتائج الاختبار على عينة الاسمنت الماخودة من مصنع الاتحاد تبين ان نسبة الماء القياسية لعجينة نظامية هي 28% و كانت داخل حدود المواصفة 21 / 73 (26% – 32%).

3 – اختبار تحديد زمن الشك الابتدائي و النهائي :

تم اجراء اختبار زمن الشك باستخدام جهاز فيكات طبقا للمواصفة الليبية حيث طبقة خطوات الاختبار على خمسة خلطات استخدم فيها مياه الصرف الصحي المعالجة حيث الغرض من الاختبار معرفة لذونة و زمن تصلد الاسمنت و كانت النتائج في حدود

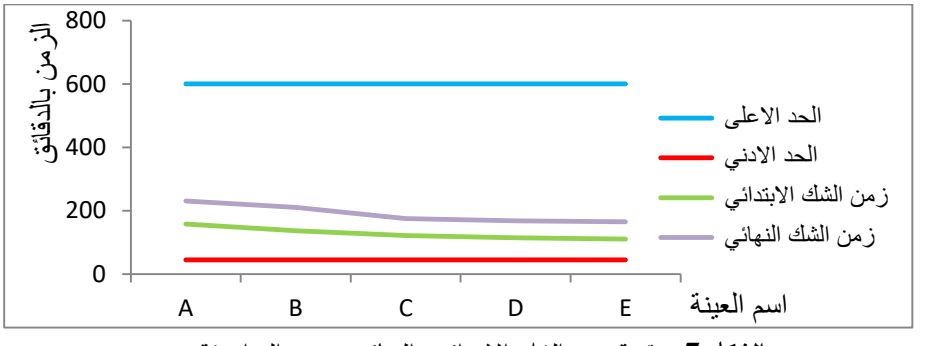
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

المواصفة الليبية 97 / 340 كما موضح في الشكل 7، تبين ان زمن الشك الابتدائي و النهائي يقل كلما زادة مدة ترقيد مياه الصرف الصحي المعالجة ، الجدول (5) يبين زمن الشك الابتدائي والنهائي للخلطات الخمسة .

الجدول 5 : زمن الشك الابتدائي والنهائي للخلطات الخمسة .

اسم العينة	نوع المياه	زمن الشك الابتدائي بالدقيقة	حدود المواصفة	زمن الشك النهائي بالدقيقة	حدود المواصفة
A	نقية	158	لا يقل عن 45 دقيقة	231	لا يزيد عن 600 دقيقة
B	بدون ترقيد	137	لا يقل عن 45 دقيقة	210	لا يزيد عن 600 دقيقة
C	مرقدة لمدة 7 ايام	121	لا يقل عن 45 دقيقة	175	لا يزيد عن 600 دقيقة
D	مرقدة لمدة 4 اسابيع	114	لا يقل عن 45 دقيقة	168	لا يزيد عن 600 دقيقة
E	مرقدة لمدة 6 اسابيع	110	لا يقل عن 45 دقيقة	165	لا يزيد عن 600 دقيقة



الشكل 7: مقرنة زمن الشك الابتدائي والنهائي بحدود المواصفة

4 – اختبار الهبوط للخرسانة:

تحدد درجة التشغيل للخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها حيث تم اجراء الاختبار على الخلطات الخرسانية الخمسة، لوحظ ان الخلطة B مياه الصرف الصحي بدون ترقيد اقل هبوط بين الخلطات كان 80mm بينما الخلطة D كان الهبوط فيها 120mm هي اعلى نسبة هبوط بينما بدا الهبوط يقل في الخلطة E التي استخدم فيها مياه مرقدة 6 اسابيع وقترب من الخلطة A بالماء النقي كما موضح في الشكل8. و جميع

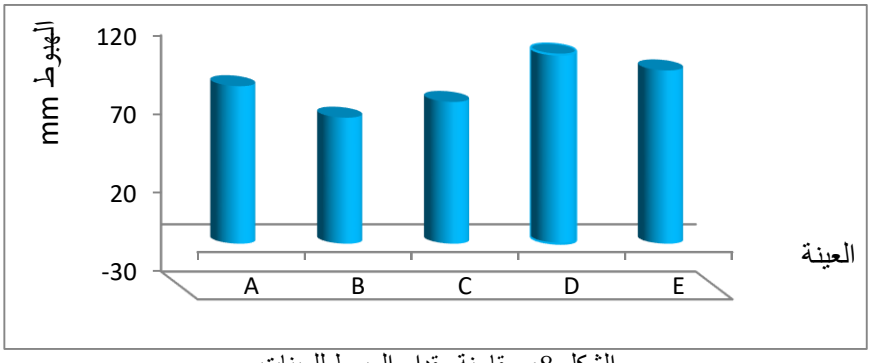
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

قيم اختبار الهبوط التي تم قياسها كانت تقع ضمن حدود مواصفة القوام اللدن للخرسانة (B.C.1881.part2:1970) منها لوحظ ان كلما زادة مدة ترقيد الماء اقترب قوام الخرسانة من قوام الخرسانة المعدة بالماء النقي.

الجدول 6: مقدار الهبوط في الخلطات الخرسانية الخمسة

اسم العينة	نوع الماء	قيمة الهبوط mm	حدود المواصفة
A	نقية	100	280 – 10
B	بدون ترقيد	80	280 – 10
C	مرقدة لمدة 7 ايام	90	280 – 10
D	مرقدة لمدة 4 اسابيع	120	280 – 10
E	مرقدة لمدة 6 اسابيع	110	280 – 10



الشكل 8: مقارنة مقدار الهبوط للعينات

5 – اختبار مقاومة الضغط للخرسانة:

تعتبر مقاومة الضغط من اهم المتطلبات الاساسية للخرسانة المتصلدة لأنه يعبر عن جودتها و صلاحيتها حيث تم اجراء الاختبار طبقا للمواصفة B.C1881 على عينات مكعبة ذات ابعاد (150× 150 × 150) بعد معالجتها بغمرها بالماء لمدة 3 ايام و 7 ايام و14 يوم و 28 يوم ، الشكل (9) يبين نتائج مقاومة ضغط الخرسانة لجميع العينات ، تبين من الشكل ان مقاومة الضغط للعينات الخرسانية المجهزة بالماء النقي تعطي اقل قيمة لمقاومة الضغط في جميع مراحل لمعالجة حيت اعطت 15.45MPa في 3 ايام بنما اعطت قوة مقاومة 27.28MPa في 28 يوم ، و الخلطات الخرسانية المستخدم فيها مياه الصرف الصحي المعالجة كانت اعلى مقاومة ولوحظ فيها تحسن واضح بزيادة مدة الغمر حيث الخلطة B كانت المقاومة بعد 3 ايام معالجة 18.706MPa بينما في 28 يوم 33.063MPa بينما الخلطة C التي استخدم فيها

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

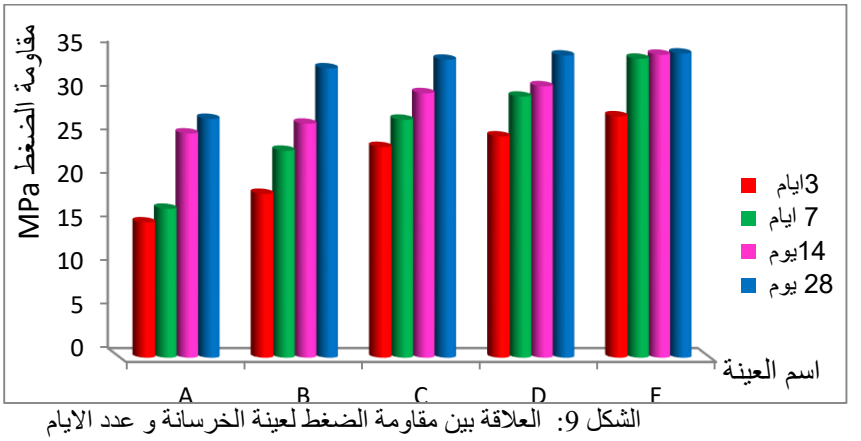
http://www.doi.org/10.62341/msma1108

مياه مرقدة لمدة 7 ايام كانت مقاومة الضغط فيها عند 3 ايام 24.064MPa في حين عند 28 يوم 34.05MPa . و الخلطة D اعطت مقاومة ضغط عند 3 ايام 25MPa بينما عند 28 يوم كانت المقاومة 34.527MPa ، والخلطة E التي استخدم فيها مياه صرف صحي معالجة مرقدة لمدة 6 اسابيع كانت مقاومة الضغط عالية 27.572MPa و 34.76MPa عند 3 ايام و 28 يوم على التوالي. و بمقارنة النتائج مع الخلطة المرجعية A المجهزة بالماء النقي الصالح لشرب كانت الخلطات المجهزة بمياه الصرف الصحي المعالج متفوقة في مقاومة الضغط حيث اضهرت الخلطة E مقاومة عالية عند 3 ايام بقيمة 27.572MPa كما ان الخلطة B و C و D اعطت نتائج جيدة و تحسن ملحوظ و تدريجي مع ازدياد عمر الخرسانة.

هذا يوضح ان عملية الترقيد لمياه الصرف الصحي المعالجة لا تأثر كثيرا على مقاومة الضغط مع زيادة عمر الخرسانة و لكن قد تكون مفيدة و مأثرة في التطبيقات الى نحتاج الى خرسانة ذات مقاومة مبكرة وسريعة .

الجدول 7 : نتائج مقاومة ضغط الخرسانة لجميع العينات مقاسة بالميجاباسكال.

اسم العينة	نوع الماء	مقاومة الضغط MPa			
		3 ايام	7 ايام	14 يوم	28 يوم
A	نقية	15.45	16.999	25.61	27.279
B	بدون ترقيد	18.706	23.634	26.73	33.063
C	مرقدة لمدة 7 ايام	24.064	27.178	30.22	34.05
D	مرقدة لمدة 4 اسابيع	25.275	29.823	31.011	34.527
E	مرقدة لمدة 6 اسابيع	27.572	34.160	34.617	34.76



الشكل 9: العلاقة بين مقاومة الضغط لعينة الخرسانة و عدد الايام

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

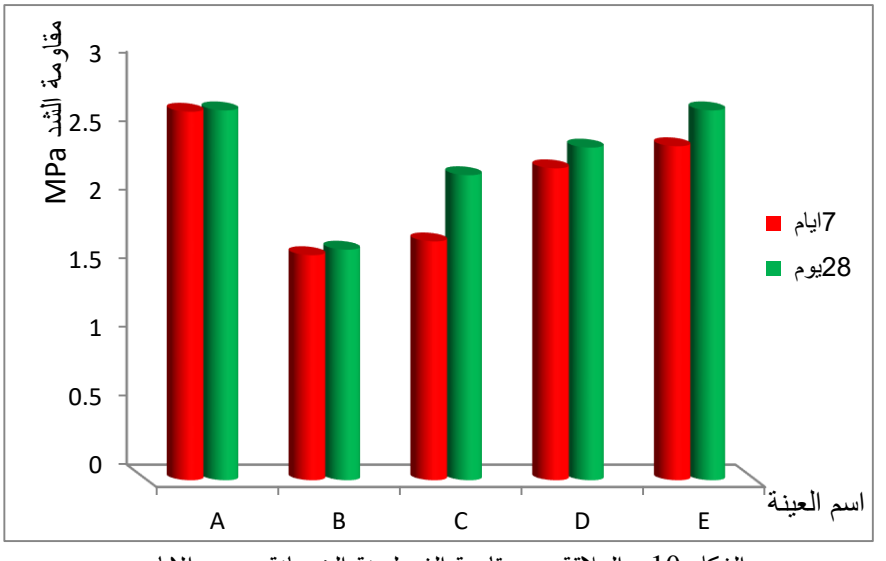
http://www.doi.org/10.62341/msma1108

6 – اختبار مقاومة الشد للخرسانة:

اجرى الاختبار على عينات اسطوانية الشكل دات ابعاد (150 × 300 mm) وتم اختبارها بعد 7 ايام و 28 يوم من معالجتها بالغمر في الماء. الشكل (10) يبين ان اعلى قيمة لمقاومة الشد عند 7 ايام كان للعينة المجهزة بمياه نقية بينما ان انخفضت مقاومتة الشد الخلطات المعدة بمياه الصرف الصحي المعالجة بدون ترقيد او مرقدة لمدة 7 ايام و عادة لترتفع المقاومة للعينات المستخدم فيها مياه مرقدة لمدة 6 اسابيع و يبين ان الهينات بعد عمر 28 يوم كانت قيمة مقاومة الشد في العينات C و D و E تقترب من نتائج المحققة من الخلطة المرجعية A مما يشير الى ان الترقيد ادى الى تحسين في مقاومة الشد .

الجدول 8 : نتائج مقاومة الشد الخرسانة لجميع العينات مقاسة بالميجاباسكال.

اسم العينة	نوع الماء	مقاومة الشد MPa	
		7 ايام	28 يوم
A	نقية	2.68	2.69
B	بدون ترقيد	1.64	1.68
C	مرقدة لمدة 7 ايام	1.74	2.22
D	مرقدة لمدة 4 اسابيع	2.27	2.42
E	مرقدة لمدة 6 اسابيع	2.43	2.69



الشكل 10: العلاقة بين مقاومة الشد لعينة الخرسانة و عدد الايام

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

الاستنتاجات:

1 – اعطت اختبارات الخرسانة نتائج جيدة لجميع الاعمار، و دلك يدل على جودة المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية و كذلك عدم وجود فراغات في المكعبات.

2 – اظهرت نتائج اختبار للزوجة ان لزوجة المياه المعالجة و المستخدمة في الخلطات كان اكبر من لزوجة المياه العذبة النقية المستخدمة في الخلطة المرجعية .

3 – زمن الشك الابتدائي والنهائي تتأثران عكسيا بمدة ترقيد مياه الصرف الصحي المعالجة حيث زيادة الترقيد يقلل من زمن الشك الابتدائي والنهائي .

4 – قابلية التشغيل للخلطات الخرسانية تتناسب طرديا مع مدة ترقيد ميساه الصرف الصحي المعالجة حيث ان تزداد درجة تشغيلية الخرسانة كلما زادت مدة مياه الصرف الصحي المعالجة .

5 – مقاومة الضغط لمكعبات الإسمنت المحضرة بمياه الصرف الصحي المعالجة تزيد بنسبة 27% عن تلك المحضرة بالمياه العذبة بعد 28 يوم، بينما مقاومة الشد لا تتأثر حيث اعطت نفس قوة مقاومة عند 28 يوم. يُعزى ذلك إلى أن الرقم الهيدروجيني (pH) لمياه الصرف الصحي المعالجة أعلى من الماء العادي، مما يعزز خصائص الربط للإسمنت عند الرقم الهيدروجيني المرتفع، وبالتالي تزداد القوة.

الخلاصة:

اظهرت الدراسة ان مياه الصرف الصحي المعالجة يمكن استخدامها بفاعلية في انتاج الخرسانة، حيت ان الاختبارات الكيميائية للماء اعطت نتائج إجابيه، وكانت الشوائب و المواد العالقة ضمن الحدود المقبولة و عند استخدام هذه المياه لتحضير مكعبات الخرسانة تحث الظروف العادية، اظهرت المكعبات مقاومة عالية لضغط و الشد بمقارنتها بالمكعبات المحضرة بمياه الشرب و يعود هذا التحسن في الاداء الى ارتفاع درجة القلوية و الرقم الهيدروجيني لمياه الصرف المعالجة مما يعزز من معدل الاماهة و يزيد من مقاومة الخرسانة، وبالتالي فان استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في اعمال الخرسانة يعتبر بديلا مستداما و فعالا ويقلل من التلوث البيئي عند تصريف المياه المعالجة الى المسطحات المائية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

التوصيات :

1 – اجراء المزيد من الاختبارات وقياس مقاومة الضغط على عينات يزيد عمرها عن 28 يوم .

2 – لا تعمم نتائج المتحصل عليها من المياه الناتجة من محطة انجيلة (جنزور) على كامل ليبيا بسبب اختلاف مخرجات المحطات .

المراجع

المهرك يوسف . (1981) معالجة واستعمال مياه المجاري ، الهيئة العامة للبئية.

عيسى محمد ، طارق مفتاح.(2004) دليل مختبر تحليل المياه.

فؤاد فروج . (2016) " امكانية استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في صناعة الخرسانة " المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء الهندسية الانشائية .

محمد حمود مهنا. (2019 – 2020) جامعة الانبار، " تكنولوجيا الخرسانية" كلية الهندسة

Aastha Gupta et al. (2022). “Effect of treated wastewater on properties of concrete.” International Journal for Multidisciplinary Research (IJFMR) || ISSN: 0044-0477.

American Public Health Association (APHA) .(2006). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, APH Washington, DC, USA,.

BS 1881. part2 : 1970 Slump Test.

BS 882: 1992 Aggregates for concrete.

EPA. (2018). National Standards for Drinking Water Quality in Environmental Protection Agency; Reported by Pakistan Council of Research and Water Resources; Ministry of Environment, Government of Pakistan: Islamabad ،Pakistan,.

Ghafoor, S.; Hameed, A.; Shah, S.A.R.; Azab, M.; Faheem, H.; Nawaz, M.F. ; Iqbal, F .(2022).” Development of Construction Material Using Wastewater”: An Application of Circular Economy for Mass Production of Bricks. Materials, 15, 2256.

Mohamed H. Hegazy and Micheal M. Farouk. (2020) : “Effect ofmusing secondary treated wastewater in production And curing of concrete.” Journal of Materials and Environmental Science - ISSN:2508 CODEN:JMESCN. J. Mater. Environ. Sci., Volume11, Issue 9, Page 1493-1502.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/msma1108

Sachin Mane et al. (2019). : "Use of Sewage Treated Water in Concrete." International Journal of Research in Engineering,Science and Management Volume-2, Issue-6 June- www.ijresm.com - ISSN - (Online): 2581-5792.

Umesh Gaikwad .(2024). "Use of for Multidisciplinary Research (IJFMR) Volume-6, Issue-2 March-April ISSN: 2582-2160.

WHO. Guidelines for Drinking Water Quality Criteria, .(2011).4th ed.;World Health Organization: Geneva, Switzerland,; pp. 13 –33.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية