Journal of Libyan Academy Bani Walid 2026
مجلة الأكاديمية الليبية بني وليد
e-ISSN: 3104-3860
Volume 2, Issue 1, 2026, Pages: 208-217
Website: https://journals.labjournal.ly/index.php/Jlabw/index

Feasibility of Saline Water Utilization in Concrete Mixes: A Review

Arhaiem Hussain [1*], Ahmed Meekaeil [2], Ahmad Majed [3]
[1,2,3] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering\ Al-Qubbah - University of Derna, Libya
*Email: a.hussain@uod.edu.ly

إمكانية استخدام المياه المالحة في الخلطات الخرسانية: مراجعة علمية

أرحيم حسين عبدربه [1*]، احمد المبروك محمود[2] ، أحمد جبريل صالح [3]
[1،2،3] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة /القبة، جامعة درنة ، ليبيا

Received: 22-11-2025	**Accepted:** 08-01-2026	**Published:** 27-01-2026
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Abstract

This study presents a systematic critical review of twenty-seven scientific studies that investigated the use of seawater and saline groundwater as mixing water in concrete. The review focuses on the influence of water type on concrete properties and durability in coastal environments. The reviewed studies indicate that the use of saline water accelerates cement hydration reactions, primarily through a reduction in initial setting time ranging from 30% to 36%. Enhanced early-age strength development during the first fourteen days has been reported, attributed to the interaction of chloride ions with cement constituents, leading to the formation of additional hydration products such as Friedel's salt, which contributes to the densification of the concrete microstructure. However, this acceleration is accompanied by a significant reduction in workability, with slump losses reaching up to 54%, mainly due to the increased viscosity of the cement paste.

Most studies report that concrete strength begins to decline after 28 days, with further reductions over time ranging between 7% and 15%, and reaching up to 35% at high salinity levels. This deterioration is mainly associated with sulfate attack, the interaction of magnesium ions with the calcium silicate hydrate (C–S–H) gel, and increased shrinkage and permeability. Chemical and microstructural analyses reveal the formation of brucite and calcium carbonate layers, which initially reduce permeability; however, these layers gradually lose stability under prolonged exposure to salts and carbon dioxide.

One of the most critical risks associated with the use of saline water in concrete is the corrosion of steel reinforcement due to chloride ion interactions that disrupt the protective alkaline passive layer. Previous studies indicate that approximately 40% of marine structures fail as a result of reinforcement corrosion induced by these mechanisms.

Based on the findings of this review, saline water may be considered suitable for use in plain (unreinforced) concrete. Nevertheless, the corrosion risk remains a major challenge for reinforced concrete structures in coastal environments unless advanced design strategies and effective protection systems are implemented.

Keywords: Seawater; Saline groundwater; Concrete compressive strength; Reinforcement corrosion.

الملخص

تعتمد هذه الدراسة على مراجعة نقدية منهجية لعدد سبعة و عشرون بحثا علميا استخدم مياه البحار و الآبار المالحة في الخلطات الخرسانية ، حيث ركزت على تأثير نوع الماء على خصائص الخرسانة و ديمومتها في البيئات الساحلية، كما أظهرت الدراسات أن خلط الماء المالح بالخرسانة يساعد على تسريع التفاعلات الإماهية، نتيجة لتقليل زمن الشك الابتدائي بنسب تتراوح من 30% الى 36%، وتظهر مقاومة مبكرة خلال الأربعة عشر يوما الأولى بسبب تفاعل أيونات الكلوريد مع مكونات الأسمنت مولدة نواتج إماهة إضافية، مثل ملح فريدل(Friedel's salt) ، الذي يسهم في تكثف البنية المجهرية للخرسانة. لكن هذا التسارع يؤدي الى انخفاض في قابلية التشغيل، محدث انخفاض في الهبوط تصل الى 54% نتيجة لقوم العجينة الاسمنتية اللزجة .

تشير معظم الدراسات إلى أن مقاومة الخرسانة تبدأ في الانخفاض بعد ثمانية وعشرون يوما وتزداد في الانخفاض مع العمر بنسب تتراوح بين 7%-15% وقد تصل الى 35% لنسب الملوحة المرتفعة، نتيجة هجوم الكبريتات، وتفاعل أيونات المغنيسيوم مع جلC–S–H ، وزيادة الانكماش والنفاذية. كما تكون الأملاح طبقات من البروسيت وكربونات الكالسيوم حسب التحاليل الكيميائية والمجهرية وهذه الطبقات تقلل النفاذية، لكنها تفقد استقرارها تدريجيا مع استمرار التعرض للأملاح وثاني أكسيد الكربون.

من أهم مخاطر خلط الماء المالح في الخرسانة هو تآكل حديد التسليح نتيجة تفاعلات ايونات الكلوريد التي تنتج طبقة تخميل قلوية للحديد، تشير الدراسات إلى أن حوالي 40% من المنشآت البحرية تفشل بسبب هذه التفاعلات.

من خلال هذه المراجعة نستنتج أنه يمكن استخدام المياه المالحة في الخرسانة العادية التي لا تحتوي على حديد تسليح، ولكن تبقى مشكلة التآكل في الخرسانة المسلحة المقامة في البيئات الساحلية ما لم تتبع التصاميم ونظام الحماية المتقدمة.

الكلمات المفتاحية: مياه البحار، الآبار المالحة، مقاومة الخرسانة، تآكل الحديد.

1.المقدمة:

يسود ليبيا مناخ صحراوي جاف أدى إلى ندرة الموارد المائية العذبة، فمتوسط هطول المطر السنوية يتراوح بين 50–60 مم، فترتب على ذلك تراجع معدلات الموارد المائية في العقد الأخير من 2007 الى 2018 بحوالي 11%، ويبلغ نصيب الفرد من الموارد المائية المتجددة أقل من 120 م³ سنويا، مما يشير إلى فقر شديد في تلك الموارد إذا يبلغ حد الفقر المائي العالمي 1000 م³/فرد/سنة (UNICEF, 2022; FAO, 2021). لذلك تعتمد على المياه الجوفية لتغطي حوالي 97% من احتياجاتها المائية اما المياه السطحية فهي لا تغطي سوء 3% من الاحتياجات المائية بسبب سوء الإدارة المائية،(UNDP, 2024) .

إن تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية بسبب استنزاف الخزانات الجوفية الساحلية أدي إلى ارتفاع الملوحة في العديد من الآبار، فتجاوزت قيم المواد الصلبة الذائبة(TDS) في بعض المناطق الساحلية 5000 ملغم/لتر، وهو ما يصنفها بأنها مياه شديدة الملوحة وغير صالحة للاستخدامات، حيث إن معظم الأنشطة العمرانية والإنشائية في ليبيا تقام على الشريط الساحلي الممتد على البحر المتوسط.

تشير الدراسات أنه يمكن استبدال الماء العذب بماء البحر أو المياه الجوفية المالحة في الخلطات الخرسانية، الا أن احتوائها العالي على أيونات الكلوريد والكبريتات والمغنيسيوم يؤثر على خواص الخرسانة الطازجة، ومقاومتها، وديمومتها خصوصا في الخرسانة المسلحة، الا ان بعض الدراسات اكدت على وجود تحسن ملحوظ في مقاومة الخرسانة، (Younis et al., 2018; Eziefula et al., 2023;Supriya et al,.(2023)).

وعلى الرغم من أن المياه المالحة تقلل زمن الشك الابتدائي وتزيد المقاومة المبكرة لتسريعها تفاعلات الإماهة، لكن تؤدي إلى انخفاض قابلية التشغيل وزيادة الانكماش والنفاذية، الأمر الذي يسهم في تعجيل آليات التدهور الكيميائي مثل هجوم الكبريتات، الكربنة، وتفاعل القلويات مع السيليكا (ASR) (Dhondy et al., 2021; Wang et al., 2023). كما تعد أيونات الكلوريد السبب المباشر في فقدان طبقة التخميل القلوية المحيطة بحديد التسليح، مما يؤدي إلى تآكل حديد التسليح حتى في الخرسانة عالية الكثافة (Islam et al., 2012; Rahimi et al., 2013; Alam Dipu et al.,2024;Demir et al,.2010).

بالرغم من كثرة الدراسات في هذا الموضوع إلا أنها لم تجد حل جذري لاستبدال الماء العذب بالماء المالح في الخرسانة خصوصا في المدن الساحلية الليبية ولعدم تطرق الدراسات بشكل مباشر للظروف البيئية في سواحل شمال إفريقيا، وطبيعة مناخها ذو الصيف الحار والرطوبة العالية مع تداخله مع الملوحة المرتفعة ودراسة تأثيرها على الخصائص الكيميائية للمواد المكونة للخرسانة؛ لذلك وجب هنا عمل مراجعة علمية تربط بين نتائج الدراسات بالواقع الليبي.

1-1- مشكلة البحث

تعتمد معظم المشاريع في ليبيا على استخدام الخرسانة في الإنشاء لاسيما في المدن الكبرى التي تقع على الشريط الساحلي، حيث إنها تستخدم المياه الجوفية المختلطة بماء البحر مباشرة في الخلطات الخرسانية او غير المباشرة بسبب شح المياه العذبة و ارتفاع تكلفتها ،بالرغم من العديد من الأبحاث التي تشير إلى إمكانية استخدام المياه المالحة في الخلطات الخرسانية الغير مسلحة ، إلا أن هناك أبحاث أخرى تبين أن استخدام هذا النوع من الماء في الخلطات الخرسانية يؤدي إلى تدهور مقاومة الخرسانة و ديمومتها على المدى البعيد خصوصا الخرسانة المسلحة.

فمشكلة البحث تكمن في كيفية وإمكانية استخدام مياه البحر والآبار المالحة في البيئة الليبية دون تعريض المنشآت لخطر الفشل.

2-1- أهداف البحث

تهدف هذه الدراسة إلى:

1. تحليل نتائج الدراسات السابقة المستخدمة للمياه المالحة في الخلطات الخرسانية.
2. دراسة تأثير المياه المالحة على خصائص الخرسانة.
3. دراسة تأثير الملوحة على نفاذية وانكماش والتآكل وديمومة الخرسانة على المدى البعيد.
4. تحليل النتائج الكيميائية والمجهرية.

3-1- أهمية البحث

تنقسم هذه الدراسة من حيث الأهمية الى ثلاثة اقسام:

- تقليل الطلب على الماء العذب من خلال إيجاد بديل متوفر قليل التكلفة
- دراسة البحوث العالمية وتطبيقها على البيئة الليبية
- توفير دراسة من الواقع الليبي لاستخدامها الآمن أو المقيد في الخلطات الخرسانية

1-4- منهجية المراجعة العلمية

تعتمد هذه الدراسة على المراجعة المنهجية للدراسات العلمية المنشورة خلال الفترة 2010–2025، تشمل الخطوات التالية:

- تم جمع وتحليل سبعة وعشرون بحثا علميا من مجلات محكمة ومؤتمرات علمية دولية تختص باستخدام مياه البحر ومياه الآبار المالحة في الخلطات الخرسانة.
- تم اختيار الدراسات التي شملت على:
  - تأثير الملوحة على خصائص الخرسانة الطازجة و المتصلدة.
  - تأثيرها على مقاومة الخرسانة.
  - استخدام التحاليل المجهرية والكيميائية.
  - تأثير المياه المالحة على تآكل حديد التسليح وديمومة الخرسانة.
  - آلية تدهور الخرسانة المنتجة في البيئة الساحلية.
- مقارنة نتائج الأبحاث لمعرفة أوجه اختلاف الدراسات حول إمكانية استخدام الماء المالح في الخرسانة وفق نوع المياه والمواد المستخدمة في الخلطات ومدى تركيز الاملاح فيها.

2- آليات تدهور الخرسانة عند استخدام مياه البحر والمياه المالحة

نتيجة استخدام المياه المالحة في الخلطات الخرسانية تتعرض التركيبة الإسمنتية إلى تغير في العمليات الكيميائية والفيزيائية وتؤثر هذه التغيرات على متانة ومقاومة الخرسانة على المدى البعيد، من أهم المركبات المؤثرة على الخرسانة:

2-1- تأثير الكلوريدات وتآكل حديد التسليح

وهي من أكثر المكونات خطورة في المياه المالحة، حيث إنها تمثل حوالي 55%-60% من مجموع الأملاح الذائبة، وعندما تختلط بمركبات الخرسانة فإنها تدخل مباشرة إلى البنية المسامية للخرسانة حيث يتشكل جزء منها على هيئة ملح الفريدل ويبقى الجزء الآخر حر داخل المسام (Ikponmwosa et all., 2020; Angst et al., 2017).

حيث إن الجزء الحر يؤدي إلى تدمير طبقة التخميل القلوية التي تحمي حديد التسليح، مما يتسبب في بدأ تآكل الحديد مبكرا (Eziefula et al., 2023;Egbe &Johnson.,2025)

في السواحل الليبية، تتعرض المنشآت لرذاذ البحر والرطوبة العالية، مع ارتفاع درجات الحرارة يتضاعف هذا التأثير نتيجة الاختراق الخارجي المستمر للكلوريدات.

2-2- هجوم الكبريتات

فهي تمثل ثاني أكثر الأيونات السالبة انتشاراً في مياه البحر بنسبة 10–11%. وإذا خلطت في الخرسانة فإنها تتفاعل مع مكونات الإسمنت مثل هيدروكسيد الكالسيوم وألومينات ثلاثي الكالسيوم(C_3A) ، لتكون طبقة من الجبس والإترينجيت التي تزيد التشققات وبالتالي تقلل من تماسك الخرسانة. (Emmanuel et al., 2012; Tijani et al,.(2015)).

وتتفاقم خطورتها في مناطق المد والجزر المنتشرة على الساحل الليبي بسبب دورات الترطيب والجفاف التي تعزز تبلور الأملاح داخل المسام.(Santhanam et al., 2003)

2-3- الكربنة وتفاعلها مع الملوحة

تحدث الكربنة بسبب وجود ثاني أكسيد الكربون داخل مسام الخرسانة، فيتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونا كربونات الكالسيوم، حيث إنها تؤدي إلى تقليل النفاذية السطحية(El-khoury et al,.2022) ، إلا إنها تتسبب في صدأ حديد التسليح لتحريرها للكلوريدات المرتبطة كيميائيا مما يزيد من الكلوريدات الحرة التي تدمر طبقة التخميل القلوية التي تحمي حديد التسليح (Islam et al. (2012); Supriya et al.,(2023); Qasim et al.,(2020); Muluye, .(2018)).

4-2 تفاعل القلويات والسيليكا(ASR)

تزداد القلوية للهيكل الخرساني نتيجة وجود تركيزات مرتفعة من أيونات الصوديوم والبوتاسيوم في المياه المالحة، مع وجود نشاط سيليسي يتكون جل متمددا يمتص الرطوبة ويسبب التشققات والتفتت التدريجي (Ikponmwosa,et al,.2020; Tijani et al,.2015). ويعد هذا التفاعل أكثر خطورة مع وجود الرطوبة العالية المستمرة.

5-2 الانكماش وزيادة التشقق

تظهر الأبحاث الى أن تسريع التميه وتغيير بنية المسام الدقيقة للخرسانة يزيد من معدل الانكماش مسببا تشققات مبكرة تسهم في تغلغل الكلوريدات والكبريتات إلى البنية الداخلية للخرسانة (Eziefula et al., 2023;Amusan et al.,2014).

3- الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء العذب والمالح

يوضح الجدول1 نتائج الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء العذب والمالح المستخدمة في دراسات المراجعة .

جدول 1. الخصائص الكيميائية والفيزيائية للماء العذب والمالح (مستند إلى الدراسات 1–27).

الخاصية	الماء العذب	ماء البحر / المالح	الملاحظات
الرقم الهيدروجيني (pH)	6.4–8.06	7.2–9.2	يميل ماء البحر للقلوية أكثر
TDS (ملجم/لتر)	26–1500	30,300–47,330	يصل إلى 335,000 في البحر الميت
الخاصية	**الماء العذب**	**ماء البحر / المالح**	**الملاحظات**
Cl^- (ملجم/لتر)	4–230	13,697–22,500	يشكل ~78% من أملاح البحر
SO_4^{2-}	18.3–110	614–3,050	ثاني أكبر أيون
Na^+	3.2–9.1	2,190–20,700	حسب الموقع الجغرافي
Mg^{2+}	1.4–28	260–2,300	مسؤول عن تكوين البروسيت
Ca^{2+}	8.3–63	340–503	يتفاعل مع الكبريتات
K^+	1.8–56	376–880	من المكونات الأساسية
التوصيل الكهربائي (µS/cm)	175–1,352	57,733–57,900	يعكس قدرة الأيونات على الحركة
الملوحة	منخفضة (<1000 ppm)	3.5–35.7جم/لتر	الملوحة العالية بين 1–3.5%

4- المناقشة

من خلال نتائج الدراسات تبين وجود تحسن كبير في الإماهة مما يحسن المقاومة المبكرة، لكن هذه المقاومة تتراجع مع التقدم في العمر في معظم الدراسات،(Qasim et al,.2020) كما اشارات بعض الدراسات الأخرى الى وجود تحسن في المقاومة (Dutte et al.2022; Muluye.,2018; Ogunjiofor.,2020) كما موضح في الجدول 3، يوضح الجدول2 تأثير مياه البحر والملوحة على خصائص الخرسانة.

جدول2: تأثير مياه البحر والملوحة على خصائص الخرسانة

الخاصية	القيمة أو التغير المرصود	الملاحظات
زمن الشك الابتدائي	انخفاض بنسبة 30% - 36%	الملوحة تعمل كمسرع لعملية التميّه.
الهبوط(Slump)	انخفاض بنسبة 20% - 54%	تصبح الخلطة أكثر لزوجة وأقل تشغيليّة.
المقاومة المبكرة (7 أيام)	زيادة حسب الملوحة	تختلف القيمة حسب الملوحة (مثلاً: زيادة من 25.6 إلى 36.2 ميجا باسكال عند تركيز 40 جم/لتر).
المقاومة طويلة الأمد (28 يوم +)	انخفاض بنسبة 7% - 15%	قد تصل خسارة المقاومة إلى 33%بعد عام كامل.
مقاومة مياه البحر الميت	انخفاض حاد بنسبة 36.7%	ناتج عن الملوحة المتطرفة وتأثير أيونات المغنيسيوم.
انكماش الجفاف	زيادة بنسبة تصل - 83.5%	الأملاح تزيد من التوتر الشعري داخل المسام الدقيقة.
النفاذية (بعد عام)	زيادة بمعدل 8 إلى 12 مرة	ناتجة عن نضح (Leaching) المكونات وتحلل المصفوفة الأسمنتية.
التغير الحجمي	تمدد بنحو 0.12%+	استقرار الحجم في حالة الغمر المستمر بمياه البحر.
حرارة التميّه الكلية	زيادة طفيفة	مياه البحر تزيد من معدل انبعاث الحرارة التراكمي.
زيادة الحجم (تفاعل الكبريتات)	17.7% -20%	ناتجة عن تكوين الجبس و هيدروكسيد المغنيسيوم (البروسيت).

جدول3: تطور المقاومة الميكانيكية للخرسانة حسب نوع الماء والعمر.

المرحلة العمرية	التأثير المرصود عند استخدام ماء البحر	التغير في المقاومة	المرجع
الأعمار المبكرة (1 - 7 أيام)	زيادة في المقاومة نتيجة تسارع تفاعلات التميه بفعل الكلوريدات.	زيادة تتراوح بين 10%إلى 20%	Eziefula et al. (2023) ؛ Tiwari et al. (2014)؛ Yaseen et al. (2020)
العمر المتوسط (28 يوماً)	تفاوت النتائج؛ بعض الدراسات سجلت بداية التراجع والبعض الآخر سجل استمرار التفوق الطفيف.	انخفاض بنسبة 7% إلى 15 %أو استقرار حسب الخلطة	Younis et al. (2016) Islam et Guo ؛ al. (2012) et al. (2018); Bin Zayd,.2023; Ogunjiofor.,2020
المدى الطويل (90 يوماً)	انخفاض في المقاومة نتيجة تبلور الأملاح ونضح المكونات	انخفاض يصل إلى 15%	Qingyong Guo et al. (2018) Eziefula et al.

(2023); Olutoge & Amusan,.(2014); Sai Teja et al,.(2014)	تزداد حسب بعض الدراسات	الرابطة، الا ان بعض الدراسات أظهرت اعلى مقاومة لهذا العمر	
Islam et al. (2012)	انخفاض يصل إلى 33%	تدهور هيكلي كبير وضعف في المتانة نتيجة تحلل المصفوفة الأسمنتية.	المدى البعيد جداً (سنة فأكثر)
Hamadallah AL-Baijat (2019)	انخفاض بنسبة 36.7%	انهيار حاد في المقاومة نتيجة التركيز العالي جداً للمغنيسيوم والأملاح.	حالات خاصة (ماء البحر الميت)

من خلال الدراسات واختبار مقاومة الخرسانة من أول يوم إلى أعمار تزيد عن تسعون يوما لوحظ أن المقاومة تزداد في الأيام الأولى للخلط نتيجة التميه وسد المسام(Bin Zayd,.2022) ، ولكن يبدأ في الانخفاض مع التقدم في العمر بسبب هجوم الكبريتات والماغنسيوم.
إن تأثير الملوحة على مقاومة الخرسانة يكون أعلى في الرتب العالية مقارنة بالرتب المنخفضة.
عملية معالجة المكعبات الخرسانية بغمرها بمياه البحر لفترات طويلة تعتبر أكثر خطورة من استخدام ماء البحر في الخلطات الخرسانية لاستمرار تغلغل الأيونات.

5- الاستنتاجات(Conclusions)

استنادا إلى نتائج دراسات المراجعة العلمية التي تناولت استخدام الماء المالح في إنتاج الخرسانة يمكن استنتاج الاتي:

- زيادة المقاومة المبكرة حتى عمر أربعة عشر يوما يوم نتيجة لتفاعلات الاماهة بسبب ايونات الكلوريد والصوديوم.
- انخفاض مقاومة الخرسانة بعد 28يوما وتزداد في الانخفاض مع العمر بنسب تتراوح بين 7%-15% وقد تصل الى 35% لنسب الملوحة المرتفعة، نتيجة هجوم الكبريتات.
- تؤدي ايونات الكلوريد إلى تدمير طبقة التخميل القلوية التي تحمي حديد التسليح من التآكل.
- تتكوين طبقة من الجبس والإترنجايت لوجود الكبريتات و المغنيسوم وتتحويل C–S–H إلى M–S–H الهش، التي تقلل من تماسك الخرسانة.
- تتسبب في زيادة النفاذية وتوسع الشقوق نتيجة التفاعلات القلوية والكربنة، مما يسهل اختراق الأملاح وبالتالي تقصر عمر المنشآت الخرسانية.
- الطبيعة الساحلية الليبية تعتبر من أخطر البيئات على الخرسانة المسلحة بسبب مناخها الساخن والرطوبة المستمرة وملوحتها العالية.

6- الخلاصة(Summary)

من خلال هذه الدراسة تبين أن استخدام المياه المالحة في الخلطات الخرسانية يعد حلا للمناطق التي تعاني من نقص الموارد المائية كما هو الحال في ليبيا، و لكن هذا الخيار له عدة مخاطر إنشائية لاسيما إذا استخدم في الخرسانة المسلحة ، بالرغم من أن استخدام الماء المالح في الخلطات الخرسانية يحسن من المقاومة

المبكرة؛ نتيجة تسارع تفاعلات الإماهة و يقلل من الطلب المتزايد على المياه العذبة، إلا أنه يؤثر على حديد التسليح في الخرسانة المسلحة و يعزز من هجوم الكبريتات و يحفز الكربنة و يرفع النفاذية و الانكماش مما يقلل من عمر الخرسانة.

لذلك يلزم تقييد استخدامه هندسيا ولا يستخدم كممارسة عامة خصوصا في ليبيا.

7- التوصيات(Recommendations)

توصي الدراسة بما يلي:

1. باستخدام مياه المالحة في الخرسانة غير المسلحة مثل: الكتل الخرسانية، الأرصفة، الردميات الخرسانية، المنشآت المؤقتة.
2. عدم استعمال المياه المالحة في الخرسانة المسلحة أو مسبقة الإجهاد إذا لم تستخدم أنظمة حماية خاصة مثل: مثبطات التآكل، حديد مقاوم للصدأ أو ألياف FRP .
3. استخدام إسمنت مقاوم للكبريتات ومواد بوزولانية (غبار السيليكا، الرماد المتطاير، الميتاكاؤولين) لتقليل النفاذية واستهلاك $Ca(OH)_2$.
4. تشديد نظام المعالجة (Curing) لمنع الجفاف المبكر والانكماش.
5. ضرورة اجراء اختبارات للشد والانحناء طويل الأمد.
6. اعتماد استخدام المياه المالحة ضمن المواصفات الليبية للخرسانة بدل الاستخدام العشوائي الحالي في المشاريع الساحلية.

References

Alam Dipu. M. S., & Anachh, S. (2024). Investigating the Impact of Salt Water on Concrete's Compressive Strength. International Journal of Construction Engineering and Management, 13, 1–4.

AL-Baijat, H. (2019). Effect of Dead Sea Water on Durability, Strength, Flexure and Bond on Hardened Concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 10, 138–147.

Amusan, G. M., & Olutoge, F. A. (2014). The Effect of Seawater on Shrinkage Properties of Concrete.IMPACT: International Journal of Research in Engineering & Technology, 2, 1–11.

Bin Zayd ,A.A. (2022). Effect of Water Salinity on Concrete Strengt.The First Scientific International Conference in Engineering & Science, Zliten, Libya. (pp. 1–5).

Bin Zayd, A.A.(2023),The Effect of Replacing Fresh Water with Salt Water and Sea Water in Concrete,Bani Waleed University Journal of Humanities and Applied Sciences,39,271-279.

Demir, Ý., Yaprak, H., & Şimşek, O. (2010). The Effect of Sea Water on the Properties of Concrete with Silica Fume Admixture. Cement Wapno Beton (CWB),1, 22–30.

Dhondy, T., Xiang, Y., Yu, T., & Teng, J. G. (2021). Effects of Mixing Water Salinity on the Properties of Concrete. Advances in Structural Engineering, 24, 1150–1160.

Dutta, S. K., Parida, S. K., Sutar, A., Naik, A., & Mangaraj, A. (2022). Experimental Investigation on the Compressive Strength of Concrete by Curing with Saline Water and Normal Water. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET),10, 1–8.

Egbe, J. G., & Johnson, D. U. (2025). Hydro Analysis of Spatially Induced Salt-Water on the Compressive Strength of Concrete in Distressed Construction Site. International Journal of Water Research, 7, 1–10.

Emmanuel.A.O, Oladipo.F.A & Ogunsanmi.O. E.(2012). Investigation of Salinity Effect on Compressive Strength of Reinforced Concrete. Journal of Sustainable Development,5, 74–82.

El-Khoury, M., Roziere, E., Grondin, F., Cortas, R., & Hage Chehade, F. (2022). Experimental Evaluation of the Effect of Cement Type and Seawater Salinity on Concrete Offshore Structures. Civil Engineering and Mechanics Research Institute (GeM), Nantes, France,1, 1–32.

Eziefula, U. G., Egbufor, U. C., & Udoha, C. L. (2023). Experimental Investigation of Behaviour of Concrete Mixed and Cured with Nembe Seawater. Research on Engineering Structures & Materials (RESM),9, 492–502.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2021). Libya Country Profile. FAO, 1–25.

Guo, Q., Chen, L., Zhao, H., Admilson, J., & Zhang, W. (2018). The Effect of Mixing and Curing Sea Water on Concrete Strength at Different Ages. MATEC Web of Conferences, 142, 2004–2012.

Ikponmwosa, E. E., Ehikhuenmen, S. O., Sobamowo, G. M., & Ambrose, E. (2020). Effect of Salinity on the Structural Strengths of Conventional Concrete. Engineering and Applied Science Letters, 3, 21–34.

Islam, S., Islam, M., & Mondal, B. C. (2012). Deterioration of Concrete in Ambient Marine Environment. International Journal of Engineering (IJE), 25, 289–301.

Muluye, B. (2018). Effect of Salt Water on Compressive Strength of Plain Mass Concrete. Addis Ababa University. Master's Thesis, pp. 1–95.

Ogunjiofor, E. I. (2020). Possibility of Usage of Seawater for Mixing and Curing of Concrete in Salty Water Localities. Journal of Engineering Research and Reports,19,19–27.

Olutoge, F. A., & Amusan, G. M. (2014). The Effect of Sea Water on Compressive Strength of Concrete. International Journal of Engineering Science Invention, 3, 23–31.

Qasim, O. A., Maula, B. H., Moula, H. H., & Jassam, S. H. (2020). Effect of Salinity on Concrete Properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 745,12171–12180.

Rahimi, A., Gehlen, C., Reschke, T., & Westendarp, A. (2013). Long-Term Performance of Concrete Structures in a Marine Environment – Measured and Calculated. CONSEC13, Nanjing, China, 1322-1334.

Sai Teja, G., Amar, B. P., Neethu, R. M., Venkatesh, E., & Prathyusha, T.(2014). Study of Compressive Strength of Concrete Made Using Saline Water. International Journal of Civil and Structural Engineering Research, 2, 76–78.

Supriya, C. L., Harshith, H. J., Manjunath, H. S., & Chetan, K. M.(2023).Effect of Saline Water in Mixing and Curing on Strength of Concrete at Coastal Area. International Journal of Innovative Research in Technology (IJIRT),10,330–333.

Tijani, M. N., Inim, J. I., & Adetu, S. O. (2015). Experimental Study of Influence of Seawater on Strength of Concrete Structures. Fifth International Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment, Osaka, Japan, pp. 1–6.

Tiwari, P., Chandak, R., & Yadav, R. K. (2014). Effect of Salt Water on Compressive Strength of Concrete. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 4, 38–42.

United Nations Development Programme (UNDP). (2024). Innovating for Water Security and Resilience in Libya. UNDP Libya, pp. 1–40.

UNICEF.(2022). Libya Water Scarcity and Climate Change: An Analysis on WASH Enabling Environment in Libya. UNICEF Libya, pp. 1–52.

Wang, X., Dong, C., Xu, S., Song, Q., Ren, J., & Zhu, J.(2023). Influence of Seawater and Sea Sand on Early-Age Performance and Cracking Sensitivity of Concrete. Journal of Building Engineering, 79, 107811–107822.

Yaseen, S. A., Pan, D., Leung, C. K. Y., & Li, Z.(2016). The Impact of Using Seawater and Sea Sand for the Production of Concrete. International Inorganic-Bonded Fiber Composites Conference (IIBCC), pp. 1–10.

Younis, A., Ebead, U., Suraneni, P., & Nanni, A.(2018). Fresh and Hardened Properties of Seawater-Mixed Concrete. Construction and Building Materials, 190, 276–286.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **JLABW** and/or the editor(s). **JLABW** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.